

豌豆肽对凝固型酸奶品质的影响

The effects of pea peptides on the quality of set yogurt

陈杨玲^{1,2} 莫浩然² 焦叶² 崔波¹

CHEN Yangling^{1,2} MO Haoran² JIAO Ye² CUI Bo¹

方勇³ 陈秀文² 杨进洁⁴ 程云辉^{1,2}

FANG Yong³ CHEN Xiurwen² YANG Jinjie⁴ CHENG Yunhui^{1,2}

(1. 齐鲁工业大学[山东省科学院]食品科学与工程学院, 山东 济南 250353;

2. 长沙理工大学食品与生物工程学院, 湖南 长沙 410114; 3. 南京财经大学

食品科学与工程学院, 江苏 南京 210023; 4. 烟台双塔食品股份有限公司, 山东 烟台 265404)

(1. School of Food Science and Engineering, Qilu University of Technology [Shandong Academy of Sciences], Jinan, Shandong 250353, China; 2. School of Food Science and Bioengineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha, Hunan 410114, China; 3. College of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance and Economics/Collaborative Innovation Center for Modern Grain Circulation and Safety, Nanjing, Jiangsu 210023, China; 4. Yantai Shuangta Food Co., Ltd., Yantai, Shandong 265404, China)

摘要:目的:减少酸奶凝固时间,改善酸奶质构。方法:以全脂乳粉为主要原料,通过添加不同量(0, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50%)豌豆肽,制备豌豆肽酸奶,并测定酸奶的凝固时间、滴定酸度及质构特性。结果:酸奶的凝固时间在豌豆肽添加量 \leq 1.25%时显著减少,当豌豆肽添加量为1%时效果最明显,凝固时间可缩短32 min。酸奶酸度在豌豆肽添加量为0.5%~1.5%时显著提高。当豌豆肽添加量 \leq 1%时,酸奶的弹性和咀嚼度显著下降,内聚性、胶着度、回复性显著上升,硬度无显著变化,酸奶的质构得到改善。结论:在酸奶发酵基质中添加适量豌豆肽可显著缩短酸奶发酵周期,改善产品品质。**关键词:**豌豆肽;凝固型酸奶;凝固时间;滴定酸度;质构特性

Abstract: Objective: This study aimed to reduce the setting time of yogurt, improve the texture of yogurt and evaluate the effect of pea peptides on the quality of coagulated yogurt. Methods: Different amounts(0, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50%) of pea peptides were added into milk powder to prepare pea peptide yogurt, and then the setting time, titer acidity, and texture properties of the yogurt were investigated. Results: The

results showed that when the amount of pea peptides added was less than or equal to 1.25%, the yogurt setting time could be significantly shortened. When the amount of pea peptide added was 1%, the effect was significant by shortening the coagulation time for 32 min. The addition of pea peptides significantly increased the acidity of yogurt. When the addition amount of pea peptides was less than 1%, the springiness and chewiness of the yogurt were significantly reduced, and the gumminess, cohesiveness, and resilience were significantly increased, which improved the textural properties of the yogurt. Conclusion: The addition of pea peptides to the yogurt fermentation substrate can shorten the fermentation period and enhance the quality of the final product.

Keywords: pea peptides; set yogurt; set time; titration acidity; textural properties

酸奶是牛乳经乳酸菌发酵制成的一种奶制品,富含益生菌、蛋白质、氨基酸、维生素和钙等,具有较高的营养价值^[1]。酸奶中的蛋白质在发酵过程中部分被降解为小分子多肽和氨基酸,比牛乳更有利于人体的消化和吸收^[2]。酸奶发酵所产生的乳酸和胞外多糖等,除了可以使酸奶拥有独特的风味和口感,还具有降血糖^[3]、预防肥胖^[4]和降血压^[5]等多种功能。酸奶发酵受乳酸菌数量及产酸速率的影响,产酸速率过慢,酸奶发酵周期长,产品酸味不足;产酸速率过快,虽然酸奶发酵周期短,但酸奶的结构粗

