

浆果果渣对酸奶品质和抗氧化性的影响

胡锦涛, 孔芳, 邹木法, 郑雪, 赵玉红

(东北林业大学林学院, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要: 将 1.50% 的红树莓、蓝莓、黑加仑三种浆果果渣分别加入到酸奶中, 研究三种浆果果渣酸奶在贮藏过程 (4 °C、21 d) 中成分、品质和抗氧化能力的变化。浆果果渣总膳食纤维含量分别为 45.24%、50.43%、55.21%, 总多酚含量分别为 18.40 mg/g、18.70 mg/g、30.00 mg/g, 总黄酮含量分别为 3.00 mg/g、2.00 mg/g、2.90 mg/g, 花色苷的含量分别为 14.30 mg/g、14.10 mg/g、10.50 mg/g, DPPH 自由基清除能力 (提取液浓度 10.00 mg/mL) 分别为 92.20%、84.10%、61.00%。在贮藏期内, 浆果果渣酸奶的乳清析出率和持水力随贮藏时间的变化趋势与对照样品相同, 滴定酸度大于 88.78 °T, pH 在 4.17~4.51。浆果果渣的加入显著增加了酸奶的总膳食纤维含量, 影响酸奶的硬度、黏度、凝聚力、粘性指数, 提高了酸奶的抗氧化性, 在贮藏期内最高可以达到对照酸奶的 3.93 倍 (DPPH 自由基清除能力)、13.11 倍 (总还原力)、4.28 倍 (羟自由基清除率)。浆果果渣可以作为功能性原料用于酸奶制品。

关键词: 浆果果渣; 酸奶; 活性成分; 品质; 抗氧化性

文章编号: 1673-9078(2018)11-176-184

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.11.027

Effects of Berry Pomace on Qualities and Antioxidant Activity of Yogurt

HU Jin-tao, KONG Fang, ZOU Mu-fa, ZHENG Xue, ZHAO Yu-hong

(School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: In this experiment, 1.50% of berry pomace (red raspberry, blueberry, and black currants) was added to the yoghurt product and stored at 4 °C for 21 days. The purpose is to study the changes of composition, quality and antioxidant capacity of yoghurt enriched with three kinds of berry pomace during storage. The results showed that the contents of total dietary fiber in red berries, blueberry and black currants were 45.24%, 50.43% and 55.21%, respectively, and the contents of polyphenol were 18.40 mg/g, 18.70 mg/g, 30.00 mg/g, respectively. The contents of flavonoids were 3.00 mg/g, 2.00 mg/g, and 2.90 mg/g, respectively. The contents of anthocyanins were 14.30 mg/g, 14.10 mg/g and 10.50 mg/g, respectively. The DPPH· scavenging capacity (the concentrations of extracts were 10.00 mg/mL) were 92.20%, 84.10%, 61.00%, respectively. Within 21 days of storage, the enrichment of berry pomace did not change the tendency of yoghurt whey precipitation rate and water holding capacity during storage, titration acidity was higher than 88.78, pH was at 4.17~4.51. The enrichment of berry pomace elevated the concentration of total dietary fiber, and yoghurt's hardness, viscosity, cohesiveness and viscosity index were also higher than control. The antioxidant properties of yoghurt were significantly increased. During the storage period, the DPPH· scavenging capacity, total reducing power, and hydroxyl radical scavenging rate were significantly increased to 3.93, 13.11 and 4.28 times, respectively, compared to the control. The addition of berry pomace could be used in yoghurt as functional ingredients.

Key words: berry pomace; yoghurt; active ingredients; qualities; antioxidant activity

我国小浆果资源丰富, 浆果中含有大量的功能因子, 具有抗氧化、保护视力、增强人体免疫机能、提高记忆力、降胆固醇、保护心脑血管、抗癌等保健功能^[1-4]。果渣作为浆果饮料加工副产物, 水分含量较高, 如果暴露在空气中, 容易被氧化产生腐臭味而污染环境。浆果果渣中含有丰富的膳食纤维和抗氧化的活性

物质, 若能对果渣资源进行综合利用, 开发新型食品, 不仅可以减少环境污染, 而且增加了食品的多样性, 具有很好的开发应用前景^[5,6]。

浆果果渣中富含的膳食纤维和抗氧化活性物质有多种生理功能。膳食纤维是指不被人体消化的多糖类碳水化合物和木质素的总称, 分为水溶性膳食纤维和水不溶性膳食纤维两大类, 具有通便、降血脂和降血糖等作用^[7]。抗氧化剂在食品中是一类非常重要的复合物, 可以防止脂质氧化, 降低人体内活性氧的生理活性, 多酚广泛分布于植物中, 是研究最多的天然抗氧化剂^[8]。多酚具有较强的抗氧化作用、抗老化和抗癌等功效, 能够有效预防和抑制某些疾病^[9]。

收稿日期: 2018-07-21

基金项目: 教育部东北林业大学国家级大学生创新训练计划项目 (201710225160)

作者简介: 胡锦涛 (1997-), 男, 本科生, 研究方向: 功能性食品开发

通讯作者: 赵玉红 (1968-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 功能性食品开发

近几年对于浆果果渣的研究侧重于对其中活性成分的提取、纯化^[10-12],而用于新产品开发的研究相对较少,在食品中的应用主要集中在对浆果果渣膳食纤维的利用以获得低能量的高纤维产品^[13-15]。酸奶作为风味独特、营养保健价值极高的制品倍受人们喜爱,酸奶与果蔬原料组合已被证实可以增加酸奶产品的多样性和功能性^[16]。王建成等^[17]将蓝靛果酒渣加入到酸奶制品中,提高了酸奶的膳食纤维含量和抗氧化能力。而有关浆果果渣的加入对酸奶制品在贮藏过程中成分和性质等方面产生影响的研究尚未见报道。

本文将富含膳食纤维和抗氧化活性物质的红树莓、蓝莓、黑加仑果渣应用于酸奶制品,研究不同浆果果渣的加入对酸奶在贮藏过程中成分、品质和抗氧化能力的影响,对提高浆果果渣的综合利用水平,开发新型功能性酸奶具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

蓝莓、红树莓、黑加仑由黑龙江省尚志市米丘林浆果种植专业合作社提供;发酵剂(嗜热链球菌、保加利亚乳杆菌)购自哈尔滨美华公司;脱脂奶粉、绵白糖、果胶等为市售。

无水乙醇、苯酚、DPPH(1,1-二苯基-2-三硝基苯肼)、丙酮、石油醚、重铬酸钾、三羟甲基氨基甲烷、冰乙酸、热稳定 α -淀粉酶、淀粉葡萄糖苷酶、没食子酸标准品、福林酚试剂、铁氰化钾、磷酸盐、碳酸钠、硝酸铝等试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

