

4种常用稳定剂和丝素蛋白对搅拌型酸奶黏度和保水性的影响

屠洁, 刘冠卉*, 燕薇

(江苏科技大学生物与化学工程学院, 江苏 镇江 212018)

摘 要: 为改善丝素酸奶的品质, 采用二因素三水平析因试验设计, 考察4种常用稳定剂(果胶、黄原胶、海藻酸钠、耐酸性羧甲基纤维素钠(CMC))与丝素蛋白对搅拌型酸奶黏度、保水性的影响。结果显示: 果胶、黄原胶、海藻酸钠和丝素蛋白对搅拌型酸奶的黏度均有极显著的影响($P<0.01$), 上述3种稳定剂和丝素蛋白对酸奶的黏度均有极显著的交互作用($P<0.01$); 果胶、黄原胶、耐酸性CMC和丝素蛋白对酸奶的保水性均有极显著的影响($P<0.01$), 其中黄原胶和丝素蛋白对酸奶的保水性有极显著的交互作用($P<0.01$)。获得4个优化组合, 分别为0.5%丝素蛋白和0.01%果胶, 酸奶的黏度和保水性分别为903.8mPa·s、65.5%; 1%丝素蛋白和0.03%黄原胶, 酸奶的黏度和保水性分别为1196.2mPa·s、68.0%; 1%丝素蛋白和0.03%海藻酸钠, 酸奶的黏度和保水性分别为1320.6mPa·s、68.3%; 0.5%丝素蛋白和0.05%酸性CMC, 酸奶的黏度和保水性分别为962.1mPa·s、65.0%。

关键词: 稳定剂; 丝素蛋白; 酸奶; 黏度; 保水性

Effects of Four Common Stabilizers Combined with Silk Fibroin on Viscosity and Water-Holding Capacity of Stirred Yogurt

TU Jie, LIU Guan-hui*, YAN Wei

(School of Biology and Chemical Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212018, China)

Abstract: In order to improve the quality of silk fibroin yogurt, a two-variable, three-level factorial experimental design was used to explore the effects of silk fibroin in combination with one of four common stabilizers including pectin, xanthan gum, sodium alginate, acid-resistant carboxymethyl-cellulose (CMC) on the viscosity and water-holding capacity of stirred yogurt. The results showed that combined with pectin, xanthan gum or sodium alginate, silk fibroin had a highly significant on the viscosity of stirred yogurt ($P<0.01$). Moreover, there was a highly significant interaction of silk fibroin with each of the three stabilizers ($P<0.01$). All the combinations of silk fibroin with pectin, xanthan gum or acid-resistant CMC had a highly significant effect on water-holding capacity of stirred yogurt ($P<0.01$), and a highly significant interaction between silk fibroin and xanthan gum was found ($P<0.01$). Four optimized combinations were obtained as follows: 0.5% silk fibroin and 0.01% pectin, 1% silk fibroin and 0.03% xanthan gum, 1% silk fibroin and 0.03% sodium alginate, and 0.5% silk fibroin and 0.05% acid-resistant CMC, which revealed a viscosity and a water-holding capacity of 903.8 mPa·s and 65.5%, 1196.2 mPa·s and 68.0%, 1320.6 mPa·s and 68.3%, and 962.1 mPa·s and 65.0%, respectively.

Key words: stabilizer; silk fibroin; yogurt; viscosity; water-holding capacity

中图分类号: TS252.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)21-0136-05

搅拌型酸奶以口感好、酸甜适中、营养丰富被广大消费者认可。近年来, 研究者们将一些功能性配料添入搅拌型酸奶中, 开发出营养价值更高的新型酸奶。如Oliveira等^[1]研发了添加菊粉的搅拌型酸奶, Gonzalez-Martínez等^[2]研发了添加乳清蛋白的酸奶, Celik等^[3]研发了添加桑葚浓缩物的酸奶。这些添加物不仅拓宽了酸奶的花色品种, 而且增强了传统酸奶的营养。

