

脂肪替代物对 Mozzarella 干酪流变学特性 影响研究

李红娟, 刘 燕, 李洪波, 于景华*

(天津科技大学食品工程与生物技术学院, 天津 300457)

摘要: **目的** 研究脂肪替代物对部分脱脂 Mozzarella 干酪的流变学特性及微观结构的影响。**方法** 通过测定不同脂肪替代物(菊粉、麦芽糖醇、WPC-80、大豆卵磷脂)制成的部分脱脂干酪的基本组分、流变学特性、粘弹性模量变化、微观结构, 研究不同脂肪替代物对干酪的影响。**结果** 菊粉、WPC-80、大豆卵磷脂均能提高部分脱脂干酪的水分含量, 加入脂肪替代物的干酪的 pH 明显低于对照组部分脱脂干酪的 pH。WPC-80 G' > 菊粉 G' > 大豆卵磷脂 G' > 麦芽糖醇 G' > 对照 G' , 说明加入脂肪替代物能显著改善部分脱脂干酪的黏弹流变学特性。**结论** 麦芽糖醇作为脂肪替代物替代脂肪的效果较好, 能提高蛋白分子间疏水作用, 加入麦芽糖醇的部分脱脂干酪的黏弹性与对照组最为接近。

关键词: 脂肪替代物; mozzarella; 干酪; 流变学

Effect of fat replacements on the rheological characteristics of Mozzarella cheese

LI Hong-Juan, LIU Yan, LI Hong-Bo, YU Jing-Hua*

(School of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

ABSTRACT: Objective To research the effect of fat replacements on the rheology and microstructure of partially defatted Mozzarella cheese. **Methods** The essential components, rheological properties, changes of viscoelasticity and microstructure of partial fat cheese made from different fat replacements (inulin, maltitol, WPC-80, soya lecithin) were determined, and the effect of different fat replacers on cheese was studied. **Results** Inulin, WPC-80, and soya lecithin all increased the moisture content of partially-fatted cheese. The pH of cheese added with fat substitutes was significantly lower than that of the control group. WPC-80 G' > inulin G' > soybean lecithin G' > maltitol G' > Control G' , which indicated that adding fat replacements could significantly improve the visco-elastic rheological properties of partially-defatted cheese. **Conclusion** Maltitol can improve the hydrophobic effect of the molecule, the viscoelasticity of maltitol-added cheese is closest to the control, so maltitol is a good substitute for fat as a fat substitute.

KEY WORDS: fat replacements; mozzarella; cheese; rheology

基金项目: 国家自然科学基金项目(31501510, 31671876), 石家庄市科技研究与发展计划项目 (176170877A)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31501510, 31671876)

*通讯作者: 于景华, 博士, 教授, 主要研究方向为乳品科学。E-mail: yujinghua@tust.edu.cn

*Corresponding author: YU Jing-Hua, Ph.D, Professor, School of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China. E-mail: yujinghua@tust.edu.cn

1 引言

Mozzarella干酪作为西方传入中国的食品之一,由于其独特的口感、强烈的视觉和感官体验以及丰富的营养价值逐渐被人们接受,Mozzarella干酪加热融化和拉丝的特性使其在餐饮业中用途极为广泛^[1]。全脂Mozzarella干酪中水分含量为40%左右,蛋白含量20%~30%,脂肪含量也是20%~30%,由干酪的成分占比也可以看出脂肪的重要性^[2-4]。随着生活水平的提高,人们越来越关心饮食是否健康。膳食中的脂肪,尤其是动物脂肪,被认为与心血管类疾病密切相关,近几年来,低脂肪和无脂肪的产品在当今消费者中越来越受欢迎^[5]。由于脂肪对口感和风味的重要性,在降低脂肪含量的同时,添加一些能给予干酪具有类似脂肪口感和功能的脂肪替代物,在降低脂肪含量的同时保证其功能特性(融化性、拉丝性、褐变性)不受影响^[6-8]。从人们对于脂肪替代物的研究可以发现,脂肪替代物多种多样,添加脂肪替代物大多能提高干酪的水分含量,但能否提高干酪的融化性、拉伸性则要取决于脂肪替代物的特性,主要是微粒化水平、粒径大小、与酪蛋白分子间的相互作用以及凝乳中蛋白质基质和乳清之间的分布状况^[6,7,9,10]。研究脂肪替代物对低脂Mozzarella干酪的影响,主要是通过观察干酪的形态、微观结构以及对干酪含水量的影响和功能特性的影响。因此,需要找到能针对低脂Mozzarella干酪的脂肪替代物就显得尤为重要^[11-13]。