基金项目:泰山产业领军人才项目(编号:LJNY202004)

作者简介:陈杨玲,女,硕士。

通信作者:程云辉(1964—),女,长沙理工大学教授,博士。

E-mail: cyh@csust.edu.cn

收稿日期:2023-06-17 改回日期:2023-10-08

糙^[6]。因此,加快乳酸菌快速增殖、缩短酸奶发酵周期,同时改善产品品质,对酸奶的工业生产具有重要意义。

在酸奶制作过程中添加蛋白质或肽,作为一种缩短酸奶发酵时间、改善酸奶品质的手段,近年来备受关注。赵强忠等^[7]在酸奶中添加不同酶解时长的大豆分离蛋白酶解产物能促进酸奶发酵。廖兰等^[8]将小麦蛋白肽应用到酸奶中,使酸奶发酵周期缩短了1 h,同时明显改善了酸奶的感官及质构特性,硬度、内聚性和胶着性下降。任静等^[9]研究发现,添加1%~5%蛋清肽可缩短酸奶发酵周期,而且酸奶的硬度和胶黏性呈先上升后下降的趋势。

豌豆肽具有良好的凝胶性和乳化等功能特性,同时还具有较好的抗氧化性^[10]、抗菌作用^[11]和抗肿瘤活性^[12]等。有研究^[13]表明,在酸奶中加入豌豆蛋白酶解产物,可显著促进益生菌的生长,提高益生菌的存活率。因此,研究拟将豌豆肽添加到酸奶发酵基质中,考察豌豆肽对酸奶发酵特性和酸奶质构特性的影响,以为豌豆肽在发酵乳制品生产中的应用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

豌豆肽:烟台双塔食品股份有限公司;
全脂乳粉:双城雀巢有限公司;
酸奶发酵剂:昆山佰生优生物科技有限公司。

1.2 试验设备

手提式蒸汽灭菌锅: DY04-13-44-00 型,上海博讯实业有限公司;
高剪切乳化均质机: SHP-60-80 型,无锡意凯自动化技术有限公司;
物性测定仪: TA.XT.Plus 型,英国 Stable Micro System 公司;
生化培养箱: LRH-250 型,上海一恒科学仪器有限公司;
恒温水浴锅: DZKW-S 型,金坛市金城国胜实验仪器厂。

1.3 酸奶制备流程

(1) 酸奶配方: 全脂乳粉 14%, 糖 8%, 豌豆肽 0, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50%。

(2) 工艺流程:

全脂乳粉+糖→加入不同量的豌豆肽→均质(15 MPa)→杀菌(85 °C, 15 min)→冷却(42 °C)→接种→发酵(42 °C)→后熟(4 °C)→成品

1.4 滴定酸度测定

采用吉尔涅尔度表示滴定酸度。取 10 mL 样品于 150 mL 三角瓶中,加入 20 mL 蒸馏水和 0.5 mL 0.5% 酚酞,摇匀,用 0.1 mol/L 氢氧化钠溶液滴定至微红色,并在 1 min 内不消失为滴定终点,按式(1)计算吉尔涅尔度。

$$X = A \times F \times 10, \quad (1)$$

式中:

X——吉尔涅尔度, °T;

A——滴定时消耗的 0.1 mol/L 氢氧化钠体积, mL;

F——0.1 mol/L (近似值) 氢氧化钠的校正系数;

10——样品体积, mL。

1.5 质构特性测定

基于质地多面分析法(TPA)模式,在室温下利用质构仪测定酸奶样品的质构特性,包括硬度、弹性、内聚性、胶着度、咀嚼度和回复性。参数设置:TA4/1000 探头,预测速度 3.0 mm/s,测前、后速度 1.0 mm/s,穿透测试深度 30.0 mm,感应力 0.03 N。

1.6 感官分析

根据 GB/T 17321—2012,初级评价员共 32 名,采用平衡参比技术进行感官分析。不同豌豆肽添加量的酸奶样品共 6 种,每组选取 2 种不同的样品进行评价,需进行 15 组检验。评价员评价过程中,最左边的样品为参照样品,从左至右依次品尝;评价员确定哪一个带有编号的样品与参照样品相同,将认为相同的记下;如果评价员认为带有编号的样品非常相似,也必须选一个。