丝素是一种营养价值丰富的食品配料, 富含18种氨

基酸, 近年来的动物实验表明丝素对降低血液胆固醇含量、促进酒精代谢以及增加糖尿病小鼠和正常小鼠的血糖及葡萄糖耐受具有积极作用^[4-7]。同时, 它还具有乳化、起泡、凝胶等功能特性^[8-9]。在日本已经被添加在一些饮料、果酒、糕点中^[10], 国内也有研究者研发出添加丝素的蛋糕和酸奶^[11-12]。但由于丝素并不是乳酸菌的良好营养源, 乳酸菌的生长会受到影响, 产酸减少, 酪蛋白产生的凝胶结构变得不稳定, 更容易发生黏稠度低、组

收稿日期: 2011-09-16

作者简介: 屠洁(1977—), 女, 讲师, 硕士, 研究方向为食品科学。E-mail: tujie99@yahoo.com.cn

*通信作者: 刘冠卉(1976—), 男, 副教授, 硕士, 研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: zhenjianglgh@yahoo.com.cn

织状态粗糙、乳清析出等不良现象。为此,需要添加稳定剂,用以改善酸奶的质地,防止乳清分离^[13]。目前常用的乳制品稳定剂包括果胶、黄原胶、海藻酸钠、耐酸性羧甲基纤维素钠(CMC)等^[14-15]。但稳定剂与丝素间的相互作用,及其对酸奶品质的影响目前尚未见报道。本研究采用两因素三水平析因设计,考察4种常用稳定剂(果胶、黄原胶、海藻酸钠、耐酸性CMC)和丝素蛋白对搅拌型丝素酸奶黏度和保水性的影响,为搅拌型丝素酸奶的工业化生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

水溶性丝素肽粉(食品级,相对分子质量500~10000)湖州新天丝生物技术有限公司。

伊利牌全脂乳粉、白砂糖均为市售;直投式搅拌型酸奶发酵剂 丹尼斯克(中国)公司;果胶、黄原胶、海藻酸钠、耐酸性CMC(均为食品级) 郑州正鑫食品添加剂公司;其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

DHP060恒温培养箱 上海实验仪器厂有限公司;0516-1台式低速离心机 上海医疗器械有限公司手术器械厂;FA2104N电子天平 上海精密科学仪器有限公司;US-840-1型超净工作台 上海博迅实业有限公司医疗设备厂;DV-II数字旋转黏度计 上海地学仪器研究所。

1.3 方法

1.3.1 酸奶加工工艺

参考文献[16],对乳固体含量、发酵剂接种量、杀菌温度略作修改:将奶粉用蒸馏水溶解,另将稳定剂与白砂糖混匀后充分溶解,再将二者混匀,最终奶液中乳固体含量为12%,白砂糖含量为6%。此奶液于95℃杀菌5min,然后在20MPa条件下均质。冷却至42℃时接入发酵剂,接种量为4%,在42℃发酵4h后迅速冷却,同时用不锈钢勺以1min上下运动4次的速率缓慢手工搅拌5min,冷却终温为4℃。最后将发酵乳放于4℃后熟24h,得到产品。

1.3.2 析因试验设计

析因试验设计又称全因子试验设计,是一种多因素的交叉分组设计。它不仅可同时观察多个因素的效应,而且能够分析各因素间的交互作用,并容许一个因素在其他各因素的几个水平上来估计其效应。因此析因试验能较透彻地剖析因素与效应之间的关系。特别当因素数目和水平数都不太大,且效应与因素之间的关系比较复杂,常常被推荐使用^[17]。

根据前期初步实验以及参考文献[12,18],确定了丝素蛋白的质量浓度范围为0.5~1.5g/100mL,稳定剂的质量浓度范围为0.01~0.03g/100mL(表1)。