本研究选用4种脂肪替代物,包括变性浓缩乳清蛋白80型(简称WPC-80)、麦芽糖醇、菊粉、大豆卵磷脂添加到部分脱脂的原料乳中,制成成品干酪,以一组未加脂肪替代物的部分脱脂干酪作为对照,分别测定5组干酪的组分、流变特性、二级结构及微观结构,分析不同脂肪替代物的替代效果以及对干酪流变学及微观结构的影响,以期找出对低脂Mozzarella干酪功能特性及质构特性改善效果最好的脂肪替代物。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

牛乳(蛋白3.3%,沧兴牧业有限公司);凝乳酶(1150 NB 1150 IMCU/g,丹麦科汉森公司);SYC-11型Mozzarella干酪发酵剂(丹麦科汉森公司);食盐(山东寒亭第一盐场);溴化钾(分析纯,西陇化工厂);菊粉(食品级,河南千志商贸有限公司);麦芽糖醇(食品级,山东福田药业有限公司);WPC-80(食品级,新西兰恒天然有限公司);大豆卵磷脂(食品级,郑州四维生物科技有限公司)。

2.2 仪器与设备

UL80BC乳成分分析仪(杭州浙大优创科技有限公司);9ND50牛奶分离机(青海农牧机械制造有限公司);

HWA24型水浴锅(上海一恒科学仪器有限公司);K9840凯氏定氮仪(济南海能仪器有限公司);FE20型酸度计(梅特勒—托利多仪器有限公司);HAAKE流变仪(德国热电公司);SU1510扫描电子显微镜(日本日立公司);傅里叶红外光谱仪(美国尼高力公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 加入脂肪替代物的低脂干酪的制备

原料乳→脱脂(处理后牛奶中脂肪含量2%左右)→加入处理好的脂肪替代物→均质→杀菌(63℃,30min)→冷却至37℃左右加入菌种(0.1%,*m:m*)发酵→pH6.4左右加入凝乳酶(0.03%,*m:m*)→凝乳25~30min左右切割→排乳清→堆酿→盐渍→热烫拉伸→冷却→真空包装→成熟。

实验中选取3类脂肪替代物:(1)碳水化合物基脂肪替代物:麦芽糖醇(2%,*m:m*)、菊粉(2%,*m:m*);(2)蛋白基脂肪替代物:变性WPC-80(2%,*m:m*);(3)脂肪基脂肪替代物:大豆卵磷脂(0.1%,*m:m*)。麦芽糖醇、菊粉和大豆卵磷脂,直接加于原料奶中混匀,均质。WPC-80的处理参照卢蓉蓉等^[14]对WPC-80作为蛋白基脂肪替代物的处理方法处理后,加到原料奶中混匀,均质。

2.3.2 干酪基本理化指标的测定

蛋白质含量的测定:GB/T 5009.5-2010凯氏定氮法^[15]。

脂肪含量的测定:GB/T 21375-2008罗兹-哥特法^[16]。

水分含量的测定:GB/T 5009.3-2010直接干燥法^[17]。

pH的测定:取预先放置在4℃保存的样品10g置于研钵中,加入10mL脱除CO₂的蒸馏水,研磨混匀,用pH计直接测定。

2.3.3 干酪微观结构的测定

延干酪纤维方向切成表面平整的纤薄小片,浸于2.5%戊二醛溶液中,4℃下固定3~4h,用pH7.2的磷酸盐缓冲液清洗3次,每次15min,再分别用30%、50%、70%、90%、100%乙醇溶液梯度脱水,每次15min,之后再用氯仿脱脂3次,每次15~20min,脱脂后用100%乙醇溶液脱水3次,每次15min。样品处理好后放入-40℃冰箱冷冻2h以上,然后取出放入冷冻干燥器中冷冻干燥。将干燥后的样品取小块粘在实验台上,采用离子溅射的方法喷金,置于电镜下扫描^[5]。

