

添加复原乳对酸奶品质的影响

马明^{1,2}, 姚思含¹, 商佳琦^{1,2}, 王玥鑫^{1,2}, 曹雪^{1,2}, 刘宁^{1,2*}

(1. 东北农业大学 食品学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 乳品科学教育部重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 为探究添加复原乳对酸奶品质的影响, 以含有不同比例(0%、20%、40%、60%、80%和100%)复原乳的原料发酵酸奶, 以感官评分、酸度、粒径、质构、乳清析出率和糠氨酸含量为指标评价酸奶品质。结果表明: 随着复原乳比例的增加, 酸奶的感官评分逐渐降低, 酸度变化幅度增大, 硬度增大, 而黏着性降低, 乳清析出率增大, 持水性变差。与以生鲜乳为原料制作的酸奶相比, 含复原乳的原料发酵所得的酸奶颗粒粒径较大, 且糠氨酸含量升高, 品质变差。

关键词: 复原乳; 生鲜乳; 酸奶; 水分分布; 品质

Effect of Reconstituted Milk on Yogurt Quality

MA Ming^{1,2}, YAO Si-han¹, SHANG Jia-qi^{1,2}, WANG Yue-xin^{1,2}, CAO Xue^{1,2}, LIU Ning^{1,2*}

(1. College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang, China;
2. Key Lab of Dairy Science, Ministry of Education, Harbin 150030, Heilongjiang, China)

Abstract: This study analyzed the effect of reconstituted milk on the quality of yogurt. Specifically, the raw materials containing different proportions (0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100%) of reconstituted milk were used for the fermentation of yogurt, and then the yielded yogurt was evaluated based on sensory score, acidity, particle size, texture, whey separation rate and furosine content. The analysis suggested that the yogurt showed decrease in sensory score, great fluctuation of acidity, rise of hardness, reduction in adhesiveness, increase in whey separation rate, and drop of water-holding capacity with the increase in the proportion of reconstituted milk. The yogurt yielded by fermenting raw materials containing reconstituted milk had larger particles and more unbeneficial furosine content than the yogurt obtained by fermenting fresh milk, and thus the quality was poorer.

Key words: reconstituted milk; fresh milk; yogurt; water distribution; quality

引文格式:

马明, 姚思含, 商佳琦, 等. 添加复原乳对酸奶品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(9): 144-149.

MA Ming, YAO Sihan, SHANG Jiaqi, et al. Effect of Reconstituted Milk on Yogurt Quality[J]. Food Research and Development, 2022, 43(9): 144-149.

复原乳, 也称还原奶, 是将一定量的水加入到浓缩乳或乳粉中, 使水分与固体物质的比例和生鲜乳中的比例相近的一种乳品^[1]。近年来, 由于生鲜乳的来源不稳定、质量参差不齐、生产成本低, 而奶粉价格低、便于运输、质量易控制, 因此企业对复原乳的需求量逐渐增大^[2]。目前, 生产酸奶的原料没有明确的规定, 许多乳品企业为了降低成本, 使用复原乳代替生鲜乳来

生产酸奶。

因复原乳经过多次高温处理, 其营养价值会有所降低, 维生素等被损失破坏, 磷酸钙发生沉淀, 蛋白质发生变性^[3-5]。同时, 高温处理也会促使美拉德反应的发生, 产生更多的美拉德反应产物, 如糠氨酸等^[6]。有研究表明, 美拉德反应会导致食物中营养物质发生损失, 使食物中的某些蛋白质减少或变得不可消化, 同

作者简介: 马明(1990—), 男(汉), 硕士研究生, 研究方向: 乳成分功能与营养。

* 通信作者: 刘宁(1960—), 男(汉), 教授, 博士, 研究方向: 乳成分功能与营养。

时可能对健康产生有害影响,如诱变性和代谢性疾病^[7-8]。经过多次高温处理后的复原乳的理化性质发生了改变,会对酸奶的微观结构和感官产生影响,导致利用复原乳生产的酸奶在产品品质上存在一定的缺陷,降低了消费者的可接受性^[9]。