1.7 数据分析

所有试验均重复 3 次,结果以平均值±标准差表示,采用 Statistix 9 软件进行单因素方差分析,用 LSD 法进行多重比较($P < 0.05$),使用 OriginPro 2019b 软件制图。

2 结果与分析

2.1 对酸奶凝固时间的影响

由图 1 可知,随着豌豆肽添加量的增加,酸奶的凝固时间呈先减少再增加趋势。当豌豆肽添加量为 0.50%~1.25% 时,酸奶的凝固时间显著低于未添加豌豆肽的对照组。当豌豆肽添加量为 1% 时,酸奶的凝固时间最短,为

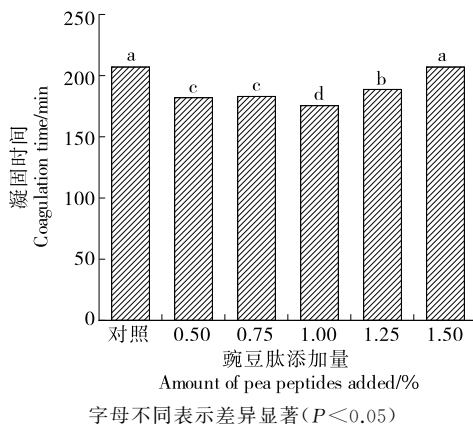


图 1 豌豆肽添加量对酸奶凝固时间的影响

Figure 1 The effect of pea peptides on the coagulation time of yogurt

175 min,比对照组减少了 32 min。适量添加豌豆肽对酸奶的发酵具有明显的促进作用,能够缩短发酵周期,可能是因为添加适量豌豆肽后,酸奶的发酵基质中乳酸菌生长所需要的氮源含量提高^[9],促进乳酸菌的生长。而继续添加豌豆肽,凝固时间变长,可能是由于肽含量过多,降低了蛋白质碰撞交联的几率,导致酸奶凝胶结构的形成延缓^[14]。

2.2 对酸奶滴定酸度的影响

酸奶滴定酸度由固有酸度以及发酵酸度组成,发酵酸度是由微生物分解乳糖为乳酸形成。酸度的提高主要是因为可溶性乳酸含量增加。由图 2 可知,随着发酵时间的延长,酸奶的酸度逐渐提高,说明酸奶的发酵酸度也在随发酵的进行逐渐提高。相同的发酵时间下,酸奶的酸度随豌豆肽添加量的增加呈增加趋势。这可能是因为豌豆肽的添加使得酸奶中适合乳酸菌发酵的氮源增加,有利于酸奶发酵,促进了乳酸菌产生更多的乳酸^[15-16]。

2.3 对酸奶质构特性的影响

质构特性是对酸奶品质的一种客观评价,不止表现在口感方面,还与产品质量稳定性有密切的联系^[17]。由图 3 可知,当豌豆肽添加量为 1.25% 时,酸奶的硬度略低于未添加豌豆肽的对照组,其他添加量的豌豆肽对酸奶的硬度无显著影响。硬度是第一次压缩酸奶样品的最大力。一般来说,硬度越大,持水能力越强,酸奶凝胶越致

