

苹果渣粗多糖对发酵乳品质及抗氧化活性的影响

王正荣，吴鹏，田小磊，郭双海，韩丽春

Effect of Apple Pomace Crude Polysaccharide on the Quality and Antioxidant Activity of Fermented Milk

WANG Zhengrong, WU Peng, TIAN Xiaolei, GUO Shuanghai, and HAN Lichun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022050325>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

西藏灵菇菌粒、瑞士乳杆菌LZ-R-5与普通乳酸菌的发酵乳特性对比及低场核磁共振在其储藏期间水分的在线监测应用
Comparison of Fermented Milk Characteristics of Tibetan Kefir Grains, *Lactobacillus helveticus* LZ-R-5 and Common Lactic Acid Bacteria and On-line Monitoring Application of Low-Field NMR in Storage Period

食品工业科技. 2018, 39(21): 53-60 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.21.010>

益生元在发酵乳中的应用研究进展

Progress of research on the application of prebiotics in fermented milk

食品工业科技. 2017(08): 379-383 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.08.065>

11种酵母菌对冬瓜酒品质及抗氧化性的影响

Effects of 11 Kinds of Yeasts on Quality and Antioxidant Activity of Wax Gourd Wine

食品工业科技. 2020, 41(3): 114-119 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.03.021>

不同光质对西兰花芽苗菜营养品质及抗氧化性的影响

Effects of Different Light Quality on Nutritional Quality and Antioxidant Activity of Broccoli Sprouts

食品工业科技. 2018, 39(23): 42-49 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.23.008>

桑葚全果粉与果渣粉对曲奇饼干品质和抗氧化性的影响

Effects of Mulberry Powder and Mulberry Pomace Powder on the Quality and Antioxidant Properties of Cookies

食品工业科技. 2021, 42(10): 1-7 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020060332>

西藏灵菇中两株产胞外多糖单胞酿酒酵母菌发酵性能及其发酵乳的流变学特性研究

Comparative analysis of fermentability and rheological properties of two strains of exopolysaccharide-producing *Kazachstania unispora* from Tibetan kefir

食品工业科技. 2018, 39(1): 87-91 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.01.016>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

王正荣, 吴鹏, 田小磊, 等. 苹果渣粗多糖对发酵乳品质及抗氧化活性的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(6): 66–73. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050325

WANG Zhengrong, WU Peng, TIAN Xiaolei, et al. Effect of Apple Pomace Crude Polysaccharide on the Quality and Antioxidant Activity of Fermented Milk[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(6): 66–73. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050325

· 研究与探讨 ·

苹果渣粗多糖对发酵乳品质及抗氧化活性的影响

王正荣¹, 吴 鹏¹, 田小磊¹, 郭双海^{2,*}, 韩丽春^{1,3}

(1. 河北工程大学生命科学与食品工程学院, 河北邯郸 056107;

2. 邯郸科技职业学院农牧系, 河北邯郸 056046;

3. 邯郸市天然产物与功能食品开发重点实验室, 河北邯郸 056107)

摘要: 为提高苹果渣的开发利用价值, 将提取的苹果渣粗多糖添加到发酵乳中, 研究其对发酵乳的乳酸菌活菌数、滴定酸度、pH、持水力、色泽、质构、存储模量和损失模量、抗氧化活性及感官评定等指标的影响。结果表明: 质量分数为 0.06%~0.14% 的苹果渣粗多糖可显著增加发酵乳的活菌数和酸度 ($P<0.05$) ; 对持水力具有显著提高效果 ($P<0.05$) ; 当苹果渣粗多糖添加量为 0.10% 时, 其硬度、咀嚼性最高, 此时也具有最高的感官评分 (90.8 分) ; 苹果渣粗多糖的添加有助于改善酸奶的凝胶特性, 增加其存储模量 G' 和损耗模量 G"; 同时显著提高了发酵乳的体外抗氧化活性 ($P<0.05$), 且抗氧化活性与添加量呈正相关性。本研究为苹果渣的再利用和功能性发酵乳的开发提供理论依据。

关键词: 苹果渣粗多糖, 发酵乳, 品质, 流变学特性, 抗氧化性

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)06-0066-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050325

本文网刊:



Effect of Apple Pomace Crude Polysaccharide on the Quality and Antioxidant Activity of Fermented Milk

WANG Zhengrong¹, WU Peng¹, TIAN Xiaolei¹, GUO Shuanghai^{2,*}, HAN Lichun^{1,3}

(1. School of Life Science and Food Engineering, Hebei Engineering University, Handan 056107, China;

2. Agriculture and Animal Husbandry Department, Handan Vocational College of Science and Technology,
Handan 056046, China;

3. Handan Key Laboratory of Natural Products and Functional Food Development, Hebei Engineering University,
Handan 056107, China)

Abstract: To improve the utilization of apple pomace, the extracted crude polysaccharide from apple pomace was added to fermented milk and its effects was studied. The parameters of fermented milk tested including lactic acid bacteria number, titration acidity, pH value, water holding capacity, color, texture, storage modulus and loss modulus, antioxidant activity and sensory evaluation. The results showed that the addition of 0.06%~0.14% apple pomace crude polysaccharide (APCP) significantly increased the number of viable bacteria and acidity of fermented milk, and improved its water holding capacity ($P<0.05$). When the addition of APCP was 0.10%, the hardness and chewiness were improved the most, and the sensory score (90.8) as well. The addition of APCP improved the gel properties of yogurt and increased its storage modulus G' and loss modulus G". At the same time, the antioxidant activity *in vitro* of fermented milk significantly increased ($P<0.05$), and the antioxidant activity was positively correlated with the addition amount. This study would provide a theoretical basis for

收稿日期: 2022-05-27

基金项目: 2021 年度校博士专项基金项目 (SJ2101003095)。

作者简介: 王正荣 (1978-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: wazhro@qq.com。

* 通信作者: 郭双海 (1973-), 男, 硕士, 讲师, 研究方向: 食品发酵工程, E-mail: 1622306806@qq.com。

the reuse of apple pomace and the development of functional fermented milk.