2.3.4 干酪蛋白二级结构的测定

样品前处理:样品于研钵中磨碎,用丙酮和石油醚脱脂(使脂肪含量<10%),冻干。

测定:取冻干样品1mg与150mgKBr混合并研磨充分,压片,用傅里叶变换红外光谱仪采集红外光谱。

2.3.5 干酪流变性的测定

将干酪样品切成直径为20mm,厚1mm的圆片,选用直径20mm的不锈钢平板探头,平板与底盘间隙1mm,将样品放在底盘上。采用小振幅振荡模式,扫描频率0.1Hz,温度25~80℃,升温速率5℃/min;扫描温度

25 ℃, 频率 0.1~10 Hz。分别测定干酪的弹性模量 G' 和黏性模量 G'' 随温度和频率的变化^[11]。

3 结果与分析

3.1 干酪基本理化指标测定

如表 1 所示, 加入脂肪替代物的干酪的脂肪含量与对照组相比显著减少, 其中加入 WPC-80 的干酪的脂肪含量最低。加入脂肪替代物的干酪的蛋白含量与对照组有显著性差异。加入脂肪替代物能提高部分脱脂干酪的水分含量。加入脂肪替代物的干酪的 pH 明显低于对照组部分脱脂干酪。

由表 1 可知, 在部分脱脂干酪中脂肪替代物仍能替代部分脂肪, 在干酪制作过程中, 脂肪替代物可能会取代部分脂肪的位置, 被取代的这部分脂肪可能就会随乳清一同排出, 从而再次降低干酪中的脂肪含量。每种脂肪替代物的特性会产生不同的替代效果^[18]。WPC-80 是乳清蛋白经变性制得, 变性后的乳清蛋白与酪蛋白紧密交联, 一些大的脂肪球无法进入狭小的蛋白矩阵孔隙^[19,20], 从而促进了脂肪的排出, 同时增加了干酪中乳清蛋白的含量, 因此, 蛋白含量有所上升。加入脂肪替代物能增加部分脱脂干酪的水分含量主要是因为脂肪替代物本身大都具有一定的吸水

作用, 小分子物质吸水膨胀后镶嵌在蛋白质基质或蛋白质基质与乳清通道之间。添加脂肪替代物的干酪的 pH 较低可能是由于脂肪替代物含有乳酸菌生长所需要的糖类物质, 促进了乳酸菌的生长。

3.2 脂肪替代物对部分脱脂干酪蛋白二级结构的影响

测定了添加脂肪替代物的部分脱脂干酪的蛋白质二级结构的变化情况, 结果如表 2 所示。

由表 2 可知, 与对照相比, 加入脂肪替代物的部分脱脂干酪的 β -折叠占比均降低, 说明加入脂肪替代物后蛋白质二级结构中片层结构有所减少, 由于 β -折叠片的构象通过氢键维持, 说明氢键数量减少, 而 α -螺旋和 β -转角均有所增加, 说明分子链内和链间的结构变得更加稳定。

3.3 脂肪替代物对部分脱脂干酪流变性的影响

测定了添加脂肪替代物对部分脱脂干酪流变性的影响, 实验结果如图 1、2 所示。

由图 2 可知, WPC-80 $G' >$ 菊粉 $G' >$ 大豆卵磷脂 $G' >$ 麦芽糖醇 $G' >$ 对照 G' , WPC-80 $G'' >$ 菊粉 $G'' >$ 大豆卵磷脂 $G'' >$ 麦芽糖醇 $G'' >$ 对照 G'' , 说明加入脂肪替代物能显著改善部分脱脂干酪的黏弹流变学特性。

表 1 不同脂肪替代物对部分脱脂干酪基本理化指标的影响($n=3$)