目前,对复原乳的研究主要集中在热处理后结构的变化以及蛋白复合物的形成,以及向酸奶中添加脱脂乳粉对酸奶的影响^[10],鲜有关于复原乳对酸奶品质影响的研究。因此,本研究以添加复原乳的生鲜乳为原料,按照传统工艺发酵酸奶,分析不同比例的复原乳对酸奶的感官、理化性质和糠氨酸含量等的影响,以期为提高酸奶的品质及为消费者选择酸奶产品提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

生鲜乳:兰州庄园牧场股份有限公司;全脂奶粉:Devondale公司;氢氧化钠(分析纯):天津市大陆化学试剂厂;糠氨酸标准品:NeoMPS公司;甲醇(色谱纯):天津市津东天正精细化工试剂厂;三氟乙酸(色谱纯):格里斯医药化学技术有限公司;乙酸胺(分析纯):上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

乳成分分析仪(Milko Scan FT 120):丹麦福斯集团公司;激光粒径分析仪(Mastersizer2000):英国马尔文仪器有限公司;质构仪(TA.XT PLUS):美国TA仪器公司;高压均质机(GYB40-10S):上海华东高压均质机厂;高效液相色谱仪(2695):美国Waters公司。

1.3 方法

1.3.1 酸奶的制备

准确称取12.5 g全脂奶粉,加入适量50℃的蒸馏水,低速搅拌至溶解,定容至100 mL,制成复原乳。分别向生鲜乳中添加0%、20%、40%、60%、80%和100%的复原乳,制成含有不同比例复原乳的混合乳。取50 mL混合乳,预热至55℃,高压均质处理2次(20 MPa)后,在90℃条件下水浴杀菌5 min,冷却至42℃,接种0.2%的菌种发酵剂,发酵6 h~8 h,4℃保存。

1.3.2 乳成分分析

采用乳成分分析仪分析生牛乳和复原乳的乳品质差异,主要指标包括蛋白质、脂肪、乳糖、非脂乳固体和总固形物。

1.3.3 感官评定

随机抽取食品专业10人(男、女各5人),从酸奶的色泽、气味、口感与组织状态4个方面,对不同比例

复原乳发酵的酸奶进行感官评价。感官评价标准参考RHB 103—2004《酸牛乳感官质量评鉴细则》,具体见表1。

表1 酸奶的感官评价标准

Table 1 The standard of sensory evaluation for yogurt

指标	评价标准	分值
色泽(10分)	色泽不均匀,呈灰褐色	0~3
	色泽较均匀,淡黄色	4~6
	色泽均匀,乳白色	7~10
气味(30分)	有异味	0~10
	带有酸奶香味,稍微有乳粉味	11~25
	带有酸奶香味,无乳粉味	26~30
口感(30分)	口感较差,有颗粒感,过酸或过甜	0~10
	口感较纯正,有轻微的磨砂感,较酸或较甜	11~25
	口感纯正,无颗粒感,酸甜适中	26~30
组织状态(30分)	凝乳不均匀,乳清明显分离,多沉淀	0~10
	凝乳较均匀,稍有乳清析出,少沉淀	11~25
	凝乳均匀,无乳清析出,无或少量沉淀	26~30

1.3.4 酸度的测定

按照GB 5009.239—2016《食品安全国家标准 食品酸度的测定》测定酸奶的酸度,连续测定7 d。

1.3.5 粒度的测定

根据LEVY等^[11]的方法,并做适当修改。利用激光粒径分析仪对酸奶的粒径进行测定。吸取5 mL酸奶,用蒸馏水稀释50倍,混合均匀后测定,以D(4,3)平均值来衡量粒径的大小。

1.3.6 质构特性的测定

利用质构仪对酸奶的质构特性进行测量^[10]。测量过程中选用A/BE探头,直径为35 mm,测前速度与测试速度为1.0 mm/s,测后速度为10 mm/s,测试距离为20 mm。