KSW-5-12A 马弗炉温度控制器,上海森信实验设备有限公司;ALC-110.4 万分之一天平,深圳市泰立仪器仪表有限公司;YP 1410047 电子天平,上海佑科仪器仪表有限公司;DHG-9240 电热恒温鼓风干燥箱,上海一恒科技有限公司;DK-SD 电热恒温水槽,上海一恒科技有限公司;KQ-300DE 数控超声波清洗器,昆明市超声仪器有限公司;722 型可见分光光度计,上海光谱仪器有限公司;CT3-10K 质构仪,中科美仪科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 浆果果渣的制备

将新鲜的浆果洗净,放入打浆机打浆,经4层纱布过滤得滤渣,取滤渣(100 g为一组,多组同时操作)置于40℃恒温干燥箱干燥3 h后称重,每30 min称

重一次,至恒重(两次称量相差小于2.00 mg,果渣水分含量分别为红树莓果渣14.13%,蓝莓果渣10.51%,黑加仑果渣12.54%),粉碎,过120目筛(去除浆果籽),密封保存,备用。

1.3.2 灰分的测定

采用GB 5009.4-2016。

1.3.3 脂肪的测定

采用GB 5009.6-2016。

1.3.4 总糖的测定

参考张媛媛等^[18]方法测定。以葡萄糖的微克数为横坐标,吸光值为纵坐标,作标准曲线,得到回归方程为: $y=0.0069x+0.1236$ ($R^2=0.9992$)。浆果果渣中总糖含量用干基百分含量表示。

1.3.5 蛋白质的测定

采用GB 5009.5-2016。

1.3.6 总膳食纤维的测定

采用GB 5009.88-2014。总膳食纤维含量用干基百分含量表示。

1.3.7 多酚含量的测定

样品溶液制备:料液比为1:20,将果渣加入60%浓度乙醇,在60℃提取温度下,超声(300 W) 90 min,合并滤液,以蒸馏水定容至100 mL,摇匀备用。下同。

参考张根生等^[19]方法测定。以没食子酸标准溶液质量浓度(mg/mL)为横坐标,溶液吸光度为纵坐标,绘制标准曲线,得到回归方程为: $y=0.0159x+0.0399$ ($R^2=0.9994$)。多酚含量以没食子酸当量表示(mg 没食子酸/g干质量)。

1.3.8 黄酮含量的测定

参考Teow等^[20]方法测定。以芦丁的标准溶液质量浓度(mg/mL)为横坐标,溶液吸光度为纵坐标,绘制标准曲线,得到回归方程为: $y=0.0165x+0.0235$ ($R^2=0.999$)。黄酮的含量以芦丁当量表示(mg 芦丁/g干质量)。

1.3.9 花色苷含量的测定

参考陈亮等^[21]方法测定。

根据下式计算花色苷(以矢车菊色素-3-葡萄糖苷计)含量:

$$\text{花色苷含量}/(\text{mg/g}) = \frac{A \cdot MW \cdot DF \cdot V}{e \cdot L \cdot m} \times 1000$$

式中: $A=(A_{525\text{nm}}-A_{700\text{nm}})_{\text{pH}=1.0}-(A_{525\text{nm}}-A_{700\text{nm}})_{\text{pH}=4.5}$; 矢车菊色素-3-葡萄糖苷的分子质量 $MW=449.2$; 矢车菊色素-3-葡萄糖苷的消光系数 $e/(\text{mL}/(\text{cm} \cdot \text{mg}))=26900$; DF 为稀释倍数; V 为样液总体积/mL; A 为稀释后样品的吸光值; L 为比色皿光程(1 cm); m 为样品干质量/g。

1.3.10 DPPH 自由基清除能力

参考王建成等^[17]方法测定。将 2.00 mL 不同稀释的浓度样品溶液及 2.00 mL DPPH 溶液加入到同一试管中, 摇匀, 室温下暗处静置 30 min 后, 于 517 nm 下测定其吸光度 A_1 ; 同时测定 2.00 mL DPPH 溶液+2.00 mL 无水乙醇混合后的吸光度 A_0 以及 2.00 mL 测试样品溶液+2.00 mL 无水乙醇混合后的吸光度 A_2 。

$$\text{DPPH 自由基清除率} / \% = \left[1 - \frac{(A_1 - A_2)}{A_0} \right] \times 100$$

1.3.11 总还原力

参考 Bouayed 等^[22]方法测定。将 6.00 mL FRAP 试剂 (0.30 mol/L 醋酸盐缓冲液: 10.00 mmol/L TPTZ: 0.50 mL 20.00 mmol/L FeCl_3 =10:1:1) 加热至 37 °C, 向其中加入不同稀释浓度的样品溶液 0.20 mL, 0.60 mL H_2O , 10 min 后于 593 nm 下测定吸光度。以 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 浓度 ($\mu\text{mol/L}$) 为横坐标, 吸光值为纵坐标, 绘制标准曲线, 得到回归方程为: $y=0.0008x-0.0033$ ($R^2=0.9998$)。总还原力以达到相同吸光值所需 FeSO_4 的毫摩尔数衡量。

1.3.12 羟自由基清除能力

参考赵梦雅等^[23]方法测定。在反应体系中依次加入 9×10^{-3} mol/L 的 FeSO_4 溶液 1.00 mL, 9×10^{-3} mol/L 的水杨酸-乙醇溶液 1.00 mL, 及 1.00 mL 样品液, 最后加 6×10^{-3} mol/L 的 H_2O_2 1.00 mL, 启动反应, 37 °C 水浴中反应 0.5 h, 在 510 nm 下测定样品的吸光度。空白组以相同体积蒸馏水代替样品溶液, 按下式计算样品对·OH 的清除率:

$$\text{羟自由基清除率} / \% = \left[1 - \frac{(A_X - A_{X0})}{A_0} \right] \times 100$$

式中: A_0 为空白对照的吸光值, A_X 为加样品的吸光值, A_{X0} 为不加 H_2O_2 的吸光值。

1.3.13 酸奶的制备

浆果果渣酸奶制作参考王建成等^[17]方法, 并进行修改:

1.3.13.1 工艺流程

全脂牛乳→调配(浆果果渣、脱脂奶粉、绵白糖等)→灭菌→冷却→接种→发酵→后熟→成品

1.3.13.2 配方

100 g 全脂牛乳、1.00 g 脱脂奶粉、8.00 g 绵白糖、

0.10 g 果胶, 1.50 g 浆果果渣。

1.3.13.3 操作要点

调配: 将绵白糖、果胶、脱脂奶粉充分干混, 边搅拌边加入全脂牛乳中, 浆果果渣(先经紫外灭菌 1 h)少量多次加入, 并不断搅拌。灭菌: 在 90~95 °C 的水浴锅中加热 5 min。冷却: 迅速冷却到 42 °C 以下。接种: 加入 0.10% 发酵剂。发酵: 42 °C 恒温培养 7 h。后熟: 4 °C 冰箱中冷藏 24 h。

1.3.14 酸奶的质构特性分析

采用 CT3-10K 质构仪, 选择 TA4/1000 探头, 选定压缩模式, 设置触发力为 7.00 g, 测试速度为 0.50 mm/s, 测试距离为 20.00 mm。测试的指标是硬度, 内聚性, 稠度和粘性指数。

1.3.15 酸奶乳清析出率的测定

参照姚淑渠等^[24]方法, 将重量为 M 的成品酸奶倾斜, 除去上层清液, 称重为 m 。

$$\text{乳清析出率} / \% = \frac{m}{M} \times 100$$

1.3.16 酸奶 pH 的测定

采用 pH 计测定。

1.3.17 酸奶滴定酸度的测定

根据 GB 5413.34-2010。

1.3.18 酸奶持水力的测定

参考蔡蕊等^[25]方法, 用离心管称取 M 待测样品后, 放入离心机, 以 2500 r/min 离心 15 min 后, 取出离心管, 静置, 除去上清液, 测残余物的质量 W 。

$$\text{持水力} / \% = \frac{W}{M} \times 100$$

1.3.19 数据统计分析

采用 Excel 对数据进行分析, 所得结果为平均值±标准差, 用 SPSS (17.0) 进行方差分析, 差异显著性判断标准为 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同浆果果渣的化学成分测定结果

分别测定三种浆果果渣的灰分、脂肪、蛋白质、总糖和总膳食纤维的含量(%), 结果如表 1 所示。

表 1 不同浆果果渣化学成分含量 (% , 干基)

Table 1 Contents of chemical constituents of different berries pomace (% , Dry basis)

果渣种类	灰分	脂肪	蛋白质	总糖	总膳食纤维
蓝莓	1.56±0.01 ^a	2.69±0.22 ^a	12.10±0.11 ^b	16.74±0.21 ^c	50.43±0.36 ^b
红树莓	2.46±0.02 ^b	13.80±0.41 ^c	3.67±0.15 ^a	10.74±0.55 ^b	45.24±0.34 ^a
黑加仑	3.34±0.13 ^c	12.02±0.17 ^b	20.81±0.26 ^c	6.12±0.24 ^a	55.21±0.51 ^c

注: 同一列不同小写字母表示数据具有显著性差异 ($p < 0.05$)。

由表 1 可知, 三种浆果果渣灰分含量均低于 3.50%; 红树莓果渣脂肪含量最高 (13.80%), 蓝莓果渣脂肪含量最低 (2.69%); 黑加仑果渣蛋白质含量最高 (20.81%), 红树莓果渣蛋白质含量最低 (3.67%); 蓝莓果渣糖含量最高 (16.74%), 黑加仑果渣糖含量最低 (6.12%)。总膳食纤维含量分别为 55.21% (黑加仑果渣)、50.43% (蓝莓果渣)、45.24% (红树莓果渣), 且有显著差异性 ($p<0.05$)。考虑到浆果的产地、采摘季节、储运技术和处理方式的不同, 总膳食纤维及各成分含量与所查文献数据存在一定偏差^[26]。浆果果渣可以作为酸奶的营养强化剂, 提高其总膳食纤维含量。

2.2 不同浆果果渣的活性成分测定结果

三种浆果果渣中总多酚、总黄酮、花色苷含量的测定是根据实验测得吸光度数据, 通过与标准曲线进行对比、计算, 得出数据, 整理得表 2。

表 2 不同浆果果渣活性成分含量

Table 2 Contents of active ingredients of different berries pomace			
pomace			
果渣种类	总多酚/(mg/g)	总黄酮/(mg/g)	花色苷/(mg/g)
蓝莓	18.70±0.50 ^a	2.00±1.20 ^a	14.10±0.90 ^b
红树莓	18.40±0.90 ^a	3.00±0.10 ^b	14.30±0.60 ^b
黑加仑	30.00±1.10 ^b	2.90±0.10 ^b	10.50±0.90 ^a

注: 同一列不同小写字母表示数据具有显著性差异 ($p<0.05$)。

由表 2 可知, 黑加仑果渣的总多酚含量 (30.00 mg/g) 高于蓝莓果渣 (18.70 mg/g) 和红树莓果渣 (18.40 mg/g), 且差异显著 ($p<0.05$); 总黄酮含量红树莓果渣 (3.00 mg/g) 与黑加仑果渣 (2.90 mg/g) 无显著差异 ($p>0.05$), 都高于蓝莓果渣 (2.00 mg/g), 且差异显著 ($p<0.05$); 红树莓果渣的花色苷含量 (14.30 mg/g) 和蓝莓果渣的花色苷含量 (14.10 mg/g) 高于黑加仑果渣 (10.50 mg/g), 且差异显著 ($p<0.05$)。

2.3 不同浆果果渣的抗氧化能力测定结果

从 DPPH 自由基清除能力、总还原力、羟自由基清除能力三个方面衡量浆果果渣的抗氧化性。同一质量浓度 (10.00 mg/mL) 的提取液, 分别进行实验, 得出数据, 整理得表 3。

由表 3 可知, 三种浆果果渣的 DPPH 自由基清除能力均在 60% 以上, 以 V_E 作为标准品, 得到 10.00 mg/mL V_E 的 DPPH 自由基清除能力达 72%, 对比发现, 三种浆果果渣均有很强的抗氧化能力, 其中红树莓果渣与蓝莓果渣抗氧化能力要高于相同质量浓度的

V_E 。总还原力与羟自由基清除能力方面, 黑加仑果渣显著高于蓝莓果渣和红树莓果渣。Saura-Calixto 定义了抗氧化膳食纤维 (antioxidant dietary fiber, ADF), 并提出要把植物原料看作 ADF 需要满足以下条件: 总膳食纤维含量应高于干物质量的 50%; 1 g ADF 的 DPPH 自由基清除能力至少相当于 50 mg V_E ; 抗氧化能力必须是其固有的特征、来源于原料的天然组分^[27]。结合表 1 实验结果, 蓝莓果渣和黑加仑果渣符合抗氧化膳食纤维的定义。