Key words: apple pomace crude polysaccharide; fermented milk; quality; rheological properties; antioxidant activity

近年来我国发酵乳市场蓬勃发展, 种类层出不穷, 2001 年我国发酵乳产量为 551000 t, 2017 年产量为 7423000 t, 增加了将近 14 倍。随着市场上发酵乳产品种类的增加, 销量不断攀升, 2018 年发酵乳销售额首超生鲜乳, 自此进入发酵乳时代^[1-2]。发酵乳的快速发展对发酵乳种类提出新的要求, 同时随着健康意识的提高, 人们对功能性发酵乳的需求也随之增加。

苹果汁和果酒在生产加工过程中, 产生大量副产物, 主要为苹果渣, 当前苹果渣主要作为动物饲料, 或直接丢弃或焚烧, 这不仅造成了巨大的经济损失, 也污染了生态环境^[3-4]。因此寻求新方法或途径提高苹果渣的利用率、提升其利用价值, 成为了目前研究的重要内容。苹果渣中富含各种营养成分, 主要包括果胶、纤维素、多糖、多酚、维生素和矿物质等多种元素。其中多糖主要包含可溶性糖、果胶、淀粉等, 具有抗氧化、预防癌症、减肥等多种功效^[5-8]。植物多糖添加到发酵乳中不仅能有效地改善其风味和品质, 同时亦能增加其功效作用。如红枣多糖^[9]、黑木耳多糖^[10]、杏鲍菇多糖^[11]、肉桂多糖^[12]等能显著地改善酸奶的品质。而山楂多糖^[13]、蛹虫草多糖^[14]、杏鲍菇多糖^[15]等具有抗氧化、抗肿瘤和护肝明目等作用。本文以苹果渣为原料提取粗多糖, 研究苹果渣粗多糖对发酵乳品质和体外抗氧化活性的影响, 为苹果渣的再利用提供理论基础, 同时为新型功能性发酵乳的开发提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

苹果渣 河南绿斯曼生物科技有限公司; 生鲜牛乳、蔗糖 购自新乡本地超市; 发酵剂(保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌、鼠李糖乳杆菌) 为本实验室筛选纯化; 乳酸杆菌琼脂培养基(LAM)(成分 g/L: 脱化乳 15.0, 酵母浸粉 5.0, 磷酸二氢钾 2.0, 葡萄糖 10.0, 蕃茄浸出粉 2.5, 吐温 80 1.0, 琼脂 12.0, pH6.8±0.2) 青岛海博生物技术有限公司; 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH) 美国 Sigma 公司; 其他试剂 均为市售分析纯。

TA -XT.plus 质构仪 英国 Stable Micro Systems (SMS)公司; CR-400 色差计 日本美能达公司; UV-1240 紫外分光光度计 日本岛津公司; HAAKE-MARS 流变仪 美国 Thermo Scientific 公司; Beckman L-80-XP 离心机 Ultracentrifuge(美国); ALPHA 1-4 冷冻干燥机 德国 Christ 公司; PB-10 型酸度计 德国赛多利斯仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 苹果渣粗多糖的制备 将苹果渣粉碎过筛

(40 目), 置于 500 mL 烧杯中, 水浴锅中进行热水浸提, 提取温度 80 ℃, 料液比 1:40, 提取时间 3 h, 提取结束后于 5000 r/min 离心 10 min。取上清液, 浓缩后, 加入 Sevag 试剂(三氯甲烷: 正丁醇=4:1)进行脱蛋白, 连续脱蛋白 4 次。取上清液加入 3 倍体积 95% 乙醇溶液醇沉, 混匀后静置过夜, 于 5000 r/min 离心 10 min, 弃去上清液, 沉淀物用蒸馏水溶解备用。真空冷冻干燥得到粗多糖。

1.2.2 苹果渣粗多糖发酵乳的制备 取新鲜牛乳 80 mL, 依次加入 6% 的蔗糖, 在前期研究的基础上, 苹果渣粗多糖的质量分数(以牛乳为基础)为 0、0.06%、0.08%、0.10%、0.12%、0.14% 的苹果渣粗多糖, 95 ℃ 下杀菌 10 min, 均质, 待冷却后, 加入 2‰ 的混合发酵剂(保加利亚乳杆菌:嗜热链球菌:鼠李糖乳杆菌=1:1:1), 38 ℃ 恒温发酵 8 h, 室温下冷却后, 置于冰箱中 4 ℃ 下后熟 24 h, 将制得的苹果渣粗多糖发酵乳^[13], 以备测定各项试验指标。

1.2.3 乳酸菌活菌数测定 采用《食品安全国家标准食品微生物学检验 乳酸菌检验》(GB 4789.35-2016) 测定发酵乳中乳酸菌总数。

1.2.4 色泽的测定 利用标准比色板($L^*=97.22$ 、 $a^*=-0.14$ 、 $b^*=1.82$)对色差计进行矫正, 纠正后分别测定发酵乳的 L^* (亮度值)、 a^* (红度值)和 b^* (黄度值)。

1.2.5 酸度的测定 采用《食品安全国家标准 食品酸度的测定》(GB 5009.239-2016) 测定酸度, 其中酸度的表示方法采用吉尔涅尔度(°T)。

1.2.6 pH 的测定 利用 pH 计直接测定样品的 pH。

1.2.7 持水力的测定 持水力测定参照吴丽萍等^[16]的方法。取 50 mL 的离心管进行称重(W_0), 将发酵好的苹果渣粗多糖酸奶(10 mL)放入其中, 称重记为 W_1 。4000 r/min, 离心 15 min 后, 取出静置分层后, 将弃上清液后的离心管进行称重, 记为 W_2 。发酵乳持水力计算公式如(1)所示:

$$\text{持水力}(\%) = (W_2 - W_0)/(W_1 - W_0) \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

1.2.8 质构的测定 利用质构仪测定发酵乳的硬度, 咀嚼性, 黏性和内聚性, 参照 Bedanir 等的方法^[17], 略作修改。选用 P/0.5 型探头, 测定过程中的主要参数值为: 测前、测中和测后速率的速率分别为 2.0、1.0 和 2.0 mm/s; 下压间隔时间为 0 s; 最小触发力: 0.3 N。