表1 析因试验设计

Table 1 Factorial experimental design

丝素蛋白质量 浓度/(g/100mL)	稳定剂质量浓度/(g/100mL)					
	0.01		0.03		0.05	
0.5	Y_{111}	Y_{112}	Y_{121}	Y_{122}	Y_{131}	Y_{132}
	Y_{113}	Y_{114}	Y_{123}	Y_{124}	Y_{133}	Y_{134}
1.0	Y_{211}	Y_{212}	Y_{221}	Y_{222}	Y_{231}	Y_{232}
	Y_{213}	Y_{214}	Y_{223}	Y_{224}	Y_{233}	Y_{234}
1.5	Y_{311}	Y_{312}	Y_{321}	Y_{322}	Y_{331}	Y_{332}
	Y_{313}	Y_{314}	Y_{323}	Y_{324}	Y_{333}	Y_{334}

1.3.3 表观黏度的测定

采用DV-II数字旋转黏度计,根据测定的黏度范围选择63号转子,计第5~15分钟,共11个黏度值,取平均值。

1.3.4 保水性的测定

参考Riener等^[19]的方法,吸取5mL 4℃的酸奶样品放入刻度离心管中,以4000r/min的速率离心20min。放置1min后读数。酸奶的保水性以离心后沉淀物的体积分数表示,重复4次,取平均值。

1.3.5 数据收集与统计

实验中测定所得的数据统计使用SPSS13.0软件分析。析因试验采用两因素方差分析;各组数据间的比较采用S-N-K法多重比较。

2 结果与分析

2.1 果胶、黄原胶、海藻酸钠、耐酸性CMC和丝素蛋白对搅拌型酸奶黏度的影响

2.1.1 果胶和丝素蛋白对搅拌型酸奶黏度的影响

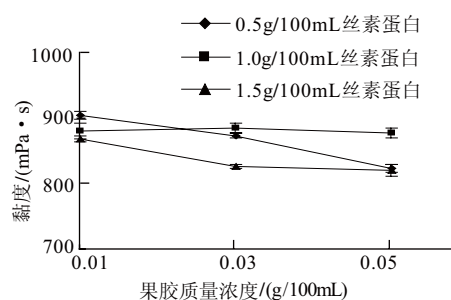


图1 果胶和丝素蛋白对搅拌型酸奶黏度的影响

Fig.1 Combined effects of pectin and silk fibroin on the viscosity of stirred yogurt

由图1可知,经方差分析得知果胶和丝素蛋白之间存在极显著的交互作用($P<0.01$)。此时,主效应检验的实际意义不大,转而进行单独效应分析:当丝素蛋白的质量浓度为1g/100mL时,果胶单独效应差别无统计学意义($P=0.311>0.05$);而当丝素蛋白的质量浓度在0.5g/100mL和1.5g/100mL时,果胶单独效应差别均有统计学意义($P<0.05$),随着果胶质量浓度增高,酸奶黏度呈下降趋势。出现上述现象,可能是由于果胶、丝素蛋白都分别能增加体系黏度^[20-21],

但丝素蛋白质量浓度过高时,影响乳酸菌产酸,发酵终点的pH值变高(本实验中高、低质量浓度丝素蛋白酸奶的发酵终点pH值相差0.15单位)。而果胶在高pH值水平时会使体系的黏度下降^[22]。正是由于二者间的复杂关系,造成了看似没有规律的曲线。

进一步采用S-N-K法对各水平组合平均数进行多重比较。当添加0.5g/100mL丝素蛋白和0.01g/100mL果胶时,酸奶黏度最高,达(903.8±5.9)mPa·s;当添加1g/100mL丝素蛋白和任一水平果胶时,黏度无显著差异,均处于较高的水平。