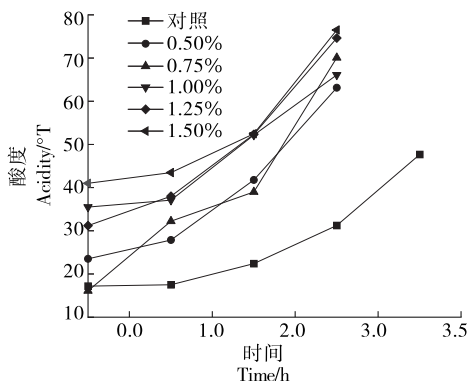
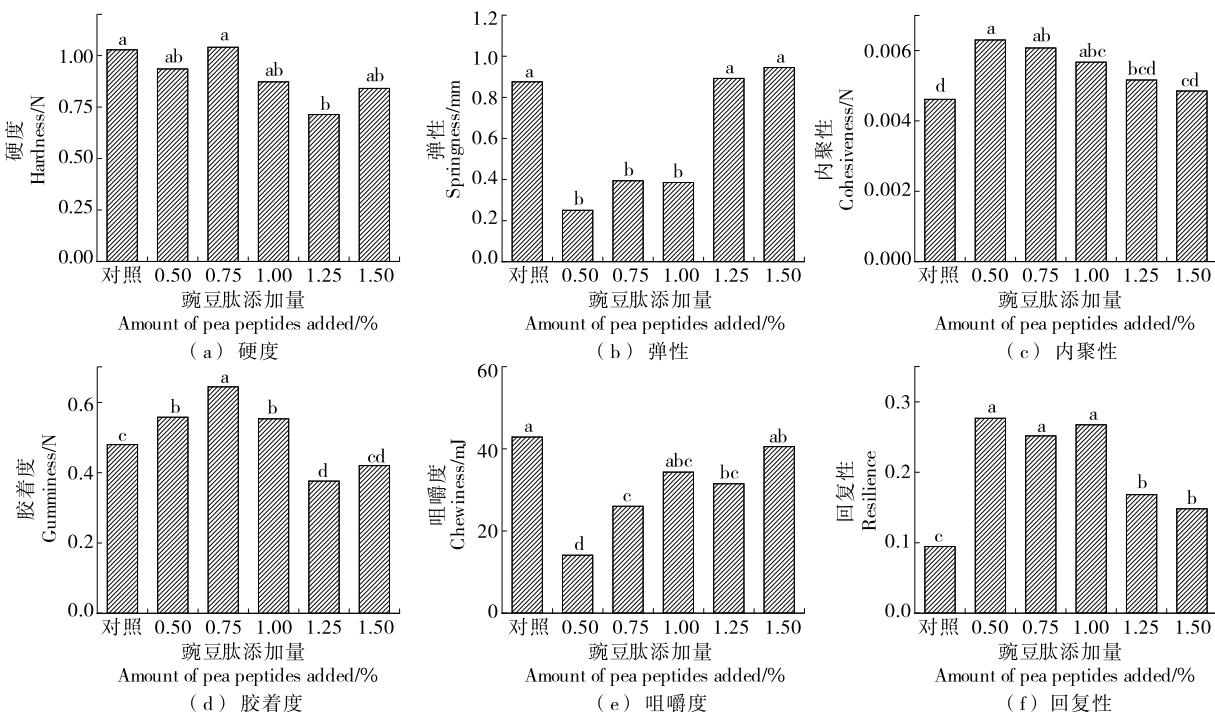


图 2 豌豆肽添加量对滴定酸度的影响

Figure 2 The effects of pea peptides on the yogurt titration acidity

密^[18]。任静等^[9]研究发现,在酸奶中添加蛋清肽也出现了硬度降低的现象,可能是由于肽的添加影响了酸奶凝胶网络的形成。弹性是酸奶经过第一次压缩后能回复的程度^[19]。当豌豆肽添加量为 0.50%,0.75%,1.00% 时,酸奶的弹性均低于对照组;随着豌豆肽添加量的增加,弹性逐渐上升,当添加量为 1.25%,1.50% 时,酸奶的弹性与对照组相比无显著差异。Gheshlaghi 等^[20]在酸奶中添加鲟鱼明胶水解物,获得酸奶的弹性也略高于对照组,这与添加物的性质密切相关。