1.2.9 储存模量和损耗模量的测定 通过流变仪对发酵乳的储存模量(G')和损耗模量(G'')进行测定, 参考 Sah 等^[18]的方法, 略加修改。将搅拌均匀的苹果渣粗多糖发酵乳, 放置于探头上, 采用 50 mm 实心定转子的同心圆筒。测定条件设定为: 缝隙为 1 mm,

温度为 4 ℃, 固定的频率(0.1~32 Hz)。

1.2.10 感官评定 参照 GB 19302-2010 发酵乳的感官评价标准, 由 10 位与乳品研究相关的学生和教师(男、女各 5 名), 对分别对发酵乳的色泽、组织状态、气味以及滋味等方面进行感官评定, 评分标准如表 1 所示, 总分为 100 分^[13,19]。

表 1 发酵乳感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standard of fermented milk

因素	评分标准	分值(分)
色泽	色泽均匀一致, 具有一定的光泽度	17~20
	色泽不均匀, 但无明显色差	11~16
	色泽不均匀, 有明显色差	0~10
组织状态	凝固性好、无或少量乳清析出、质地均匀	25~30
	凝固性一般、稍有乳清析出、有分层	15~24
	凝固性差、大量乳清析出, 有大颗粒状凝块	0~14
口感	酸甜适中、口感细腻可口	25~30
	口感较为细腻爽滑, 酸甜感一般	15~24
	口感不够细腻, 有苦涩感	0~14
滋味	具有和谐的发酵乳的香气, 无异味	17~20
	发酵乳特有的味道比较淡, 稍有异味	11~16
	失去发酵乳的滋味, 有异味	0~10

1.2.11 DPPH 自由基清除能力的测定 参考 Shen 等的方法^[20], 略作修改。具体操作如下: 配制 0.16 mmol/L 的 DPPH 溶液(溶于 95% 的乙醇), 取其 5 mL 与 2 mL 样品(发酵乳样品或蒸馏水)混匀后, 于避光处静置反应 30 min, 将反应好的混合液放入离心管中离心(4000 r/min, 10 min), 离心结束后, 将上清液进行吸光度测定(波长为 517 nm)。其中 A₀ 为蒸馏水测定值, A₁ 为发酵乳测定值, A₂ 为以 95% 乙醇 DPPH 溶液所测定数值。DPPH 自由基清除率公式如(2)所示。

$$\text{DPPH自由基清除率}(\%) = [A_0 - (A_1 - A_2)]/A_0 \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

1.2.12 羟自由基清除能力的测定 参考 Shen 等的方法^[20], 略作修改。分别配制 H₂O₂(8.8 mmol/L)、FeSO₄(9 mmol/L)以及水杨酸(9 mmol/L)溶液, 将三种不同的溶液分别取 1 mL, 依次加入到样品中(1 g 发酵乳或蒸馏水), 向该体系中加入 9 倍体积的 95% 乙醇溶液, 将混合液混匀后, 取其中的 2 mL 水浴(37 ℃, 30 min)。取出室温下静置, 将上清液测定吸光值(510 nm)。其中 A₀: 蒸馏水测定值, A₁: 发酵乳测定值, A₂: 蒸馏水代替反应过程中的 H₂O₂ 溶液, 测定的本底吸光值。羟自由基清除率测定公式如(3)所示。

$$\text{羟自由基清除率}(\%) = [A_0 - (A_1 - A_2)]/A_0 \times 100 \quad \text{式 (3)}$$

1.2.13 ABTS 自由基清除能力的测定 参考王涛等^[21]的方法, 略加修改。配制 ABTS(7.4 mmol/L)和 K₂S₂O₈ 溶液(2.6 mmol/L), 分别取 3 mL, 将其混

匀后, 充分反应(暗处, 4 ℃, 16 h), 取出反应后的混合液, 将其稀释(无水乙醇), 稀释至吸光度(734 nm)为 0.70±0.02 时即可。将稀释后的溶液取 3.5 mL, 与 0.5 mL 的发酵乳混合, 于暗处反应(20 ℃, 10 min), 取反应好的上清液测定吸光度(734 nm), 记作 A₁, ABTS⁺清除率公式如(4)所示。

$$\text{ABTS}^+ \text{自由基清除率}(\%) = (A_1 - 0.7)/0.7 \times 100 \quad \text{式 (4)}$$

1.3 数据处理

本文中的数据采用 Excel 进行处理, 显著性分析利用 SPSS 24.0 软件, 采用方差分析法(固定模型), 多重比较利用邓肯法进行, 图表的绘制采用 Excel、Origin 软件, 每个处理组重复 4 次, 数据表示为 $\bar{x} \pm S$ 。

2 结果与分析

2.1 苹果渣粗多糖对发酵乳中活菌数的影响

活菌数是一项评价发酵乳的重要指标, 益生菌需达到一定数量才能发挥其益生作用, 国际上公认的有效剂量为 10⁶ CFU/mL^[22]。从图 1 结果可知, 随着苹果渣粗多糖添加量的增加, 发酵乳中活菌数呈现递增的趋势, 且包括对照在内的所有处理组活菌数均高于 10⁶ CFU/mL。添加苹果渣粗多糖各处理组的活菌数均显著高于空白对照组($P < 0.05$)。当苹果渣粗多糖添加量高于 0.12% 时, 其活菌数达到 10⁹ CFU/mL。有研究表明, 多糖可作为微生物的碳源, 有利于乳酸菌的增殖, 快速产生乳酸^[23]。赵岩岩等^[13]研究发现, 当发酵乳中添加 0.16% 山楂叶多糖时, 可使发酵乳的活菌数高达 10⁹ CFU/mL, 可有效地促进乳酸菌的快速生长。另外发酵乳中添加牛蒡多糖、菊粉等不同的天然植物提取物多糖均能促进乳酸菌的生长^[13,22], 与本文的研究结果一致。植物多糖的添加促进了益生菌的生长, 益生菌的快速增殖能有效地抑制有害微生物的生长, 益生菌在生长繁殖过程中产生大量的营养物质, 增加发酵乳的营养价值^[13,22,24], 因此苹果渣粗多糖的添加可提高发酵乳的益生效果。