2.1.2 黄原胶和丝素蛋白对搅拌型酸奶黏度的影响

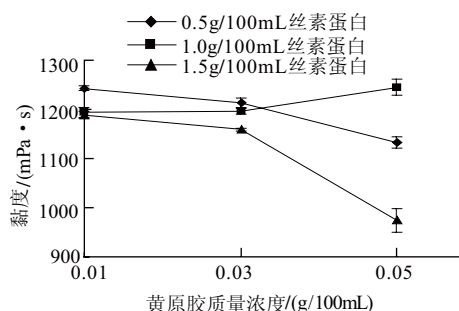


图2 黄原胶和丝素蛋白对搅拌型酸奶黏度的影响

Fig.2 Combined effects of xanthan gum and silk fibroin on the viscosity of stirred yogurt

由图2可知,经方差分析得知黄原胶和丝素蛋白之间存在极显著的交互作用($P<0.01$)。经S-N-K法多重分析得知,两种组合的搅拌型酸奶的黏度最高,分别为1g/100mL丝素蛋白、0.05g/100mL黄原胶和0.5g/100mL丝素蛋白、0.01g/100mL黄原胶,黏度值分别为1244.6和1243.3mPa·s,与其他组合差异显著($P<0.01$)。其次是0.5g/100mL丝素蛋白、0.03g/100mL黄原胶和1g/100mL丝素蛋白、0.03g/100mL黄原胶,黏度值分别为1213.6、1196.2mPa·s,与剩余组合的差异显著($P<0.05$)。

2.1.3 海藻酸钠和丝素蛋白对搅拌型酸奶黏度的影响

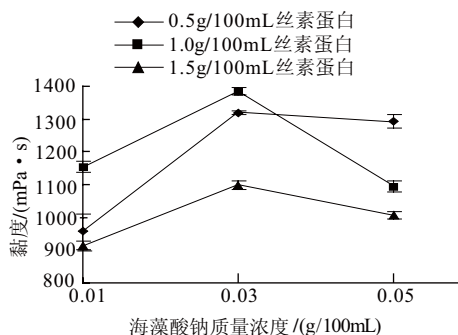


图3 海藻酸钠和丝素蛋白对搅拌型酸奶黏度的影响

Fig.3 Combined effects of sodium alginate and silk fibroin on the viscosity of stirred yogurt

由图3可知,丝素蛋白和海藻酸钠之间有极显著的

交互作用($P<0.01$)。随着丝素蛋白质量浓度增加,酸奶黏度先上升后下降;随着海藻酸钠质量浓度增加,酸奶黏度也呈先上升后下降的趋势。经多重比较得知,添加0.03g/100mL海藻酸钠、1g/100mL丝素蛋白的搅拌型酸奶的黏度达到最高(1320.6mPa·s),与添加0.03g/100mL海藻酸钠和0.5g/100mL丝素蛋白的酸奶无显著差异,但显著高于其他组合($P<0.05$)。

2.1.4 耐酸性CMC和丝素蛋白对搅拌型酸奶黏度的影响

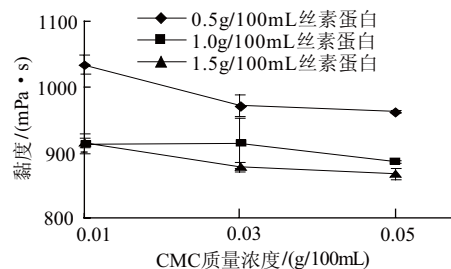


图4 耐酸性CMC和丝素蛋白对搅拌型酸奶黏度的影响

Fig.4 Combined effects of acid-resistant CMC and silk fibroin on the viscosity of stirred yogurt

由图4可知,丝素蛋白和CMC之间没有显著的交互作用($P>0.05$),影响酸奶黏度的主要效应是丝素蛋白质量浓度($P<0.01$)。随着丝素蛋白质量浓度增加,酸奶黏度呈下降趋势。经多重比较得知,添加0.5g/100mL丝素蛋白和0.01g/100mL CMC的酸奶黏度达到最高(1034.1mPa·s),在相同丝素蛋白质量浓度时0.03、0.05g/100mL CMC的酸奶黏度分别为971.3、962.1mPa·s,三者之间不存在显著性差异。