1.3.7 乳清析出率的测定

参照KÖRZENDÖRFER等^[12]的方法,并做适当修改,取酸奶样品10 mL,以3 000 r/min离心30 min,静置10 min后,测定上清液质量即为上层析出乳清质量。乳清析出率计算公式如下。

$$\text{乳清析出率}/\% = \frac{M_1}{M} \times 100$$

式中: M_1 为上层析出乳清质量,g; M 为酸奶样品总质量,g。

1.3.8 糠氨酸含量的测定

牛奶在热处理过程中会发生美拉德反应,产生糠氨酸。根据NY/T 939—2016《巴氏杀菌乳和UHT灭菌乳中复原乳的鉴定》所规定的方法,采用高效液相色谱

谱法对糠氨酸进行定量。糠氨酸的洗脱梯度参数如表2所示。

表2 糠氨酸梯度洗脱的参数

Table 2 Parameters of gradient elution of furosine

时间/min	流速/(mL/min)	洗脱液 A/%	洗脱液 B/%
0	1.00	100	0
16.0	1.00	86.8	13.2
16.5	1.00	0	100
25.0	1.00	100	0
30.0	1.00	100	0

1.3.9 数据分析

所有试验重复3次,结果以平均值±标准差表示,

表3 复原乳和生鲜乳的成分含量

Table 3 The composition of reconstituted milk and fresh milk

类别	g/100 mL				
	蛋白质	脂肪	乳糖	非脂乳固体	总固形物
生鲜乳	3.23±0.15 ^a	3.98±0.09 ^a	4.37±0.11 ^a	8.62±0.34 ^a	11.80±0.49 ^a
复原乳	3.21±0.10 ^a	4.02±0.12 ^a	4.40±0.02 ^a	8.60±0.34 ^a	11.84±0.35 ^a

注:同列肩标相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。

由表3可知,复原乳和生鲜乳的成分没有显著差异,因此酸奶品质的差异不是由原料乳的成分不同引起。

2.2 不同比例的复原乳对酸奶感官品质的影响

不同比例的复原乳对酸奶感官品质的影响结果如表4所示。

表4 不同比例复原乳酸奶的感官评分

Table 4 Scores of yoghurts containing different proportions of reconstituted milk

复原乳比例/%	色泽	气味	口感	组织状态	总体接受性
0	8.42±0.81 ^a	26.34±1.10 ^a	27.31±1.33 ^a	26.16±1.90 ^a	87.08±3.06 ^a
20	8.38±0.73 ^a	25.98±2.20 ^{ab}	26.94±1.52 ^a	25.11±1.19 ^b	86.94±3.97 ^a
40	7.90±1.12 ^b	25.82±1.97 ^b	25.45±1.79 ^b	24.87±1.62 ^{bc}	81.51±4.13 ^b
60	7.32±0.89 ^c	24.81±1.48 ^c	24.62±1.34 ^c	24.51±1.79 ^c	76.31±2.97 ^c
80	7.27±0.91 ^c	24.47±1.43 ^c	23.07±1.97 ^d	23.88±2.09 ^d	75.89±4.06 ^c
100	6.83±0.72 ^d	22.75±1.83 ^d	22.84±2.06 ^d	22.52±1.21 ^d	73.67±3.42 ^d

注:同列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表4可知,以不同比例的复原乳作为原料制作的酸奶品质存在显著差异。以生鲜乳为原料发酵制得的酸奶细腻润滑、色泽均匀、凝乳较好且有纯正酸奶香气。随着复原乳比例的增加,各项指标的得分均有不同程度降低,酸奶的可接受程度也逐渐降低。总体来说,当原料乳中的复原乳比例等于或低于20%时,发酵所得的酸奶品质更接近以生鲜乳为原料发酵所得的酸奶;当原料乳中复原乳的比例大于40%时,

采用SPSS 22.0软件对数据进行显著性分析,利用Sigmaplot 12.5和Origin 8.6作图软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 乳成分分析