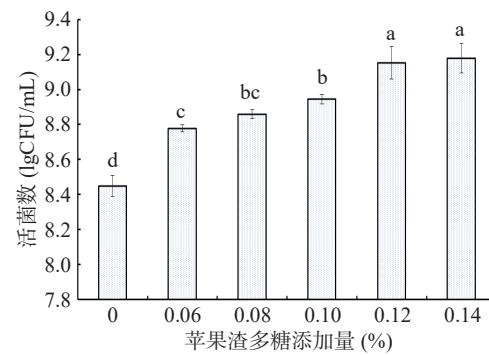


图 1 苹果渣粗多糖对发酵乳中乳酸菌活菌数的影响

Fig.1 Effects of APCP on viable cell count of fermented milk
注: 不同小写字母表示不同处理组之间差异显著($P < 0.05$), 表 2~表 3, 图 2~图 4、图 7 同。

2.2 苹果渣粗多糖对发酵乳色泽的影响

色泽是影响发酵乳感官评价的重要指标之一。

表 2 结果表明, 随着苹果渣添加量的增加, L^* 值逐渐降低, 而 a^* 值和 b^* 值分别呈上升的趋势。与空白对照组相比, 添加苹果渣粗多糖的发酵乳 L^* 值显著低于空白对照组 ($P<0.05$), a^* 值显著高于对照组 ($P<0.05$), b^* 值显著高于对照组 ($P<0.05$)。发酵乳色泽的变化主要受到苹果渣粗多糖颜色的影响, 本文中所使用的苹果渣粗多糖颜色为棕黄色, 当发酵乳中苹果渣粗多糖含量增加时, 发酵乳的亮度降低, 黄度值和红度值均逐渐增加。

表 2 苹果渣粗多糖对发酵乳色泽的影响
Table 2 Effects of APCP on color of fermented milk

多糖添加量(%)	L^*	a^*	b^*
0	90.00±1.40 ^a	-2.15±0.07 ^e	8.04±0.08 ^e
0.06	87.27±1.27 ^b	-0.53±0.08 ^d	9.06±0.76 ^d
0.08	86.15±0.83 ^{bc}	-0.19±0.11 ^c	11.12±0.47 ^c
0.10	85.14±1.20 ^c	1.11±0.06 ^b	11.68±0.20 ^{bc}
0.12	83.06±1.40 ^d	1.36±0.05 ^a	12.04±0.24 ^{ab}
0.14	81.62±1.01 ^d	1.42±0.10 ^a	12.67±0.79 ^a

2.3 苹果渣粗多糖对发酵乳酸度的影响

酸度是衡量发酵乳品质的重要标准, 当发酵乳酸度在 70~110 °T 区间范围时口感较好, 高于 120 °T 则不被消费者接受^[25]。图 2 结果表明所有试验组的酸度均在可接受范围内, 随着苹果渣粗多糖添加量的增加, 发酵乳的酸度呈增高的趋势。除添加量 0.06% 外, 其余组的酸度均显著高于空白对照组 ($P<0.05$)。发酵乳的酸度主要是由乳酸菌类微生物在发酵过程中所产生的乳酸和有机酸类物质所造成^[26]。添加苹果渣粗多糖后发酵乳酸度的变化趋势与图 1 活菌数的变化趋势一致, 可能是因为苹果渣粗多糖促进乳酸菌增殖, 而乳酸菌的增殖导致发酵乳酸度的增加^[27]。

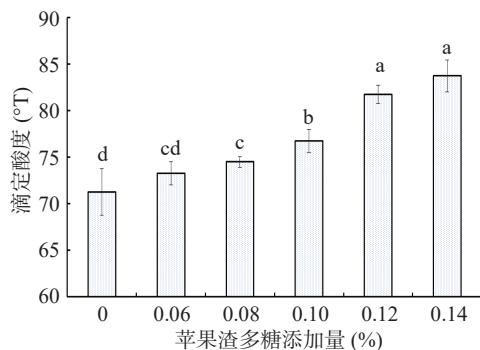


图 2 苹果渣粗多糖对发酵乳酸度的影响
Fig.2 Effects of APCP on titratable acidity of fermented milk

当发酵乳的 pH 在 4.00~4.25 范围内均有较好的口感^[16]。由图 3 结果可知, 当苹果渣添加量为 0.08%~0.12% 时, pH 从 4.15 降低到 4.09。pH 的整体变化随着苹果渣粗多糖添加量的增加呈递增的趋势, 这与酸度的变化结果相一致。pH 在发酵乳评价中不仅和风味、凝胶性有关, 还会影响食品的质量安全^[13]。

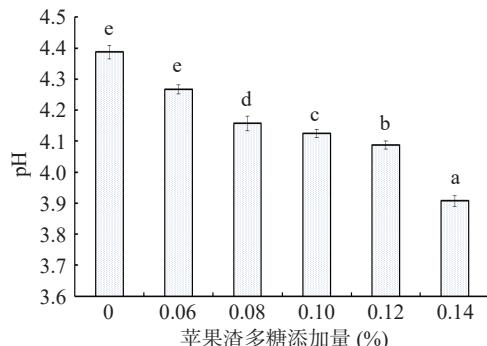


图 3 苹果渣粗多糖对发酵乳 pH 的影响
Fig.3 Effects of APCP on pH of fermented milk

2.4 苹果渣粗多糖对发酵乳持水力的影响

持水力影响发酵乳的出品率、稳定性、感官评分以及组织状态, 通常情况下发酵乳的持水力越高, 其稳定性就越高, 反之则稳定性较差^[28]。由图 4 可知, 添加苹果渣粗多糖能显著提高发酵乳的持水力 ($P<0.05$), 且随着发酵乳中苹果渣粗多糖添加量的增加, 其持水力呈现先增加后降低的趋势。当苹果渣粗多糖添加量为 0.10% 时, 发酵乳的持水力达到最高 (81.47%), 比空白对照组高 15.37%。有研究表明, 多糖作为一种胶体通过物理和化学方式改善产品的持水力, 大分子多糖形成网状结构将自由水紧密包裹其中, 同时多糖分子中的亲水基团还能与水分子紧密结合, 从而改善发酵乳的持水力^[28]。如添加凝胶多糖、普鲁兰和低甲基氧果胶等均可有效地提高发酵乳的持水力^[29~30]。但是当多糖添加量过大时, 可能会破坏蛋白质之间的相互作用, 从而使得持水力有下降的趋势, 这一结果与吴丽萍等^[16]的研究相似。