表 3 不同浆果果渣抗氧化能力

Table 3 Antioxidant ability of different berries pomace			
果渣种类	DPPH 自由基清除能力/%	总还原能力/(mmol FeSO ₄ /g)	羟自由基清除能力/%
蓝莓	84.10±0.05 ^b	1.23±0.01 ^a	24.30±0.27 ^b
红树莓	92.20±0.14 ^c	1.44±0.03 ^b	21.90±0.36 ^a
黑加仑	61.00±1.31 ^a	1.58±0.02 ^c	31.20±0.25 ^c

注: 同一列不同小写字母表示数据具有显著性差异 ($p<0.05$)。

2.4 不同浆果果渣酸奶在贮藏中的性质和成分变化

2.4.1 不同浆果果渣酸奶在贮藏过程中的品质变化

对乳清析出率、持水力、pH 和滴定酸度 4 个指标的数据分别进行显著性分析, 实验结果如图 1~4 所示。

在同一贮藏时间点, 对照组酸奶与三种浆果果渣酸奶在乳清析出率、持水力、pH 和滴定酸度上存在显著差异 ($p<0.05$)。

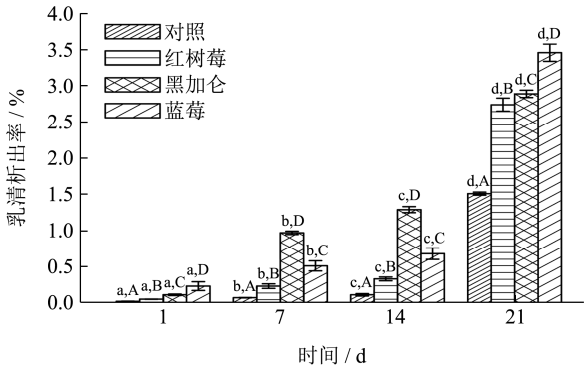


图 1 不同浆果果渣酸奶乳清析出率随贮藏时间变化

Fig.1 Changes of whey syneresis of different berries pomace yoghurt with storage time

注: 不同大写字母表示同一天的数据具有显著性差异 ($p<0.05$), 不同小写字母表示同一种酸奶的数据具有显著性差异 ($p<0.05$)。下图同。

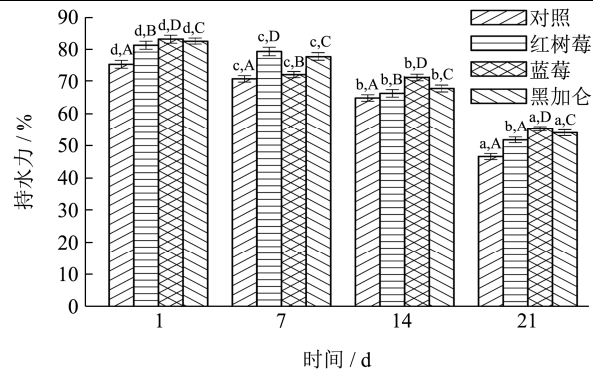


图2 不同浆果果渣酸奶持水力随贮藏时间变化

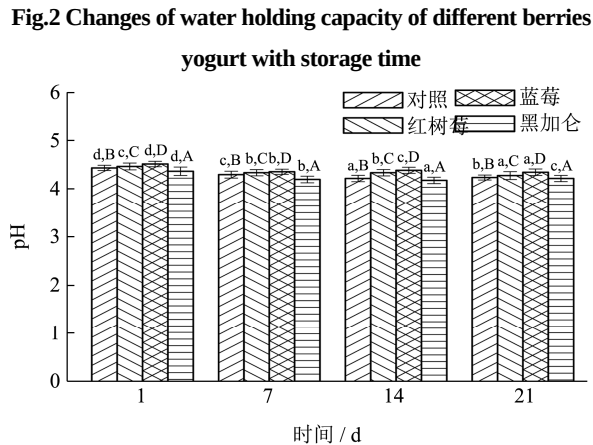


图3 不同浆果果渣酸奶 pH 随贮藏时间变化

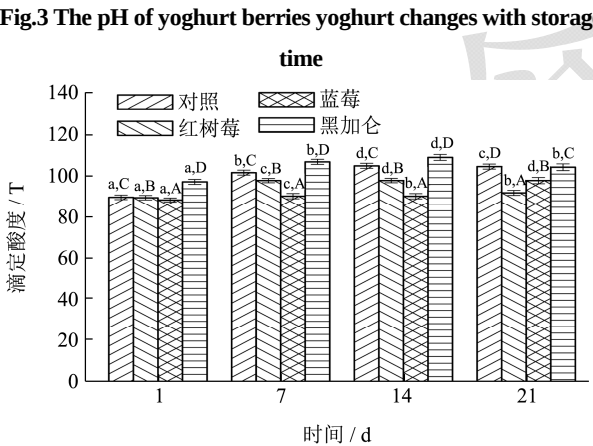


图4 不同浆果果渣酸奶滴定酸度随贮藏时间变化

Fig.4 Changes of titratable acidity of different berries pomace yogurt with storage time

表4 贮藏期间浆果果渣酸奶质构特性变化

Table 4 Changes of texture characteristics of berries yoghurt with storage time

指标	酸奶种类	贮藏时间			
		1 st d	7 th d	14 th d	21 th d
硬度/g	对照	104.00±0.21 ^{bB}	131.00±0.99 ^{cA}	142.00±0.87 ^{dB}	92.00±0.76 ^{aA}
	红树莓	119.00±0.11 ^{bD}	134.00±0.68 ^{cB}	219.00±0.84 ^{dD}	102.00±0.66 ^{aC}
	蓝莓	108.00±0.63 ^{bC}	249.00±0.23 ^{dD}	175.00±0.22 ^{cC}	99.00±0.93 ^{aB}
	黑加仑	103.00±0.34 ^{aA}	214.00±0.17 ^{dC}	113.00±0.34 ^{cA}	109.00±0.51 ^{bD}

转下页

乳清析出率在 21th d 所测值显著高于其它时间点的 数据 ($p<0.05$), 且四种酸奶样品的乳清析出率均随 时间而增加; 持水力在 1st d 时测得最大值, 且四种酸 奶样品的持水力均随时间显著降低 ($p<0.05$)。