添加豌豆肽后,酸奶的内聚性高于对照组,但随着添



字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 3 豌豆肽添加量对酸奶质构的影响

Figure 3 The effects of pea peptides on the texture of yogurt

加量的增加,内聚性呈下降趋势。内聚性可以反映破坏酸奶内部作用力的困难程度^[21]。内聚性的提高可能是因为豌豆肽与酪蛋白相互作用,形成可溶性蛋白复合物^[22]。但当酸奶中固形物达到一定量时,可能是由于 κ -酪蛋白形成的毛发层被破坏,酪蛋白胶束的形成受到阻碍,从而使内聚性降低。胶着度是内聚性和硬度的乘积,可以模拟酸奶破裂吞咽时所需的力^[23]。随着豌豆肽添加量的增加,胶着度呈先上升后下降趋势,并在添加量为0.75%时达到最高值。

廖兰等^[8]在酸奶中添加小麦面筋蛋白肽,酸奶的胶着度也随添加量的增加呈先上升再下降趋势。适量的豌豆肽可以增加酸奶的胶着度,但过量的豌豆肽干扰了酸奶凝胶结构的形成,使胶着度下降。咀嚼度是胶着度与弹性的乘积,表示将固体食物咀嚼到可以吞咽的状态所需要的能量。当豌豆肽添加量为0.50%,0.75%时,酸奶的咀嚼度显著低于对照组;随着添加量的增加,咀嚼度有所回升。这可能是因为豌豆肽的添加影响酸奶的网状结构形成,但添加到一定量后,酸奶中的固形物含量增加,使咀嚼度逐渐回升。董世荣等^[24]在酸奶中添加胶原蛋白肽后,其咀嚼度也表现为下降。

添加豌豆肽后,酸奶的回复性显著升高,当添加量为0.50%~1.00%时,酸奶的回复性为对照组的2.66~2.92倍;当添加量为1.25%,1.5%,回复性为对照组的1.56,1.78倍。回复性是酸奶在受到压力后回复的程度,豌豆肽的存在可能增强了酪蛋白分子的结合能力,形成的网状结构致密,从而增强了酸奶的回复性,改善了酸奶的质构特性^[25-26]。但是,随着豌豆肽添加量的增加,固形物含量增加,阻碍了酸奶网状结构的形成,导致回复性下降。

从酸奶的质构结果来看,较低的豌豆肽添加量(0.50%,0.75%,1.00%)使酸奶的弹性和咀嚼度显著下降,胶着度、内聚性、回复性显著上升,表明适当添加豌豆肽可以增强其与酪蛋白的相互作用,稳定酸奶的凝胶结构,改善酸奶的质构特性。

2.4 对酸奶感官特性的影响

由表1可知,当豌豆肽添加量<0.75%时,不同酸奶样品之间不存在显著差异;豌豆肽添加量为1.00%和1.25%的酸奶样品之间不存在显著性差异;豌豆肽添加量为1.25%和1.50%的酸奶样品之间也不存在显著性差异。当豌豆肽添加量为1.25%~1.50%时,酸奶样品的感官特性与低豌豆肽添加量(0~0.75%)的酸奶样品存在差异,说明较低的豌豆肽添加量对酸奶的感官特性影响不大。

3 结论

通过对酸奶凝固时间、滴定酸度、质构特性和感官特性的分析,探究了豌豆肽添加量对酸奶品质的影响。结

表1 二-三点检验获得的正确答案数及统计分析结果[†]

Table 1 The number of correct answers and the results of statistical analysis obtained by two-three-point method

组别	未添加	0.50%	0.75%	1.00%	1.25%	1.50%
未添加						
0.50%	12					
0.75%	16	17				
1.00%	18	19*	19*			
1.25%	25***	24***	22**	18		
1.50%	27****	25***	24***	26****	17	

[†] *表示在20%显著水平两样品间有显著性差异; **表示在5%显著水平两样品间有显著性差异; ***表示在1%显著水平两样品间有显著性差异; ****表示在0.1%显著水平两样品间有显著性差异。