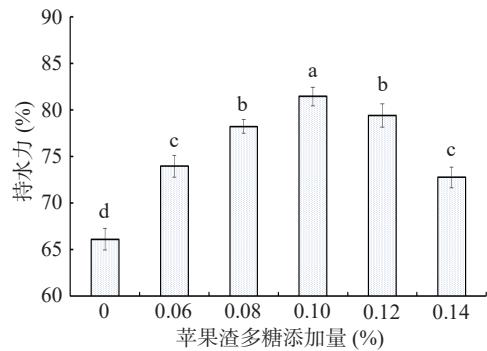


图 4 苹果渣粗多糖对发酵乳持水力的影响
Fig.4 Effects of APCP on water-holding capacity of fermented milk

2.5 苹果渣粗多糖对发酵乳质构的影响

质构是评价乳制品物理特性和感官质量的关键指标^[31]。添加苹果渣粗多糖对发酵乳质构的影响如表 3 所示, 由结果可知, 发酵乳的硬度、黏性、咀嚼性和内聚性随着苹果渣粗多糖添加量的增加, 呈现先增加后降低的趋势。其中除苹果渣粗多糖量为 0.14% 外, 其他试验组随着添加量的增加, 发酵乳硬度、咀嚼性和黏性均显著高于对照组 ($P<0.05$)。当苹果渣粗多糖添加量为 0.10% 时, 发酵乳的硬度、咀嚼性

表 3 苹果渣粗多糖对发酵乳质构的影响

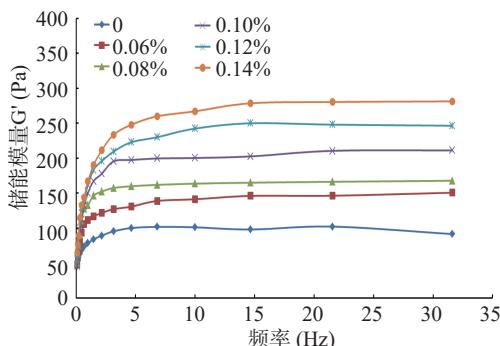
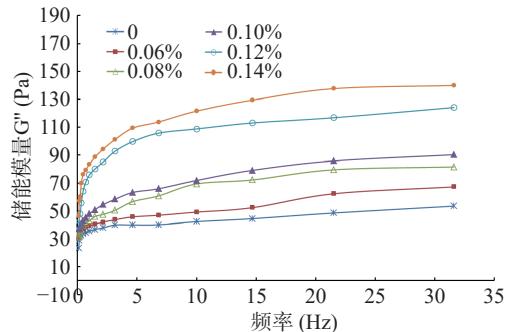
Table 3 Effects of APCP on textural properties of fermented milk

多糖添加量(%)	硬度(g)	咀嚼性	黏性(g·s)	内聚性
0	109.33±7.59 ^d	63.71±4.53 ^d	56.98±3.55 ^d	0.48±0.01 ^b
0.06	139.08±8.85 ^c	92.85±5.32 ^b	84.20±2.57 ^b	0.49±0.01 ^b
0.08	149.03±7.84 ^b	93.02±4.11 ^b	87.65±1.77 ^b	0.49±0.02 ^b
0.10	185.41±9.73 ^a	126.10±5.86 ^a	120.74±2.17 ^a	0.53±0.01 ^a
0.12	158.75±7.50 ^{bc}	82.37±4.65 ^c	78.31±2.47 ^c	0.53±0.01 ^a
0.14	107.16±7.50 ^d	61.65±5.00 ^d	59.17±3.61 ^d	0.49±0.02 ^b

和黏性均达到最大值, 分别为 185.41 g、126.10 和 120.74 g·s。发酵乳硬度的变化可能是由于可溶性固形物变化所造成^[32], 当苹果渣粗多糖增加时, 可溶性固形物含量增加, 酸奶硬度增加; 另一方面由于多糖类物质可与水分结合影响发酵乳的稳定性, 同时使得内部分子间相互作用力增强, 促进了大分子的相互聚集, 从而提高了发酵乳的硬度、黏性和胶着性, 但是当添加量过高时, 又会破坏发酵乳结构, 导致发酵乳硬度降低, 这一结果与发酵乳的持水性变化呈正相关^[28,33]。发酵乳的黏性和咀嚼性的增加可以增强发酵乳的口感, 使发酵乳在口感上更加的黏稠, 可以提高发酵乳的感官评分^[34]。

2.6 苹果渣粗多糖对发酵乳存储模量和损耗模量的影响

储能模量(G')和损耗模量(G'')主要反映发酵乳凝胶特性, 与凝胶作用力的大小呈正相关, 是流变学性质中的重要指标^[35]。由图 5~图 6 可知, 随着频率的增加, 各处理组发酵乳的 G' 和 G'' 均呈现增加的趋势, 在频率增加的开始阶段, 呈现快速增加的趋势, 且 $G' > G''$, 说明酸奶是以弹性为主的凝胶, 这与之前的研究结果一致^[36]。与空白对照组相比, 加入苹果渣粗多糖后, 发酵乳的 G' 和 G'' 的变化趋势相同, 其数值均出现不同程度的增加, 且与多糖的添加量呈现一定的正相关。Wang 等^[3]研究发现, 添加苹果渣能促进发酵乳蛋白质的聚集, 形成稳定体系, 其原因是由于苹果渣中的可溶性纤维增加了发酵乳的黏度, 阻止了不溶性微粒的沉淀, 使发酵乳形成凝胶网状结构, 具有更好的粘弹性, 因此一定量苹果渣的