可以看出, 浆果果渣的加入并未改变酸奶的乳清 析出率和持水力随贮藏时间的变化趋势, 而四种酸奶 样品的滴定酸度大于 88.78 °T, 符合 GB 19302-2010 对风味发酵乳的酸度要求, pH 水平 (4.17~4.51) 使产 香型嗜热链球菌能生长繁殖, 保证了酸奶的香气。三 种浆果果渣酸奶的持水力从 1st d 的 80%降低到 21th d 的 50%, 与廖芬等^[28]研究的香蕉凝固型酸奶的持水力 相近, 李荣华^[29]研究表明持水力随着酪蛋白和乳清蛋 白比例的增大而减小, 所以酸奶乳清析出率的增加会 使其持水力降低; 另外持水力的降低与 pH 的降低有 关, 连小燕等^[30]研究表明 pH 5.0 时, 膳食纤维的持水 力最高, pH 的降低会使酸奶中膳食纤维的持水力降 低; 滴定酸度均高于 70 °T, 符合国家标准中关于风味 发酵乳中酸度的相关规定^[31]。

2.4.2 不同浆果果渣酸奶在贮藏过程中质构特 性变化

实验结果如表 4 所示, 同一时间点测得对照酸奶 与三种浆果果渣酸奶硬度、黏度、凝聚力、粘性指数 值均有显著差异 ($p<0.05$), 整体呈增加趋势, 浆果果 渣的添加对酸奶质构有所改善。

对照组和红树莓果渣组在 14th d 时硬度值达到峰 值, 蓝莓和黑加仑果渣组 7th d 时的硬度值显著高于其 它时间点 ($p<0.05$)。对照组、蓝莓组和黑加仑组的黏 度值在 7th d 后开始降低, 红树莓组则是在 14th d 后开 始降低; 对于凝聚力和粘性指数, 对照组测得值随时 间呈下降趋势, 而黑加仑组将下降时间点延迟到 7th d, 红树莓组和蓝莓组将下降时间延迟到 14th d。浆果果渣 的加入, 影响着贮藏期间酸奶的硬度、黏度、凝聚力、 粘性指数值峰值出现时间。在贮藏期间, 酸奶的硬度、 黏度、凝聚力、粘性指数会先增加, 这与范宇等^[32]的 研究结果一致, 而贮藏后期, 随着乳清析出率的增大, 使酸奶的硬度、黏度、凝聚力、粘性指数下降^[33]。

接上页					
黏度/mJ	对照	13.50±0.25 ^{b,A}	19.90±0.35 ^{d,A}	15.30±0.22 ^{c,A}	12.10±0.24 ^{a,A}
	红树莓	17.50±0.53 ^{b,C}	19.80±0.27 ^{c,A}	32.80±0.36 ^{d,C}	14.50±0.18 ^{a,C}
	蓝莓	18.10±0.13 ^{b,D}	37.50±0.46 ^{d,C}	25.50±0.28 ^{c,B}	15.00±0.27 ^{a,D}
	黑加仑	15.50±0.07 ^{c,B}	31.30±0.59 ^{d,B}	15.20±0.41 ^{b,A}	13.70±0.19 ^{a,B}
凝聚度/g	对照	34.00±0.84 ^{d,D}	27.00±0.11 ^{c,A}	12.00±0.11 ^{b,A}	7.00±0.05 ^{a,A}
	红树莓	9.00±0.09 ^{a,A}	27.00±0.32 ^{c,A}	67.00±0.55 ^{d,D}	11.00±0.12 ^{b,B}
	蓝莓	16.00±0.21 ^{a,B}	41.00±0.44 ^{c,B}	45.00±0.46 ^{d,C}	22.00±0.31 ^{b,D}
	黑加仑	19.00±0.71 ^{b,C}	27.00±0.15 ^{d,A}	25.00±0.37 ^{c,B}	15.00±0.15 ^{a,C}
粘性指数 /mJ	对照	3.80±0.02 ^{d,D}	2.50±0.04 ^{c,A}	0.50±0.02 ^{b,A}	0.20±0.004 ^{a,A}
	红树莓	0.50±0.01 ^{a,A}	2.70±0.02 ^{c,B}	11.90±0.06 ^{d,D}	2.50±0.02 ^{b,D}
	蓝莓	1.70±0.01 ^{a,B}	3.40±0.03 ^{c,D}	6.70±0.05 ^{d,C}	2.10±0.02 ^{b,C}
	黑加仑	1.80±0.02 ^{a,C}	3.10±0.03 ^{d,C}	3.00±0.02 ^{c,B}	1.40±0.01 ^{b,B}

注：同一列不同大写字母表示数据具有显著性差异 ($p<0.05$)，同一行不同小写字母表示数据具有显著性差异 ($p<0.05$)。

2.4.3 不同浆果果渣酸奶在贮藏过程中的总膳食纤维含量变化

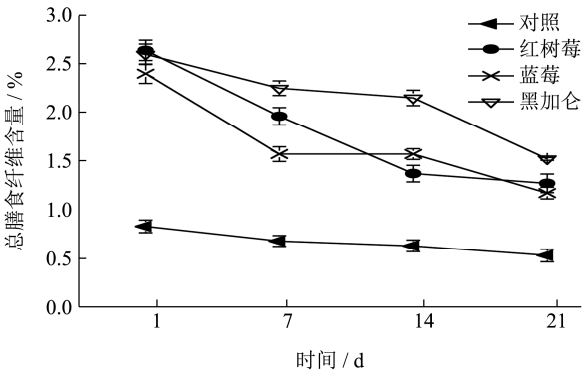


图5 不同浆果果渣酸奶中总膳食纤维含量随贮藏时间的变化

Fig.5 Changes of total dietary content in different berries

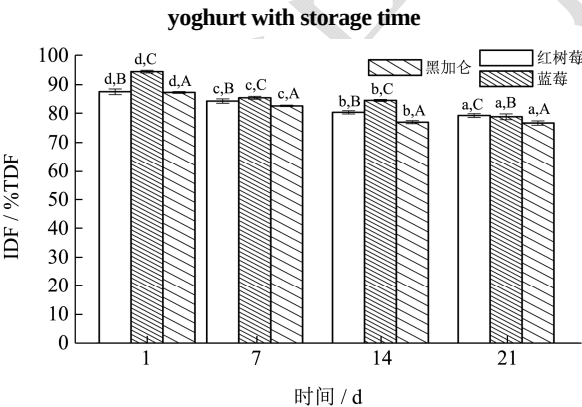


图6 不同浆果果渣酸奶中 IDF/TDF 随贮藏时间的变化

Fig.6 Changes of IDF/TDF in different berries yoghurt with storage time

由图 5 可知，三种浆果果渣酸奶的总膳食纤维随着贮藏时间的延长而减少，干基百分含量分别由 1st d 的 2.64%、2.40%、2.60%，减少到 21th d 的 1.27%、1.17% 和 1.52%。