果表明,当豌豆肽添加量为1%时,豌豆肽促进酸奶发酵的效果最佳,与未添加组相比,酸奶发酵周期缩短了32 min。当豌豆肽添加量为0.50%~1.00%时,酸奶的弹性和咀嚼度显著下降,胶着度、内聚性、回复性显著上升,酸奶的品质得到了改善。当添加量较低(0.50%~0.75%)时,豌豆肽对酸奶的感官特性影响不大。研究结果证实,在酸奶发酵基质中添加适量豌豆肽可显著缩短酸奶发酵周期,改善产品品质,后续可针对酸奶的货架期和营养特性进行深入研究。

参考文献

- [1] 马学兰,周连玉,巨家升,等.食用菌发酵液对酸奶理化性质和营养成分的影响[J].食品与机械,2023,39(1):186-194.
MA X L, ZHOU L Y, JU J S, et al. Effects of edible fungi fermentation broths on the physicochemical properties and nutritional components of yogurt[J]. Food & Machinery, 2023, 39(1): 186-194.
- [2] TAMIME A Y, DEETH H C. Yogurt: Technology and biochemistry I[J]. Journal of Food Protection, 1980, 43(12): 939-977.
- [3] YADAV H, JAIN S, SINHA P R. Antidiabetic effect of probiotic dahi containing *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei* in high fructose fed rats[J]. Nutrition, 2007, 23(1): 62-68.
- [4] SHI M, MATHAI L M, XU G, et al. The effects of supplementation with blueberry, cyanidin-3-O- β -glucoside, yoghurt and its peptides on obesity and related comorbidities in a diet-induced obese mouse model[J]. Journal of Functional Foods, 2019, 56: 92-101.
- [5] WADE A T, GUENTHER B A, AHMED F S, et al. Higher yogurt intake is associated with lower blood pressure in hypertensive individuals: Cross-sectional findings from the Maine-Syracuse Longitudinal study [J]. International Dairy Journal, 2021, 122: 105159.
- [6] BULLARD J, ST-GELAIS D, TURGRON L S, et al. Production of