2.2 果胶、黄原胶、海藻酸钠、耐酸性CMC和丝素蛋白对搅拌型酸奶保水性的影响

2.2.1 果胶和丝素蛋白对搅拌型酸奶保水性的影响

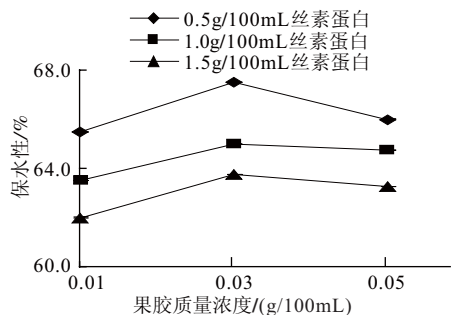


图5 果胶和丝素蛋白对搅拌型酸奶保水性的影响

Fig.5 Combined effects of pectin and silk fibroin on water-holding capacity of stirred yogurt

由图5可知,果胶和丝素蛋白对酸奶保水性均有极显著影响($P<0.01$),果胶和丝素蛋白之间无显著交互作用($P>0.05$)。酸奶保水性随着丝素蛋白质量浓度增大而降低。添加0.5g/100mL丝素蛋白、0.03g/100mL果胶的

酸奶保水性为67.5%，达到最高，与其他果胶丝素蛋白组合的酸奶保水性间有极显著性差异($P < 0.01$)。添加0.5g/100mL丝素蛋白和0.05、0.01g/100mL果胶的酸奶保水性保持较高水平，分别为66%、65.5%。

2.2.2 黄原胶和丝素蛋白对搅拌型酸奶保水性的影响

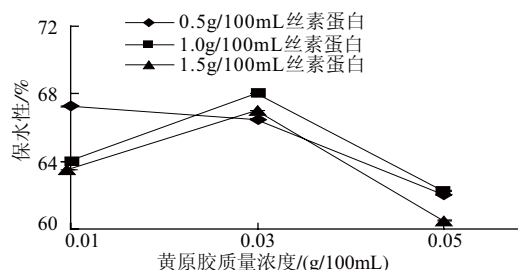


图6 黄原胶和丝素蛋白对搅拌型酸奶保水性的影响

Fig.6 Combined effects of xanthan gum and silk fibroin on water-holding capacity of stirred yogurt

由图6可知，黄原胶和丝素蛋白之间有极显著的交互作用($P < 0.01$)。添加1g/100mL丝素蛋白和0.03g/100mL黄原胶的酸奶保水性最佳(68.0%)，其次为添加0.5g/100mL丝素蛋白和0.01g/100mL黄原胶的酸奶(67.3%)、添加1.5g/100mL丝素蛋白和0.03g/100mL黄原胶的酸奶(67.0%)，三者不存在显著性差异。

2.2.3 海藻酸钠和丝素蛋白对搅拌型酸奶保水性的影响

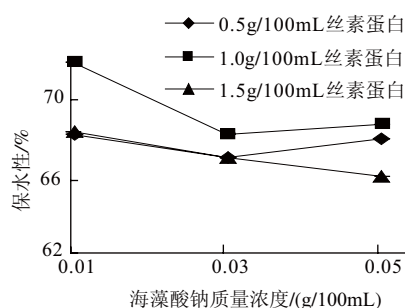


图7 海藻酸钠和丝素蛋白对搅拌型酸奶保水性的影响

Fig.7 Combined effects of sodium alginate and silk fibroin on water-holding capacity of stirred yogurt