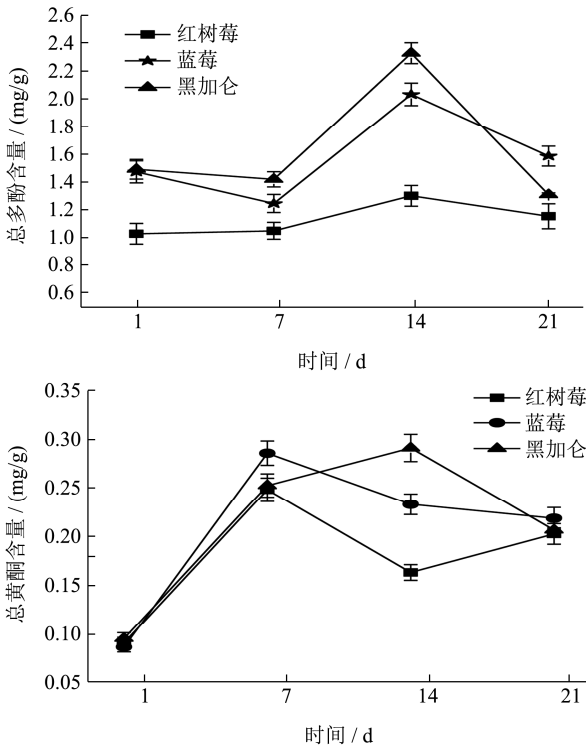
由图 6 可知，不溶性膳食纤维 (insoluble dietary

fiber, IDF) 占总膳食纤维 (total dietary fiber, TDF) 的百分比随贮藏时间延长而减少。

在贮藏期间，三种浆果果渣酸奶的总膳食纤维含量和不溶性膳食纤维的含量均在减少，但均显著高于对照样品 ($p<0.05$)，所以浆果果渣的加入可以显著提高酸奶中的膳食纤维含量。可溶性膳食纤维有很强的吸水性^[34]，膳食纤维总量以及可溶性膳食纤维含量均减少，可溶性膳食纤维的减少使浆果果渣酸奶持水力下降，与图 2 结果一致。

2.4.4 不同浆果果渣酸奶在贮藏过程中的活性成分含量变化

三种浆果果渣酸奶在贮藏过程中的总多酚、总黄酮、花色苷成分含量变化结果如图 7 所示。



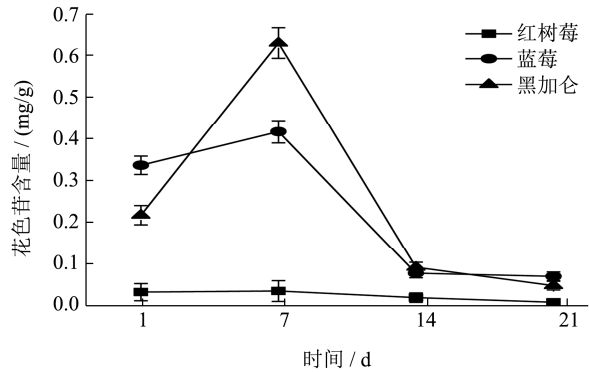


图7 不同浆果果渣酸奶中活性成分含量随贮藏时间的变化
Fig.7 Changes of active constituents content of different berries yoghurt with storage time

总多酚含量在 14thd 时达到峰值, 红树莓果渣酸奶的总多酚含量由最初的 1.02 mg/g 增加到 1.30 mg/g, 蓝莓果渣酸奶的总多酚含量从 1.47 mg/g 增加到 2.03 mg/g, 黑加仑果渣酸奶的总多酚含量从 1.49 mg/g 增加到 2.32 mg/g。14thd 之后多酚含量均有所减少, 在 21thd 时, 红树莓和蓝莓果渣酸奶的多酚含量仍高于 1std 的数据。浆果果渣酸奶中总黄酮含量的变化与总多酚相似, 在贮藏期间含量均有增加, 但花色苷变化不稳定, 其稳定性差, 除受其结构影响外, 还易受 pH、温度、光和氧等因素的影响^[35], 其 21thd 花色苷含量相比于 1std 显著减少了。浆果果渣的添加对于贮藏期

间酸奶中活性成分的增加有显著影响, 主要体现在多酚与黄酮含量的增加。

含多酚等活性成分的果渣的加入是酸奶中活性成分含量增加的主要原因, 贮藏中活性成分含量的变化有可能与温度和 pH 等因素有关, 具体原因需要进一步研究。

2.4.5 不同浆果果渣酸奶在贮藏过程中的抗氧化性变化

反应液浓度为 100.00 mg/mL, 实验结果如表 5 所示。在同一贮藏时间点, 添加三种浆果果渣的酸奶相比于对照酸奶在 DPPH 自由基清除能力、总还原力、羟自由基清除率上均有显著提高, 分别可以提高至对照酸奶的 2.51~3.93 倍、7.54~13.11 倍、1.98~4.28 倍, 浆果果渣的添加可以显著提高酸奶的抗氧化能力。不同浆果果渣酸奶样品测得的抗氧化性在 1std、7thd、14thd、21thd 四个时间点之间存在显著差异。三种浆果果渣酸奶样品在 7thd 测得 DPPH 自由基清除率显著高于其它时间点, 总还原力方面, 三种浆果果渣酸奶所测值在 14thd 到达峰值, 蓝莓和黑加仑果渣酸奶的羟自由基清除率 7thd 的值显著高于其它时间点的数值。实验结果与 Bertolino 等^[8]研究结果一致。可以看出, 在 7thd 和 14thd 这个时间段内浆果果渣对酸奶抗氧化性的影响更加明显, 浆果果渣酸奶拥有更佳的抗氧化性。

表 5 不同浆果果渣酸奶抗氧化性随贮藏时间的变化

Table 5 Changes of antioxidant capacities of different berries yoghurt with storage time