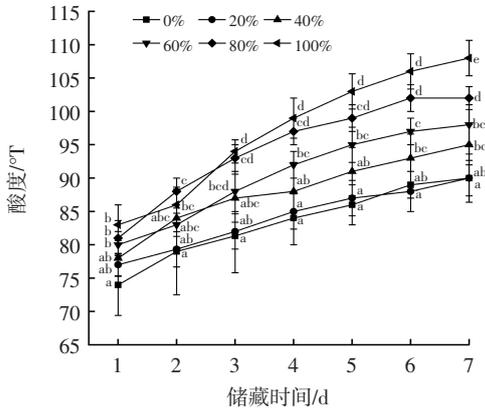
酸奶的品质以及营养功能与原料乳中各成分含量有着密切的关系^[13]。有研究发现,酪蛋白对酸奶凝胶结构具有较大影响,提高乳清蛋白的含量也可以增加酸奶的保水性及持水力,适当提高原料乳中的乳糖含量也有助于加快发酵^[14-16]。为了判断酸奶品质的差异是否由原料乳的成分不同引起,本研究对复原乳和生鲜乳的成分进行测定,结果见表3。

酸奶的色泽出现轻微的黄色,稍有乳清析出,并伴有轻微的磨砂感;当原料乳中复原乳的比例大于80%时,酸奶的色泽出现明显的黄色,乳清析出严重,有颗粒感,略酸。造成这种现象的原因可能是高温处理使乳粉发生了美拉德反应,影响了复原后发酵酸奶的色泽和口感^[17]。生鲜乳发酵所得酸奶的香气成分中含有较多的低碳、低沸点的成分,而复原乳发酵所得的酸奶的香气成分中高碳的成分相对较多,这可能是导致气味发生显著变化的原因^[18]。生鲜乳在经过高温加工和喷雾干燥后,乳中的蛋白质在一定程度上发生变性,进而对复原后制得的酸奶的微观结构产生影响^[19]。综上所述,利用复原乳发酵酸奶对酸奶的感官品质有一定影响,复原乳的比例越高,酸奶的感官品质越差。

2.3 不同比例的复原乳对酸奶酸度的影响

将含有不同比例复原乳的酸奶在4℃条件下储藏,在储藏期(7d)内测定酸奶的酸度,结果如图1所示。

由图1可知,所有酸奶样品的酸度均大于70°T,且随着储藏时间的延长酸度逐渐增加。这主要是由菌株在储藏期间继续产酸,发生后酸化引起^[20]。随着复原乳比例的增加,酸度逐渐增大。以生鲜乳为原料发酵所得的酸奶的酸度和以含有80%和100%复原乳的原料发酵所得的酸奶的酸度有显著差异($P<0.05$)。以生鲜乳和含有20%复原乳的原料乳发酵所得的酸奶的酸度上升幅度较小,有利于延长货架期。以含有80%和100%复原乳的原料乳发酵所得的酸奶酸度上升幅



不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图1 含有不同比例的复原乳的酸奶的酸度

Fig.1 The acidity of yoghurts containing different proportions of reconstituted milk

度较大,在第6天时酸奶样品的酸度已超过 100 °T,酸味过重,对产品的感官产生影响^[21]。综上所述,以生鲜乳为原料更利于酸奶在储藏期酸度的稳定。

2.4 不同比例的复原乳对酸奶粒径的影响

体系的粒径分布和微粒大小与酸奶的组织状态、口感、稳定性等密切相关^[22],本试验检测酸奶的微粒大小和分布,结果见图2。

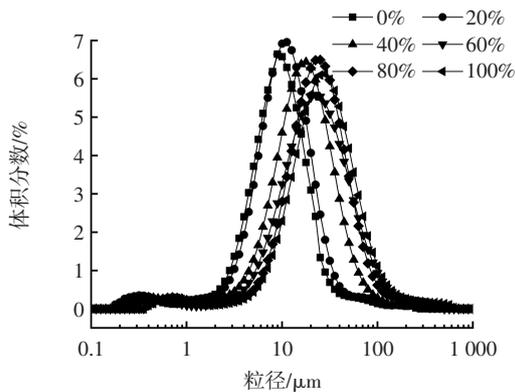


图2 含有不同比例的复原乳的酸奶的粒径分布

Fig.2 Particle size distribution of yoghurt containing different proportions of reconstituted milk