由图7可知，海藻酸钠对酸奶保水性无显著影响($P > 0.05$)，丝素蛋白对酸奶保水性有极显著影响($P < 0.01$)。海藻酸钠和丝素蛋白对酸奶的保水性无显著的交互作用($P > 0.05$)。添加1g/100mL丝素蛋白和0.01g/100mL海藻酸钠的酸奶保水性达到最高(72.0%)，添加1g/100mL丝素蛋白和0.03g/100mL海藻酸钠的酸奶保水性为68.3%，二组合间无显著性差异。

2.2.4 耐酸性CMC和丝素蛋白对搅拌型酸奶保水性的影响

由图8可知，随着CMC质量浓度(0.01、0.03、0.05g/100mL)增大，搅拌型丝素蛋白酸奶的保水性有增大趋势。丝素蛋白和CMC之间没有显著的交互作用

($P > 0.05$)。丝素蛋白和CMC对搅拌型酸奶的保水性均存在极显著影响($P < 0.01$)。添加0.5g/100mL丝素蛋白和0.05g/100mL CMC的酸奶的保水性达到最高(65.0%)。

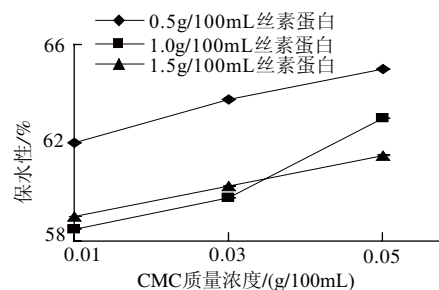


图8 耐酸性CMC和丝素蛋白对搅拌型酸奶保水性的影响

Fig.8 Combined effects of acid-resistant CMC and silk fibroin on water-holding capacity of stirred yogurt

3 结论

黏稠度和保水性是搅拌型酸奶重要的感官品质。在搅拌型丝素蛋白酸奶中添加稳定剂时，果胶、黄原胶、海藻酸钠和丝素蛋白对酸奶黏度有极显著的交互作用($P < 0.01$)，耐酸性CMC与丝素蛋白对酸奶黏度无显著交互作用。果胶、黄原胶和丝素蛋白对酸奶的保水性有极显著的交互作用($P < 0.01$)，海藻酸钠、耐酸性CMC与丝素蛋白对酸奶保水性无显著交互作用。分别得到4种优化组合：0.5g/100mL丝素蛋白和0.01g/100mL果胶，酸奶的黏度和保水性分别为903.8mPa·s、65.5%；1g/100mL丝素蛋白和0.03g/100mL黄原胶，酸奶的黏度和保水性分别为1196.2mPa·s、68.0%；1g/100mL丝素蛋白和0.03g/100mL海藻酸钠，酸奶的黏度和保水性分别为1320.6mPa·s、68.3%；0.5g/100mL丝素蛋白和0.05g/100mL耐酸性CMC，酸奶的黏度和保水性分别为962.1mPa·s、65.0%。其中，当使用海藻酸钠为稳定剂时，丝素蛋白酸奶的黏稠度和保水性最高，均超过了未添加丝素蛋白与稳定剂的空白样酸奶(黏稠度为1243mPa·s、保水性为63.0%)。这可能是海藻酸钠和丝素蛋白复配后，使得原先空白样酸奶中的酪蛋白粒子形成的堆积簇相互连接构成了致密、均一、坚固的链状空间结构。这与赵新淮等^[23]研究结果相似。海藻酸钠同时也是一种天然膳食纤维，对人体健康有保健功效。海藻酸钠的添加是否能强化丝素蛋白在增加糖尿病小鼠和正常小鼠的血糖及葡萄糖耐受等方面的积极作用，还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] OLIVEIRA R P D S, PEREGO P, CONVERTI A, et al. Effect of inulin on growth and acidification performance of different probiotic bacteria