抗氧化性	酸奶种类	贮藏时间			
		1 st d	7 th d	14 th d	21 th d
DPPH 自由基清除能力/%	对照	12.76±0.17 ^{b,A}	16.60±1.01 ^{d,A}	13.80±0.14 ^{c,A}	10.21±0.47 ^{a,A}
	红树莓	43.67±0.54 ^{c,C}	45.61±0.52 ^{d,B}	34.76±0.23 ^{b,B}	31.41±0.01 ^{a,C}
	蓝莓	50.12±0.49 ^{c,D}	62.48±0.51 ^{d,C}	38.82±0.51 ^{b,D}	35.67±0.84 ^{a,D}
	黑加仑	41.55±0.86 ^{c,B}	45.88±0.49 ^{d,B}	36.56±0.33 ^{b,C}	30.89±0.02 ^{a,B}
	对照	1.13±0.02 ^{a,A}	1.33±0.01 ^{b,A}	1.68±0.04 ^{c,A}	1.76±0.01 ^{d,A}
总还原力/(μmol/g)	红树莓	11.50±0.87 ^{a,B}	13.73±0.31 ^{b,B}	14.87±0.22 ^{d,B}	14.43±0.88 ^{c,C}
	蓝莓	12.28±0.11 ^{a,C}	15.07±0.57 ^{c,C}	17.27±0.13 ^{d,D}	13.27±0.57 ^{b,B}
	黑加仑	14.82±1.28 ^{a,D}	15.50±0.62 ^{c,D}	15.32±0.09 ^{b,C}	16.12±0.46 ^{d,D}
	对照	16.12±0.45 ^{b,A}	18.09±0.77 ^{c,A}	18.98±0.41 ^{d,A}	12.29±1.11 ^{a,A}
羟自由基清除率/%	红树莓	66.16±0.19 ^{d,C}	62.75±0.94 ^{c,B}	42.42±0.05 ^{b,C}	40.05±0.91 ^{a,C}
	蓝莓	65.24±0.35 ^{c,B}	71.75±1.13 ^{d,C}	49.56±0.17 ^{b,D}	45.23±0.75 ^{a,D}
	黑加仑	66.27±0.64 ^{c,D}	77.47±0.81 ^{d,D}	37.52±0.26 ^{b,B}	34.78±0.64 ^{a,B}
	对照	16.12±0.45 ^{b,A}	18.09±0.77 ^{c,A}	18.98±0.41 ^{d,A}	12.29±1.11 ^{a,A}

注: 同一列不同大写字母表示数据具有显著性差异 ($p<0.05$), 同一行不同小写字母表示数据具有显著性差异 ($p<0.05$)。

3 结论

三种浆果果渣含有丰富的总膳食纤维, 具有较强抗氧化性, 可以作为抗氧化膳食纤维应用到酸奶制品中。添加红树莓、蓝莓、黑加仑果渣没有引起贮藏中

酸奶质量的劣化, 有助于改善酸奶的质构特性, 显著提高酸奶的总膳食纤维含量和抗氧化活性。

参考文献

[1] SEERAM N P, ADAMS L S, ZHANG Y, et al. Blackberry,

- black raspberry, blueberry, cranberry, red raspberry, and strawberry extracts inhibit growth and stimulate apoptosis of human cancer cells *in vitro* [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(25): 9329-9339
- [2] KALT W, FORNEY C F, MARTIN A, et al. Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(11): 4638-4644
- [3] RONALD L P, SAMUEL E W, THEODORE R R, et al. Purified blueberry anthocyanins and blueberry juice alter development of obesity in mice fed an obesogenic high-fat diet [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(7): 3970-3976
- [4] MALIN D H, LEE D R, GOYARZU P, et al. Short-term blueberry enriched diet prevents and reverses object recognition memory loss in aging rats [J]. Nutrition, 2011, 27(3): 337-338
- [5] 陈成花, 张婧, 刘炳杰, 等. 蓝莓果渣营养成分分析及评估 [J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(9): 223-227
- CHEN Cheng-hua, ZHANG Jing, LIU Bing-jie, et al. Analysis and evaluation of nutrient composition of blueberry pomace [J]. Food and Fermentation Industry, 2016, 42(9): 223-227
- [6] 旷慧, 王金玲, 吕长山, 等. 东北地区红树莓果渣的营养成分分析 [J]. 中国林副特产, 2016, 1: 14-18
- KUANG Hui, WANG Jin-ling, LU Chang-shan, et al. Analysis of nutrient composition of red berry slag in Northeast China [J]. China Forestry Deputy Specialty, 2016, 1: 14-18
- [7] 黄萍, 林亲录, 朱凤霞, 等. 米糠水溶性膳食纤维理化特性及抗氧化性 [J]. 食品科学, 2017, 38(23): 14-19
- HUANG Ping, LIN Qin-lu, ZHU Feng-xia, et al. Physicochemical properties and antioxidant properties of water-soluble dietary fiber of rice bran [J]. Food Science, 2017, 38(23): 14-19
- [8] BERTOLINO M, BELVISO S, BELLO B, et al. Influence of the addition of different hazelnut skins on the physicochemical, antioxidant, polyphenol and sensory properties of yogurt [J]. Food Science and Technology, 2015, 63(2): 1145-1154
- [9] LEIFER W R, ABEYWARDENA M Y. Grape seed and red wine polyphenol extracts inhibit cellular cholesterol uptake, cell proliferation, and 5-lipoxygenase activity [J]. Nutrition Research, 2008, 36(12): 842-850
- [10] 陈成花, 张婧, 陈海燕, 等. 蓝莓果渣花色苷超声提取工艺优化及组成分析 [J]. 食品科技, 2016, 41(4): 192-199
- CHEN Cheng-hua, ZHANG Jing, CHEN Hai-yan, et al. Optimization and composition analysis of ultrasonic extraction process of anthocyanins from blueberry pomace [J]. Food Science and Technology, 2016, 41(4): 192-199
- [11] 旷慧, 王金玲, 姚丽敏, 等. 6种东北地区红树莓果渣提取物的抗氧化活性差异 [J]. 食品科学, 2016, 37(1): 63-68
- KUANG Hui, WANG Jin-ling, YAO Li-min, et al. Differences in antioxidant activities of extracts from 6 kinds of red berry slag in Northeast China [J]. Food Science, 2016, 37(1): 63-68
- [12] 柴军红, 何婷婷, 钟读波, 等. 黑加仑果渣活性成分及金属离子含量变化初步研究 [J]. 食品研究与开发, 2017, 38(6): 133-137
- CHAI Jun-hong, HE Ting-ting, ZHONG Du-bo, et al. Preliminary study on the changes of active constituents and metal ion content in blackcurrant pomace [J]. Food Research and Development, 2017, 38(6): 133-137
- [13] 夏其乐, 邢建荣, 陆胜民, 等. 杨梅、蓝莓果渣混合果酱加工工艺 [J]. 江苏农业科学, 2017, 45(12): 139-141
- XIA Qi-le, XING Jian-rong, LU Sheng-min, et al. Processing technology of mixed jam of bayberry and blueberry pomace [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(12): 139-141
- [14] 刘海英, 刘静, 徐莉莉. 黑加仑果渣膳食纤维挤出改性工艺优化 [J]. 黑龙江科技信息, 2016, 36: 168-169
- LIU Hai-ying, LIU Jing, XU Li-li. Optimization of extrusion process for dietary fiber of blackcurrant pomace [J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2016, 36: 168-169
- [15] 雷良波, 杨浩, 陈军李, 等. 蓝莓果渣开发利用研究进展 [J]. 中国酿造, 2017, 36(10): 17-22
- LEI Liang-bo, YANG Hao, CHEN Jun-li, et al. Research progress in the development and utilization of blueberry pomace [J]. China Brewing, 2017, 36(10): 17-22
- [16] 田其英. 酸奶的研究进展 [J]. 食品与发酵科技, 2013, 49(1): 92-94
- TIAN Qi-ying. Research progress of yogurt [J]. Food and Fermentation Technology, 2013, 49(1): 92-94
- [17] 王建成, 彭凯乐, 张雯, 等. 蓝靛果酒渣抗氧化膳食纤维酸奶的研制及性质分析 [J]. 食品工业科技, 2016, 37(23): 227-232
- WANG Jian-cheng, PENG Kai-le, ZHANG Luan, et al. Preparation and properties analysis of Lonicera wine residue antioxidant dietary fiber yogurt [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(23): 227-232