Table 1 Effect of different fat substitutes on physiochemical index of part-skim cheese ($n=3$)

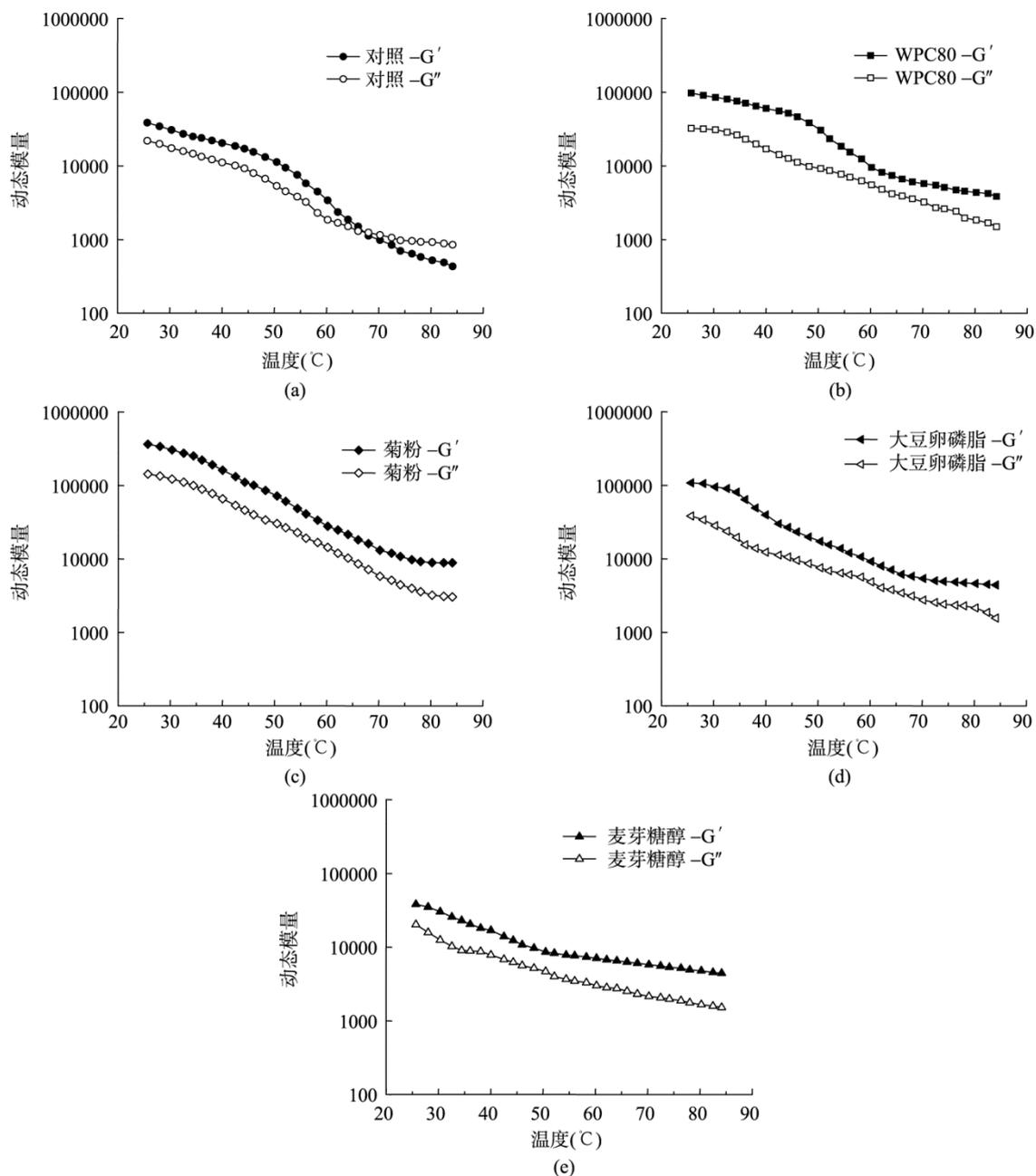
类别	脂肪含量(%)	蛋白含量(%)	含水量(%)	pH
对照	13.24±0.25 ^a	29.67±0.11 ^b	41.58±0.91 ^d	5.09±0.01 ^a
菊粉	12.49±0.73 ^{ab}	27.99±0.04 ^c	45.66±0.10 ^c	4.66±0.01 ^e
麦芽糖醇	9.73±1.10 ^b	28.40±0.27 ^c	48.26±0.29 ^b	4.99±0.01 ^b
WPC-80	4.95±0.28 ^c	32.71±0.27 ^a	54.72±0.11 ^a	4.88±0.01 ^c
大豆卵磷脂	10.73±1.65 ^{ab}	27.70±0.29 ^c	48.83±0.06 ^b	4.86±0.01 ^d