- in co-cultures and mixed culture with *Streptococcus thermophilus*[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 91(1): 133-139.
- [2] GONZALEZ-MARTÍNEZ C, BECERRA M, CHÁFER M, et al. Influence of substituting milk powder for whey powder on yoghurt quality[J]. Trends in Food Science & Technology, 2002, 13(9): 334-340.
- [3] CELIK S, BAKIRCI I. Some properties of yoghurt produced by adding mulberry pekmez (concentrated juice)[J]. International Journal of Dairy Technology, 2003, 56(1): 26-29.
- [4] MONDAL M, TRIVEDI K, KUMAR S N. Extraction of liquid and powder fibroin from cocoon shell of silkworm (*Bombyx mori* Linn.)[J]. Journal of the Entomological Research Society, 2007, 9(3): 15-22.
- [5] 陆旋, 周兵, 周晓红. N-乙酰半胱氨酸联合家蚕丝素蛋白解酒效果的动物试验[J]. 蚕业科学, 2009, 35(3): 675-679.
- [6] 周凤娟, 许时婴, 杨瑞金, 等. 丝素活性肽对高胆固醇血症小鼠的影响[J]. 丝绸, 2007(8): 30-32.
- [7] 周炎, 刘朝良, 姚立虎, 等. 丝素降血糖效果的初步研究[J]. 蚕业科学, 2007, 33(3): 496-498.
- [8] 周凤娟, 许时婴, 杨瑞金, 等. 可溶性丝素蛋白的流变性质和胶凝性质[J]. 食品科学, 2007, 28(12): 58-61.
- [9] 赵海俊, 勇合超, 苏国宏, 等. 丝素功能性质的研究[J]. 粮油加工, 2010(11): 119-121.
- [10] KEIKO F J, SADAYUKI T, RUMIKO K. Preparation and properties of a novel sponge cake by combining rice flour with silk fibroin protein[J]. Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology, 2000, 47(5): 363-368.
- [11] 倪莉, 王璋, 许时婴. 功能性食品配料: 丝素的性质和应用[J]. 福州大学学报, 2002, 30(11): 744-747.
- [12] 刘冠卉, 燕薇, 屠洁, 等. 丝素酸奶的研制[J]. 食品工业科技, 2009(10): 224-226.
- [13] UDABAGE P, AUGUSTIN M A, VERSTEEG C, et al. Properties of low-fat stirred yoghurts made from high-pressure-processed skim milk[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2011, 11(1): 32-38.
- [14] 黄来发. 食品增稠剂[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009.
- [15] 王微, 赵新淮. 增稠剂对酸奶质地的影响研究[J]. 中国乳品工业, 2006, 34(11): 107-111.
- [16] KÜÇÜKÇETİN A, WEIDENDORFER K, HINRICHS J. Graininess and roughness of stirred yoghurt as influenced by processing[J]. International Dairy Journal, 2009, 19(1): 50-55.
- [17] WU C F J, HAMADA M. 试验设计与分析及参数优化[M]. 张润楚, 郑海涛, 兰燕, 等, 译. 北京: 中国统计出版社, 2003.
- [18] EVERETT D W, MCLEOD R E. Interactions of polysaccharide stabilisers with casein aggregates in stirred skim-milk yoghurt[J]. International Dairy Journal, 2005, 15(11): 1175-1183.
- [19] RIENER J, NOCI F, DENIS A, et al. The effect of thermosonication of milk on selected physicochemical and microstructural properties of yoghurt gels during fermentation[J]. Food Chemistry, 2009, 114(3): 905-911.
- [20] 周凤娟, 许时婴, 杨瑞金, 等. 可溶性丝素蛋白的功能性质[J]. 食品科学, 2007, 28(11): 71-75.
- [21] 刘贺, 朱丹实, 刘丽萍, 等. 低酯果胶和乳清分离蛋白复合凝胶性质的研究[J]. 食品科学, 2009, 30(11): 66-69.
- [22] 汪海波, 徐群英, 汪芳安. 低酯果胶的流变学性能研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 223-226.
- [23] 赵新淮, 王微. 复合增稠剂对凝固型原味酸奶质地及微观结构的影响[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(1): 107-111.