如图2所示,在所有样品中,以生鲜乳为原料的酸奶具有最小的粒径。与以生鲜乳为原料的酸奶相比,含有复原乳的酸奶的粒径分布都不同程度地向粒径增大的方向移动。这可能是由于蛋白质在高温喷雾干燥过程中发生了变性聚集,导致复原后发酵所得的酸奶的粒径增大^[23]。综上所述,使用生鲜乳发酵的酸奶粒径最小,组织状态细腻,口感最佳。

2.5 不同比例的复原乳对酸奶质构的影响

酸奶的质构特性与酸奶的物理特性密切相关,可

以反映酸奶的品质。不同比例的复原乳对酸奶质构的影响见表5。

表5 不同比例的复原乳对酸奶质构的影响

Table 5 Effects of different proportions of reconstituted milk on the texture of yogurt

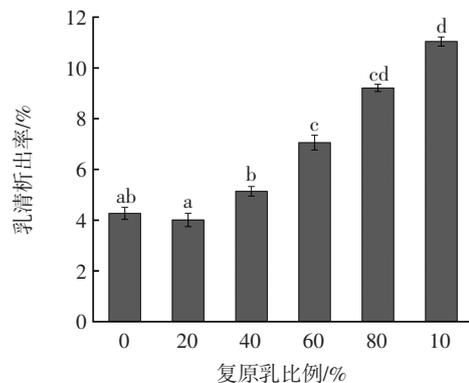
复原乳比例/%	硬度/g	黏着性/(g·s)	弹性/%	内聚性/(g·s)
0	154.8±2.7 ^a	430.5±8.6 ^d	0.922±0.014 ^a	0.367±0.012 ^a
20	162.7±3.1 ^b	393.8±6.3 ^c	0.986±0.003 ^c	0.382±0.009 ^a
40	174.1±2.0 ^c	345.7±9.1 ^b	0.957±0.012 ^{bc}	0.366±0.005 ^a
60	173.7±3.9 ^c	346.1±7.4 ^b	0.898±0.008 ^a	0.361±0.013 ^a
80	179.1±3.3 ^d	335.1±7.7 ^a	0.973±0.009 ^c	0.379±0.007 ^a
100	180.5±2.8 ^e	334.9±10.2 ^a	0.925±0.017 ^{ab}	0.376±0.008 ^a

注:同列肩标不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

如表5所示,不同比例的复原乳对酸奶质构的影响,主要体现在黏着性和硬度两个方面,不同比例的复原乳对酸奶的内聚性没有显著影响。随着复原乳比例的增加,酸奶的硬度逐渐增大,这与 Cruz 等^[24]的研究结果一致。黏着性的变化与硬度的变化恰好相反,与以生鲜乳为原料发酵所得的酸奶相比,含有复原乳的酸奶的黏着性显著下降($P < 0.05$)。硬度与黏着性在一定程度上反映了样品的凝乳性能,即随着原料乳中复原乳的比例的降低,发酵所得酸奶的硬度变小和黏着性变大,凝乳效果变好。

2.6 不同比例的复原乳对酸奶乳清析出率的影响

酸奶在贮藏过程中会有乳清析出,当乳清析出量过高时,酸奶的感官品质将被严重破坏。不同比例的复原乳对酸奶乳清析出率的影响见图3。



不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图3 不同比例的复原乳对酸奶乳清析出率的影响

Fig.3 Effects of different proportions of reconstituted milk on the whey separation of yogurt

如图3所示,随着复原乳比例的增加,酸奶乳清析出率逐渐增大。当复原乳比例增加至60%时,发酵所

得的酸奶乳清析出率显著高于由生鲜乳发酵所得的酸奶($P<0.05$),这种现象可能是乳粉在复原之前经过高温处理所导致的^[25]。与生鲜乳相比,经过高温处理的复原乳中的蛋白质粒径较大,相对表面积较小,不利于与均质后形成的小脂肪球结合,进而导致结合物在酸乳中分布不均匀,使得酸奶在凝乳过程中不易形成均匀致密的蛋白网络骨架,内部持水能力下降。