注: 同一列共用同一上标字母的结果之间不具有统计学差异($P>0.05$)。

表 2 脂肪替代物对蛋白二级结构的影响

Table 2 Effect of different fat substitutes on secondary protein structure

样品	β -折叠	α -螺旋	β -转角	无规卷曲
对照	62.74%	15.64%	12.51%	9.11%
麦芽糖醇	58.26%	17.07%	15.49%	9.19%
大豆卵磷脂	51.63%	17.67%	21.05%	9.66%
菊粉	50.63%	25.60%	14.58%	9.19%
WPC-80	52.84%	24.09%	13.29%	9.77%



注: a: 为对照组; b: 为 WPC-80 组; c: 为菊粉组; d: 为大豆卵磷脂组; e: 为麦芽糖醇组。

图 1 温度对不同脂肪替代物干酪动态模量的影响

Fig. 1 Effect of temperature on dynamic modulus of cheese with different fat substitutes

3.4 脂肪替代物对部分脱脂干酪微观结构的影响

添加脂肪替代物的部分脱脂干酪的微观结构实验结果见图 3。由图 3a 可以看出, 对照组干酪呈现纤维状结构, 且结构较密, 孔隙少, 放大后能看到明显的球菌和杆菌, 对照组的乳酸菌大都聚在一起, 也有少量单独存在。由 3b 可以看出, 加入大豆卵磷脂之后干酪的蛋白堆叠在一起, 蛋白呈现出网状结构, 蛋白链较为脆弱, 乳酸菌, 以短链形式存在。由图 3c 可以发现, 加入菊粉后

的干酪具有纤维状结构, 蛋白链间距较大, 孔隙少, 蛋白链粗壮, 乳酸菌量较少。如图 3d 所示, 添加麦芽糖醇的干酪孔隙小而密集, 蛋白质呈现出平面的三维网状结构, 蛋白链十分粗壮, 蛋白链上能看到单个的乳酸菌, 但量很少。如图 3e 所示, 加入 WPC-80 的干酪蛋白连接紧密, 孔隙小且少, 变性的乳清蛋白和酪蛋白紧密连接, 没有明显的蛋白结构, 乳清通道的孔隙较大, 很难看到脂肪的痕迹。