图 5 苹果渣粗多糖对发酵乳储能模量 G' 的影响Fig.5 Effects of APCP on storage modulus G' of fermented milk图 6 苹果渣粗多糖对发酵乳损耗模量 G'' 的影响Fig.6 Effects of APCP on loss modulus G'' of fermented milk

加入能有效地防止乳清的析出, 增加产品的稳定性。

2.7 苹果渣粗多糖对发酵乳感官评价的影响

由表 4 可知, 随着苹果渣粗多糖添加量的增加, 发酵乳的色泽、组织状态、口感、滋味以及总分均呈现先升高后降低的趋势, 发酵乳中加入苹果渣粗多糖后, 其感官评分均高于空白对照组。苹果渣粗多糖的添加, 有效增加了发酵乳中活菌数的生长, 缩短了发酵时间, 从而使得空白对照组的发酵乳在试验条件下(发酵温度 38 ℃, 8 h), 发酵不彻底, 使其感官评分下降。当发酵乳中苹果渣粗多糖添加量 0.10% 时, 其感官评分最高(90.8); 苹果渣添加量超过 0.10% 后, 其感官评分开始下降, 导致这一结果的原因是, 苹果渣粗多糖添加量过高时, 发酵乳的组织凝胶状态被破坏, 此时发酵乳开始析出乳清, 酸度上升, 感官评分逐渐降低。因此, 适量添加苹果渣粗多糖, 可改善发酵乳的口感, 使其色泽、组织状态、口感和滋味均有不同程度地提高, 其中最佳添加量为 0.10%。

表 4 苹果渣粗多糖添加量对发酵乳感官评分(分)的影响

Table 4 Effect of APCP on the sensory quality (scores) of fermented milk

多糖添加量(%)	色泽	组织状态	口感	滋味	总分
0	13.2	19.2	22.1	14.3	68.8
0.06	15.9	21.3	22.5	15.6	75.3
0.08	16.8	25.9	27.1	16.3	86.1
0.10	17.3	27.9	27.3	18.3	90.8
0.12	15.7	25.7	26.6	15.9	83.9
0.14	14.1	22.3	23.7	14.2	74.3

2.8 苹果渣粗多糖对发酵乳 DPPH 自由基清除能力的影响

自由基清除能力是生物活性物质具有抗氧化活性的一种表现形式。由图 7 可知, 随着苹果渣粗多糖添加量的增加, 发酵乳的 DPPH 自由基清除率呈现增加的趋势, 添加苹果渣粗多糖各处理组的 DPPH 自由基清除率显著高于对照组($P<0.05$)。当苹果渣添加量增加到 0.14% 时, 发酵乳的 DPPH 自由基清除率为 67.12%, 比空白对照组(31.94%)增加 109.82%。苹果渣粗多糖能增加发酵乳 DPPH 自由基清除能力, 主要是因为苹果渣果胶多糖本身就具有一定的

DPPH 自由基清除能力, 且与浓度表现出一定的正相关^[37]。

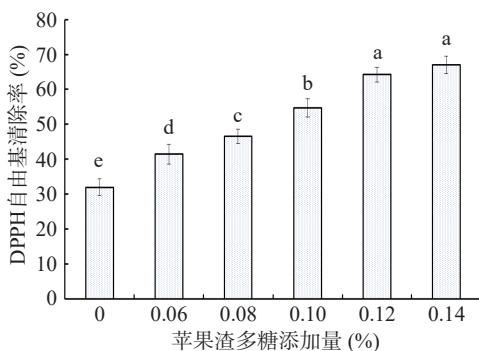


图 7 苹果渣粗多糖对发酵乳 DPPH 自由基清除率的影响

Fig.7 Effects of APCP on DPPH free radical scavenging ability of fermented milk

2.9 苹果渣粗多糖对发酵乳羟自由基清除能力的影响

由图 8 可知, 随着苹果渣粗多糖添加量的增加, 发酵乳中羟自由基的清除率呈上升的趋势, 加入苹果渣粗多糖后能显著增加发酵乳的羟自由基清除率 ($P<0.05$)。当苹果渣粗多糖添加量为 0.14% 时, 羟自由基清除率为 75.30%, 而空白对照组为 42.42%。研究发现苹果多糖半纯品具有羟自由基清除能力^[21], 这可能是导致发酵乳中羟自由基清除能力增加的主要原因。

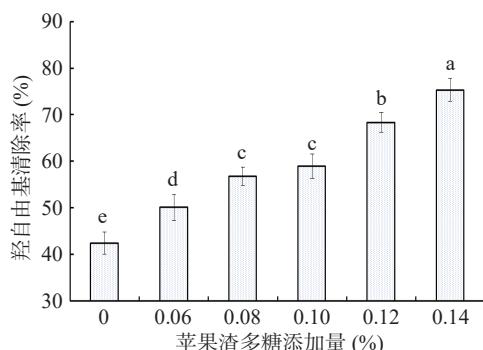


图 8 苹果渣粗多糖对发酵乳羟自由基的影响

Fig.8 Effects of APCP on hydroxyl free radical scavenging ability of fermented milk

2.10 苹果渣粗多糖对发酵乳 ABTS⁺自由基清除能力的影响

当反应体系中存在抗氧化物质时, ABTS⁺被还原程度主要取决于抗氧化物质的抗氧化能力及其浓度^[38]。由图 9 可知, 随着苹果渣粗多糖添加量的增加, 发酵乳的 ABTS⁺清除率呈不断增强的趋势, 该变化趋势与 DPPH 自由基和羟自由基清除结果相似, 当苹果渣粗多糖添加量为 0.14% 时, ABTS⁺清除率可达到 75.51%。综上, 添加苹果渣粗多糖的发酵乳清除 DPPH[·]、·OH 和 ABTS⁺能力均呈现不同程度的增加, 体现了较好的抗氧化活性。