2.7 不同比例的复原乳对酸奶糠氨酸含量的影响

糠氨酸是蛋白质在高温条件下与乳糖发生美拉德反应所形成的产物,糠氨酸含量可以反映赖氨酸的损失程度^[26]。本研究测定不同比例复原乳的原料乳发酵所得的酸奶中的糠氨酸含量,结果如图4~图6所示。

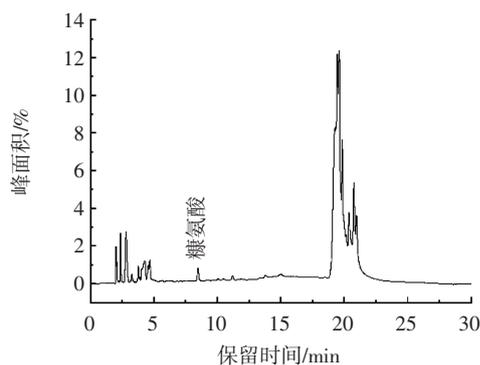


图4 由生鲜乳发酵的酸奶的色谱图

Fig.4 Chromatography of yogurt fermented from fresh milk

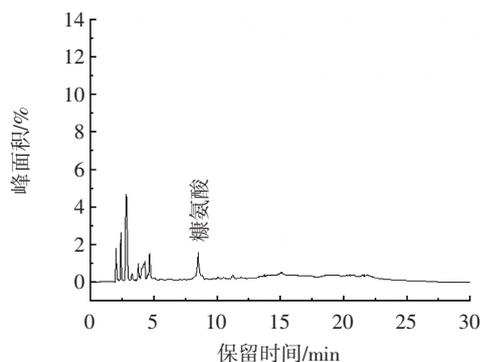


图5 由100%复原乳发酵的酸奶的色谱图

Fig.5 Chromatography of yoghurt fermented from 100% reconstituted milk

由图4和图5可知,糠氨酸的出峰时间在7.4 min~7.5 min,且能够与干扰峰完全分离。如图6所示,随着复原乳比例的增加,酸奶中的糠氨酸含量近似呈线性增加($R^2=0.997$),由14.5 mg/100 g蛋白质(0%复原乳)增加至168.1 mg/100 g(100%复原乳),这与乔煦玮等^[27]的研究结果一致。糠氨酸含量的不同可能是由于复原乳的原料(乳粉)经历过高温处理^[28],而高温条件有利于美拉德反应的发生,进而在弱酸性条件下产生乳糖基赖氨酸,水解成糠氨酸,影响酸奶的品质。

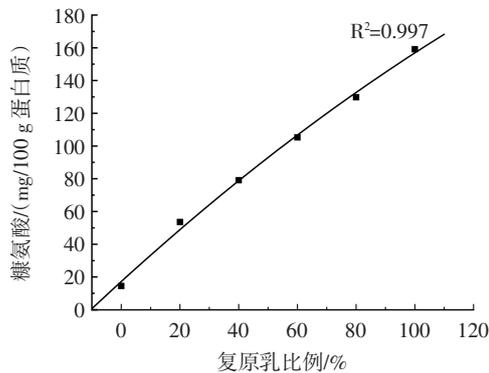


图6 不同比例的复原乳对酸奶中糠氨酸含量的影响

Fig.6 Effects of different proportions of reconstituted milk on the furosine content of yogurt

3 结论

本试验研究了不同比例(0%、20%、40%、60%、80%和100%)复原乳对酸奶品质的影响。结果显示,与以生鲜乳为原料相比,随着原料中复原乳比例的增加,发酵所得酸奶的品质呈下降趋势。含有80%和100%复原乳的酸奶的酸度显著高于生鲜乳发酵所得酸奶($P<0.05$),且在储藏6 d后酸度超过100 °T。含有复原乳的酸奶比以生鲜乳为原料发酵所得的酸奶具有较高的硬度,较低的黏着性,且体系中的颗粒具有更大的粒径。当原料中复原乳中比例较高($\geq 60%$)时,发酵所得的酸奶乳清析出严重。酸奶中的糠氨酸含量与原料中复原乳的比例且正相关。因此,发酵酸奶的原料中可以少量添加复原乳,但大量添加复原乳会导致酸奶品质降低,糠氨酸含量升高。

参考文献:

- [1] LIU H, LIU W, HAN D H, et al. Detection of the presence of reconstituted milk in raw milk and in pasteurized milk using synchronous fluorescence spectroscopy[J]. Food Analytical Methods, 2017, 10(6): 2078-2084.
- [2] CUI J, ZHU D, SU M C, et al. Lipidomics strategy for the identification of ultra-high temperature and reconstituted milk by UPLC-Q-exactive orbitrap mass spectrometry[J]. Food Analytical Methods, 2021, 14(5): 1064-1073.
- [3] ESCUDER-VIECO D, RODRÍGUEZ J M, ESPINOSA-MARTOS I, et al. High-temperature short-time and holder pasteurization of donor milk: Impact on milk composition[J]. Life (Basel, Switzerland), 2021, 11(2): 114.
- [4] AJMAL M, NADEEM M, IMRAN M, et al. Changes in fatty acids composition, antioxidant potential and induction period of UHT-treated tea whitener, milk and dairy drink[J]. Lipids in Health and Disease, 2019, 18(1): 213.

- [5] VILOTTE A, BODIGUEL H, AKO K, et al. Kinetic and structural characterization of whey protein aggregation in a millifluidic continuous process[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 110: 106137.
- [6] LI Y, QUAN W, JIA X D, et al. Profiles of initial, intermediate, and advanced stages of harmful Maillard reaction products in whole-milk powders pre-treated with different heat loads during 18 months of storage[J]. *Food Chemistry*, 2021, 351: 129361.
- [7] TUOHY K M, HINTON D J S, DAVIES S J, et al. Metabolism of Maillard reaction products by the human gut microbiota—implications for health[J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2006, 50(9): 847–857.
- [8] ALJAHDALI N, CARBONERO F. Impact of Maillard reaction products on nutrition and health: Current knowledge and need to understand their fate in the human digestive system[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2019, 59(3): 474–487.
- [9] CLARE D A, BANG W S, CARTWRIGHT G, et al. Comparison of sensory, microbiological, and biochemical parameters of microwave versus indirect UHT fluid skim milk during storage[J]. *Journal of Dairy Science*, 2005, 88(12): 4172–4182.
- [10] SHI J, LI D, ZHAO X H. Quality attributes of the set-style skimmed yoghurt containing enzymatic cross-linked or thermal polymerized whey protein isolate[J]. *CyTA—Journal of Food*, 2017, 15(1): 34–40.
- [11] LEVY R, OKUN Z, DAVIDOVICH-PINHAS M, et al. Utilization of high-pressure homogenization of potato protein isolate for the production of dairy-free yogurt-like fermented product[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 113: 106442.
- [12] KÖRZENDÖRFER A, TEMME P, LODERMEYER A, et al. Vibrations as a cause of texture defects during the acid-induced coagulation of milk—fluid dynamic effects and their impact on physical properties of stirred yogurt[J]. *Journal of Food Engineering*, 2021, 292: 110254.
- [13] 田鑫, 夏永军, 艾连中, 等. 复原乳中营养成分比例对酸奶品质的影响[J]. *工业微生物*, 2020, 50(6): 1–6.
TIAN Xin, XIA Yongjun, AI Lianzhong, et al. Effects of different ratio ingredients in reconstituted milk on yogurt quality[J]. *Industrial Microbiology*, 2020, 50(6): 1–6.
- [14] IBARRA A, ACHA R, CALLEJA M T, et al. Optimization and shelf life of a low-lactose yogurt with *Lactobacillus rhamnosus* HN001[J]. *Journal of Dairy Science*, 2012, 95(7): 3536–3548.
- [15] 徐红华, 李荣华. 酪蛋白与乳清蛋白比例对酸奶凝胶性质的影响[J]. *中国乳品工业*, 2011, 39(6): 22–25.
XU Honghua, LI Ronghua. Impact of different casein to whey protein ratios on yogurt gel properties[J]. *China Dairy Industry*, 2011, 39(6): 22–25.