- set yoghurts using thermophilic starters composed of two strains with different growth biocompatibilities and producing different exopolysaccharides[J]. *International Dairy Journal*, 2018, 79: 33-42.
- [7] 赵强忠, 黄丽华, 陈碧芬, 等. 大豆分离蛋白酶解产物对自制酸奶品质的影响[J]. *华南理工大学学报(自然科学版)*, 2019, 47(3): 91-98.
- ZHAO Q Z, HUANG L H, CHEN B F, et al. Influences of soybean protein isolate hydrolysate on the quality of laboratory prepared yoghurt[J]. *Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition)*, 2019, 47(3): 91-98.
- [8] 廖兰, 谢赠林, 倪莉. 小麦面筋蛋白肽促酸奶发酵特性的研究[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(8): 126-131.
- LIAO L, XIE Z L, NI L. Studies on fermentation characteristic of yogurt using wheat gluten peptides[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(8): 126-131.
- [9] 任静, 孙波, 管华, 等. 蛋清肽对酸奶发酵特性及酸奶品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 38(12): 166-168.
- REN J, SUN B, GUAN H, et al. Effect of egg white peptide on fermentation and quality of yoghurt[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2012, 38(12): 166-168.
- [10] DING J, LIANG R, YANG Y, et al. Optimization of pea protein hydrolysate preparation and purification of antioxidant peptides based on an in silico analytical approach [J]. *LWT*, 2020, 123: 109126.
- [11] 张秋萍. 豌豆分离蛋白酶解产生物活性肽的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 24-28.
- ZHANG Q P. Study of pea isolate proteolysis product active peptides[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013: 24-28.
- [12] 潘芬. 豌豆抗肿瘤活性肽的分离纯化及结构鉴定[D]. 天津: 天津科技大学, 2018: 18-21.
- PAN F. Purification and structural identification of pea antitumor peptides [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2018: 18-21.
- [13] 潘芬, 杨敏, 刘梦阳, 等. 豌豆蛋白酶解产物促进益生菌生长活性研究[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(2): 32-41.
- PAN F, YANG M, LIU M Y, et al. Growth-stimulating effects of pea protein hydrolysates on probiotics [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(2): 32-41.
- [14] GAO D, TAN F C, PENG W, et al. Resolution enhancement in hydrophobic interaction chromatography via electrostatic interactions[J]. *Chinese Chemical Letters*, 2013, 24(5): 419-421.
- [15] CELIK O F, CON A H, SAYGIN H, et al. Isolation and identification of lactobacilli from traditional yogurts as potential starter cultures[J]. *LWT*, 2021, 148: 111774.
- [16] 蒋姗姗. 乳清浓缩蛋白的热聚合改性及其在凝固型酸奶中应用的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017: 9-10.
- JIANG S S. Thermal polymerization modification of whey protein concentrate and its application in the set yogurt [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2017: 9-10.
- [17] 贺丽霞, 王敏, 黄忠民. 质构仪在我国食品品质评价中的应用综述[J]. *食品工业科技*, 2011, 32(9): 446-449.
- HE L X, WANG M, HUANG Z M. The application of texture analyzer on food quality evaluation in China [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2011, 32(9): 446-449.
- [18] 周艳平, 张彩猛, 孔祥珍, 等. 酸奶发酵剂对大豆酸奶品质的影响[J]. *大豆科学*, 2018, 37(1): 155-162.
- ZHOU Y P, ZHANG C M, KONG X Z, et al. Effect of yogurt starter culture on the quality of soybean yogurt [J]. *Soybean Science*, 2018, 37(1): 155-162.
- [19] 姜松, 王海鸥. TPA 质构分析及测试条件对苹果 TPA 质构分析的影响[J]. *食品科学*, 2004, 25(12): 68-71.
- JIANG S, WANG H O. TPA and effect of experimental conditions on tpa test of apple slices[J]. *Food Science*, 2004, 25(12): 68-71.
- [20] GHESLAGHI S P, KHALEDABAD M A, NIKOO M, et al. Impact of sturgeon gelatin hydrolysates (SGH) on physicochemical and microbiological properties of fat-free set-type yogurt[J]. *LWT*, 2021, 148: 111665.
- [21] 赵红玲, 李全阳, 赵正涛, 等. 搅拌型酸奶流变学特性的研究[J]. *乳业科学与技术*, 2009, 32(4): 159-163.
- ZHAO H L, LI Q Y, ZHAO Z T, et al. Preliminary study on the rheological properties of stirred yogurt [J]. *Journal of Dairy Science and Technology*, 2009, 32(4): 159-163.
- [22] TORRES I C, AMIGO J M, KNUDSEN J C, et al. Rheology and microstructure of low-fat yoghurt produced with whey protein microparticles as fat replacer[J]. *International Dairy Journal*, 2018, 81: 62-71.
- [23] 陈玮, 常忠义, 高红亮, 等. 不同发酵剂生产的酸奶感官评定和 TPA 质构分析[J]. *中国酿造*, 2012, 31(1): 193-195.
- CHEN W, CHANG Z Y, GAO H L, et al. Sensory evaluation and texture profile analysis of yogurt produced by different starter[J]. *China Brewing*, 2012, 31(1): 193-195.
- [24] 董世荣, 李欣, 张晨, 等. 发酵条件对胶原蛋白肽酸奶质构特性的影响[J]. *中国乳品工业*, 2019, 47(12): 14-18, 24.
- DONG S R, LI X, ZHANG C, et al. Effect of fermentation conditions on texture properties of collagen peptide yogurt [J]. *China Brewing*, 2019, 47(12): 14-18, 24.
- [25] 杨贝贝, 康会茹. 不同发酵剂对黑枣酸奶品质的影响[J]. *中国酿造*, 2021, 40(4): 138-142.
- YANG B B, KANG H R. Effect of different starters on the quality of black date yogurt[J]. *China Brewing*, 2021, 40(4): 138-142.
- [26] WANG C N, GAO F, ZHUANG T H, et al. Physicochemical, textural, sensory properties and probiotic survivability of Chinese Laosuan Nai (protein-fortified set yoghurt) using polymerised whey protein as a co-thickening agent[J]. *International Journal of Dairy Technology*, 2015, 68(2): 261-269.