3 结论

本文研究了苹果渣粗多糖对发酵乳的品质和抗

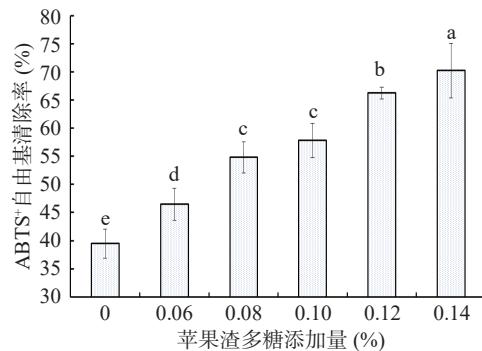


图 9 苹果渣粗多糖对发酵 ABTS⁺自由基的影响

Fig.9 Effects of APCP on ABTS⁺ free radical scavenging ability of fermented milk

氧化活性的影响, 当苹果渣添加量在 0.06%~0.14% 时, 发酵乳中的活菌数和持水力呈增加趋势, 酸度上升, 发酵乳的质构得到改善, 苹果渣粗多糖本身的颜色使发酵乳的色泽发生一定的变化, 储能模量和损失模量呈现增加的趋势。当苹果渣添加量为 0.10% 时, 其感官评分最高, 此时发酵乳的口感及组织状态最佳。通过添加苹果渣粗多糖, 发酵乳的 DPPH 自由基、羟自由基和 ABTS⁺自由基清除能力均得到不同程度的增加。可见添加苹果渣粗多糖可提高发酵乳的稳定性和益生效果, 有效改善发酵乳的风味口感, 这为苹果渣的开发利用提供了新的途径, 同时也给功能性乳酸发酵产品的研究提供理论参考。本文的研究主要集中在苹果渣粗多糖对发酵乳品质方面的影响, 但其影响发酵乳品质的机理, 有待进一步的探索。

参考文献

- [1] 李楠, 刘振民. 益生菌与功能发酵乳开发研究进展 [J]. 乳业科学与技术, 2020, 43(3): 31~38. [LI N, LIU Z M. Probiotics and development of functional yogurt: A review of recent progress [J]. Journal of Dairy Science and Technology, 2020, 43(3): 31~38.]
- [2] 霍晓娜, 曹志强. 我国酸奶市场竞争格局与发展趋势 [J]. 中国乳业, 2018(3): 8~10. [HUO X N, CAO Z Q. Development trend of yogurt market in china [J]. China Dairy, 2018(3): 8~10.]
- [3] WANG X, KRISTO E, LAPOINTE G. The effect of apple pomace on the texture, rheology and microstructure of set type yogurt [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 91(7): 83~91.
- [4] GRASSO S, BRUNTON N P, LYNG J G, et al. Healthy processed meat products-Regulatory, reformulation and consumer challenges [J]. Trends in Food Science & Technology, 2014, 39(1): 4~17.
- [5] DOU J, MENG Y, LIU L L, et al. Purification, characterization and antioxidant activities of polysaccharides from thinned-young apple [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 72: 31~40.
- [6] 张典, 王粉侠, 弥曼, 等. 苹果多糖预防小鼠结肠炎癌变的作用及其机制研究 [J]. 中国药学杂志, 2015(17): 66~70. [ZHANG D, WANG F X, MI M, et al. Effect and mechanism of apple polysaccharides on experimental colitis associated colorectal cancer in mice [J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2015(17): 66~70.]