- [16] MODLER H W, LARMOND M E, LIN C S, et al. Physical and sensory properties of yogurt stabilized with milk proteins[J]. *Journal of Dairy Science*, 1983, 66(3): 422–429.
- [17] SHIMAMURA T, KUROGI Y, KATSUNO S, et al. Demonstration of the presence of aminoreductone formed during the Maillard reaction in milk[J]. *Food Chemistry*, 2011, 129(3): 1088–1092.
- [18] 袁荣娟. 酸奶香气分析与香精调配[C]. 上海: 第十一届中国香料香精学术研讨会论文集, 2016.
YUAN Rongjuan. Analysis and preparation of yoghurt aroma [C]. Shanghai: Proceedings of the 11th China symposium on flavor and fragrance, 2016.
- [19] SMO CZY ŃSKI M, BARANOWSKA M. A fractal approach to microstructural changes during the storage of yoghurts prepared with starter cultures producing exopolysaccharides[J]. *Journal of Texture Studies*, 2014, 45(2): 121–129.
- [20] 杨慧, 步雨珊, 刘奥, 等. 产细菌素植物乳杆菌 Q7 对酸奶后酸化及品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(3): 30–35.
YANG Hui, BU Yushan, LIU Ao, et al. The effect of bacteriocin-producing *Lactobacillus plantarum* Q7 on post-acidification and quality of yogurt[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(3): 30–35.
- [21] 成少宁, 王芬, 乔冬, 等. 抑制酸奶后发酵桑叶活性成分筛选及桑叶黄酮酸奶工艺[J]. *中国乳品工业*, 2020, 48(10): 60–64.
CHENG Shaoning, WANG Fen, QIAO Dong, et al. Screening of active ingredients for inhibiting post-fermentation of mulberry leaves yoghurt and processing technology of mulberry leaf flavone yoghurt[J]. *China Dairy Industry*, 2020, 48(10): 60–64.
- [22] 胡嘉杰, 李洪亮, 李树森, 等. 稳定剂对酸奶感官及匀质指数影响的研究[J]. *中国食品添加剂*, 2019, 30(1): 135–141.
HU Jiajie, LI Hongliang, LI Shusen, et al. Effect of stabilizer on sensory and homogenization of yoghurt[J]. *China Food Additives*, 2019, 30(1): 135–141.
- [23] 郑志雄. 大豆分离蛋白喷雾干燥过程中的热变性及其抑制机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011: 4–7.
ZHENG Zhixiong. Studies on the heat-induced denaturation of soy protein and its suppressing mechanism in spray drying[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011: 4–7.
- [24] CRUZ A G, CADENA R S, ALVARO M B V B, et al. Assessing the use of different chemometric techniques to discriminate low-fat and full-fat yogurts[J]. *LWT—Food Science and Technology*, 2013, 50(1): 210–214.
- [25] 庚平, 李君, 朱丹实, 等. 菠萝蛋白酶凝乳对豆乳凝胶力学性质、持水能力及微观结构的影响[J]. *中国食品学报*, 2016, 16(8): 30–37.
GENG Ping, LI Jun, ZHU Danshi, et al. The effect of bromelain on the mechanical property, water holding capacity and microstructure of soymilk gel[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2016, 16(8): 30–37.
- [26] 贾晓迪. 全脂液态乳及乳粉中美拉德反应有害产物生成影响因素研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019: 2–8.
JIA Xiaodi. Studies on the factors affecting the formation of Maillard reaction harmful products in whole milk and milk powder[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019: 2–8.
- [27] 乔煦玮, 王振华, 曾里, 等. 温度与复原度对巴氏杀菌乳中糠氨酸含量影响的研究[J]. *食品工业*, 2011, 32(3): 17–19.
QIAO Xuwei, WANG Zhenhua, ZENG Li, et al. Study on effects of temperature and recovered degree to furosine content in pasteurized milk[J]. *The Food Industry*, 2011, 32(3): 17–19.
- [28] 白祥, 胡赠彬, 谭建林, 等. 液相色谱法测定核桃乳中糠氨酸含量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(13): 4258–4261.
BAI Xiang, HU Zengbin, TAN Jianlin, et al. Determination of furosine content in walnut milk by liquid chromatography[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(13): 4258–4261.