- [18] 张媛媛, 张彬. 苯酚-硫酸法与蒽酮-硫酸法测定绿茶茶多糖的比较研究[J]. 食品科学, 2016, 37(4): 158-163
ZHANG Yuan-yuan, ZHANG Bin. Comparative study on the determination of polysaccharides from green tea by phenol-sulfuric acid method and anthrone-sulfuric acid method [J]. Food Science, 2016, 37(4): 158-163
- [19] 张根生, 侯静, 张铭东, 等. 松仁红衣多酚的提取及体外抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(23): 252-256
ZHANG Gen-sheng, HOU Jing, ZHANG Ming-dong, et al. Extraction and antioxidant activity of pine polyphenols *in vitro* [J]. Food Industry Technology, 2014, 35(23): 252-256
- [20] TEOW C C, TRUONG V D, MCFEETERS R F, et al. Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours [J]. Food Chemistry, 2007, 103(3): 829-838
- [21] 陈亮, 辛秀兰, 王彦辉, 等. 红树莓花色苷含量测定及成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(5): 166-169
CHEN Liang, XIN Xiu-lan, WANG Yan-hui, et al. Determination and composition analysis of anthocyanin content in red raspberry [J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(5): 166-169
- [22] BOUAYED J, HOFFMANN L, BOHN T. Total Phenolics, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activity following simulated gastro-intestinal digestion and dialysis of apple varieties: Bioaccessibility and potential uptake [J]. Food Chemistry, 2011, 128(1): 14-21
- [23] 赵梦雅, 鞠婷, 凌秀昕, 等. 松仁种皮成分分析及在酸奶中的应用[J]. 现代食品科技, 2017, 33(7): 133-139
ZHAO Meng-ya, JU Ting, LING Xiu-xin, et al. Analysis of seed components of pine nuts and its application in yogurt [J]. Modern Food Technology, 2017, 33(7): 133-139
- [24] 姚淑渠. 老酸奶发酵生产工艺优化研究[J]. 现代农业科技, 2012, 9: 369-371
YAO Shu-qu. Study on optimization of fermentation production process of old yogurt [J]. Modern Agricultural Technology, 2012, 9: 369-371
- [25] 蔡蕊, 宋春花, 李汴生. 蛋白质强化对搅拌型酸奶品质特性的影响[J]. 食品科学, 2011, 5: 132-136
CAI Rui, SONG Chun-hua, LI Bian-sheng. Effect of protein strengthening on quality characteristics of stirred yogurt [J]. Food Science, 2011, 5: 132-136
- [26] 林祥斌, 洪伯铿. 黑加仑果渣的成份分析[J]. 黑龙江商学院学报, 1990, 4: 1-4
LIN Xiang-bin, HONG Bo-keng. Ingredient analysis of blackcurrant pomace [J]. Journal of Heilongjiang University of Commerce, 1990, 4: 1-4
- [27] SAURA-CALIXTO F. Antioxidant dietary fiber product: a new concept and a potential food ingredient [J]. J Agr Food Chem, 1998, 46(10): 4303-4306
- [28] 廖芬, 刘国明, 郑凤锦, 等. 不同稳定剂对香蕉凝固型酸奶品质的影响[J]. 南方农业学报, 2015, 46(1): 123-127
LIAO Fen, LIU Guo-ming, ZHENG Feng-jin, et al. Effects of different stabilizers on the quality of banana solidified yoghurt [J]. South China Journal of Agricultural Sciences, 2015, 46(1): 123-127
- [29] 李荣华. 乳蛋白对凝固型酸奶流变学特性及微观结构[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2007
LI Rong-hua. Rheology and microstructure of milk protein on solidified yogurt [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2007
- [30] 连小燕, 钟振声. 一种提高非水溶性玉米膳食纤维持水力的方法[J]. 食品工业科技, 2012, 33(12): 180-187
LIAN Xiao-yan, ZHONG Zhen-sheng. A method for improving the water holding capacity of insoluble corn dietary fiber [J]. Food Industry Science and Technology, 2012, 33(12): 180-187
- [31] 张养东, 李松励, 韩荣伟, 等. 国家标准《发酵乳》历年情况综述[J]. 中国乳业, 2017, 192: 64-72
ZHANG Yang-dong, LI Song-li, HAN Rong-wei, et al. Summary of the national standard "fermented milk" over the years [J]. China Dairy, 2017, 192: 64-72
- [32] 范宇, 陈历俊, 赵常新. 酸奶质构影响因素研究进展[J]. 中国乳品工业, 2009, 37(7): 30-34
FAN Yu, CHEN Li-jun, ZHAO Chang-xin. Research progress on the influence factors of yogurt texture [J]. China Dairy Industry, 2009, 37(7): 30-34
- [33] ISLETEN M, KARAGUL-YUCEER Y. Effects of dried dairy ingredients on physical and sensory properties of nonfat yogurt [J]. Journal of Dairy Science, 2006, 89: 2865-2872
- [34] 刘铭, 李秀婷, 潘凌风, 等. 芒果皮可溶性膳食纤维的提取及性质研究[J]. 中国食品添加剂, 2014, 1: 82-87
LIU Ming, LI Xiu-ting, PAN Ling-feng, et al. Extraction and properties of soluble dietary fiber from mango skin [J]. China Food Additives, 2014, 1: 82-87
- [35] 孙建霞, 张燕, 胡小松, 等. 花色苷的结构稳定性与降解机制研究进展[J]. 中国农业科学, 2009, 42(3): 996-1008
SUN Jian-xia, ZHANG Yan, HU Xiao-song, et al. Research progress on structural stability and degradation mechanism of anthocyanins [J]. Chinese Agricultural Science, 2009, 42(3): 996-1008

现代食品科技