- [7] FERNANDES P A R, SILVA A M S, EVTUGUIN D V, et al. The hydrophobic polysaccharides of apple pomace[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2019, 223: 115132.
- [8] KUMAR A, CHAUHAN G S. Extraction and characterization of pectin from apple pomace and its evaluation as lipase (steapsin) inhibitor-ScienceDirect[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2010, 82(2): 454–459.
- [9] 崔国庭, 李沁沛, 王缎, 等. 红枣多糖对乳酸菌发酵及酸奶品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(19): 203–207. [CUI G T, LI Q P, WANG D, et al. Effect of jujube date polysaccharide on the fermentation of lactic acid bacteria and the quality of yogurt[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(19): 203–207.]
- [10] 薛依婷, 白红霞, 李明杰, 等. 黑木耳多糖凝固型酸奶发酵工艺优化[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(16): 156–162. [XUE Y T, BAI H X, LI M J, et al. Optimization of fermentation process of set yogurt with auricularia auricular polysaccharide[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(16): 156–162.]
- [11] 郝静, 杨晨芝, 丁霄, 等. 杏鲍菇多糖对乳酸菌发酵及酸奶品质的影响[J]. *食品工业*, 2020, 41(11): 177–180. [HAO J, YANG C Z, DING X, et al. Effect of polysaccharides from *Pleurotus eryngii* on fermentation of lactic acid bacteria and quality of yogurt[J]. *The Food Industry*, 2020, 41(11): 177–180.]
- [12] 贺莹. 肉桂多糖对乳酸菌发酵及酸奶品质的影响[J]. *食品工业*, 2020, 41(8): 139–143. [HE Y. Effect of cinnamon polysaccharide on the fermentation of lactic acid bacteria and the quality of yogurt[J]. *The Food Industry*, 2020, 41(8): 139–143.]
- [13] 赵岩岩, 赵圣明, 李帅, 等. 山楂叶多糖对发酵乳品质及抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(2): 82–88. [ZHAO Y Y, ZHAO S M, LI S, et al. Effect of Polysaccharides from hawthorn leaves on the quality and antioxidant activity of fermented milk[J]. *Food Science*, 2020, 41(2): 82–88.]
- [14] 韩瑜玮, 刘洋洋, 陈伟. 虫草多糖酸奶对酒精性肝损伤昆明种小鼠的协同保护作用[J]. *食品科学*, 2020, 41(1): 209–214. [HAN Y W, LIU Y Y, CHEN W. Synergistic protective effects of cordyceps militaris polysaccharide supplemented yogurt on alcoholic liver injury in kunming mice[J]. *Food Science*, 2020, 41(1): 209–214.]
- [15] LI S, SHAH N P. Effects of *Pleurotus eryngii* polysaccharides on bacterial growth, texture properties, proteolytic capacity, and angiotensin-I-converting enzyme-inhibitory activities of fermented milk[J]. *Journal of Dairy Science*, 2015, 98(5): 2949–2961.
- [16] 吴丽萍, 孙虹, 董康珍, 等. 改性燕麦麸水溶性膳食纤维对发酵乳品质及抗氧化活性的影响[J]. *食品与生物技术学报*, 2021, 40(9): 40–49. [WU L P, SUN H, DONG K Z, et al. Effects of modified oat bran soluble dietary fiber on quality and antioxidant activity of fermented milk[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2021, 40(9): 40–49.]
- [17] BEDANI R, CAMPOS M M, CASTRO I A, et al. Incorporation of soybean by-product okara and inulin in a probiotic soy yoghurt: Texture profile and sensory acceptance[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2013, 94(1): 119–125.
- [18] SAH B N P, VASILJEVIC T, MCKECHNIE S, et al. Physicochemical, textural and rheological properties of probiotic yogurt fortified with fibre-rich pineapple peel powder during refrigerated storage[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 65: 978–986.
- [19] 杨续金, 侯燕军, 呼斯乐, 等. 凝固型绵羊奶酸奶的发酵特性及活菌数变化[J]. *食品科学*, 2021, 42(20): 69–74. [YANG X J, HOU Y J, HU S L, et al. Fermentation properties of set yogurt made from sheep milk and changes in viable bacterial count during cold storage[J]. *Food Science*, 2021, 42(20): 69–74.]
- [20] SHEN Y B, ZHANG H, CHENG L L, et al. *In vitro* and *in vivo* antioxidant activity of polyphenols extracted from black highland barley[J]. *Food Chemistry*, 2016, 194: 1003–1012.
- [21] 王涛, 任亚梅, 岳珍珍, 等. 粉红女士苹果多糖分离纯化、结构表征及抗氧化活性研究[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(4): 183–192. [WANG T, REN Y M, YUE Z Z, et al. Purification, characterization and antioxidant activities of polysaccharides from pink lady apple[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, 18(4): 183–192.]
- [22] 何君, 韩育梅, 刘敏, 等. 菊粉和低聚果糖对发酵乳品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(11): 116–123. [HE J, HAN Y M, LIU M, et al. Effect of inulin and oligofructose on the quality of fermented milk[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(11): 116–123.]
- [23] OLIVEIRA R P D, PEREGO P, OLIVEIRA M N D, et al. Effect of inulin as prebiotic and symbiotic interactions between probiotics to improve fermented milk firmness[J]. *Journal of Food Engineering*, 2011, 107(1): 36–40.
- [24] 李宁宁, 王正荣, 孙春晓, 等. 牛蒡多糖对发酵乳品质和抗氧化性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(10): 97–103. [LI N N, WANG Z R, SUN C X, et al. Burdock polysaccharides enhanced the quality and antioxidative activity of fermented milk[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(10): 97–103.]
- [25] DONKOR O N, HENRIKSSON A, VASILJEVIC T, et al. Effect of acidification on the activity of probiotics in yoghurt during cold storage[J]. *International Dairy Journal*, 2006, 16(10): 1181–1189.
- [26] WANG T, YE Z, LIU S, et al. Effects of crude *Sphallerocarpus gracilis* polysaccharides as potential prebiotics on acidifying activity and growth of probiotics in fermented milk[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021: 111882.
- [27] 杨淑妮, 李理. 全谷物酸奶的理化及功能特性研究[J]. *中国乳品工业*, 2016, 44(4): 17–20. [YANG S N, LI L. Researches on the physicochemical and functional properties of whole grain yogurt[J]. *China Dairy Industry*, 2016, 44(4): 17–20.]
- [28] DU H, YANG H G, WANG X P, et al. Effects of mulberry pomace on physicochemical and textural properties of stirred-type flavored yogurt[J]. *Journal of Dairy Science*, 2021, 104(12): 12403–12414.
- [29] ZHAO Y, FU R, LI J. Effects of the β -glucan, curdlan, on the fermentation performance, microstructure, rheological and textural properties of set yogurt[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 128: 109449.
- [30] KHUBBER S, CHATURVEDI K, THAKUR N, et al. Low-methoxyl pectin stabilizes low-fat set yoghurt and improves their physicochemical properties, rheology, microstructure and sensory

- liking[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 111: 106240.
- [31] 王鑫磊, 王萌, 闫春晓, 等. 马乳酒样乳杆菌 ZW3(*Lactobacillus kefiranofaciens* ZW3) 对酸奶风味及质构的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(10): 119–123. [WANG X L, WANG M, YAN C X, et al. Effects of *Lactobacillus kefiranofaciens* ZW3 on the texture and flavor characteristics of yogurt[J]. *Food Science*, 2022, 43(10): 119–123.]
- [32] PASEEPHOL T, SMALL D M, SHERKAT F. Rheology and texture of set yogurt as affected by inulin addition[J]. *Journal of Texture Studies*, 2008, 39: 617–634.
- [33] 周勇, 李伟, 彭祺菲, 等. 沙棘多糖对发酵乳凝胶特性的影响及沙棘多糖酸奶工艺优化[J]. *中国乳品工业*, 2020, 48(7): 26–31.
- [34] DELIKANLI B, OZCAN T. Effects of various whey proteins on the physicochemical and textural properties of set type non-fat yoghurt[J]. *International Journal of Dairy Technology*, 2015, 67(4): 495–503.
- [35] RAMCHANDRAN L, SHAH N P. Characterization of functional, biochemical and textural properties of synbiotic low-fat yogurts during refrigerated storage[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2010, 43(5): 819–827.
- [36] BONG D D, MOAU C I. Use of micellar casein concentrate for Greek-style yogurt manufacturing: Effects on processing and product properties[J]. *Journal of Dairy Science*, 2014, 97(3): 1259–1269.
- [37] 马惠玲, 盛义保, 张丽萍, 等. 苹果渣果胶多糖的分离纯化与抗氧化活性研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(S1): 218–222. [MA H L, SHENG Y B, ZHANG L P, et al. Purification and antioxidative activity of apple pectin from apple pomace[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(S1): 218–222.]
- [38] 李广富, 陈伟, 范路平, 等. 茶树菇多糖酸奶的抗氧化活性与抗衰老研究[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(10): 140–145, 173. [LI G F, CHEN W, FAN L P, et al. In vitro antioxidative and anti-aging effects of *Agrocybe aegerita* polysaccharide yogurt[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 31(10): 140–145, 173.]