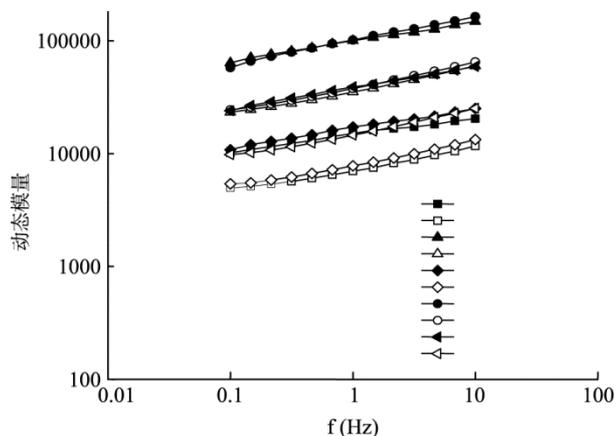
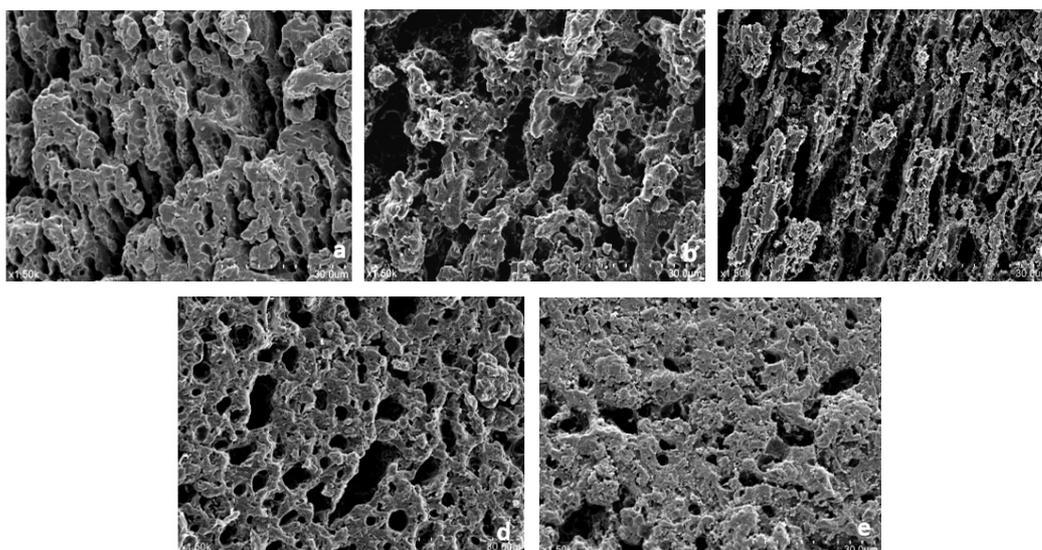


图2 频率对不同脂肪替代物干酪的影响

Fig. 2 Effect of frequency on dynamic modulus of cheese with different fat substitutes



注: a: 对照组; b: 大豆卵磷脂组; c: 菊粉组; d: 麦芽糖醇组; e: WPC-80 样品组。

图3 脂肪替代物对部分脱脂干酪微观结构的影响($\times 1500$)Fig. 3 Effect of different fat substitutes on microstructure of part-skim cheese($\times 1500$)

4 结论与讨论

原料乳除去一半的脂肪后又加入脂肪替代物制成部分脱脂干酪,与对照相比,脂肪替代物的加入使得干酪中的脂肪继续减少,水分含量升高,pH下降,加入麦芽糖醇、菊粉和大豆卵磷脂的干酪的蛋白含量降低,加入WPC-80的干酪蛋白含量增加,变性乳清蛋白与酪蛋白以二硫键紧密结合,促进脂肪的排出。碳水化合物基脂肪替代物易溶于水,存在于乳清通道,蛋白基脂肪替代物更是加强了蛋白间的相互作用,而大豆卵磷脂作为脂肪基脂肪替代物,主要成分是脂质,能起到部分脂肪的作用,但在干酪中的存在形式与脂肪有差异,甚至可能与脂肪融合从而增加了

油脂析出的可能。

通过流变分析结果可知,加入脂肪替代物的干酪的 G' 和 G'' 没有交点,可能是由于脂肪替代物替代了部分脂肪的位置,在蛋白质基质中的分布与脂肪的分布大致类似,脂肪能够随温度升高而逐渐由固体向液体转变,完全融化后流动会使得蛋白矩阵坍塌,从而实现干酪的融化,但脂肪替代物不能随温度上升而软化或者融化。对比添加不同脂肪替代物干酪可以发现,麦芽糖醇作为脂肪替代物替代脂肪的效果最好,能提高干酪的功能特性。

参考文献

- [1] Muliawan EB, Hatzikiriakos SG. Rheology of Mozzarella cheese [J]. Int Dairy J, 2007, 17(9): 1063-1072.

- [2] Cavella S, Chemin S, Masi P. Objective measurement of the stretchability of Mozzarella cheese [J]. *J Texture Stud*, 1992, 23(2): 185–194.
- [3] Guinee T, Feeney E, Auty M, *et al.* Effect of pH and calcium concentration on some textural and functional properties of Mozzarella cheese [J]. *J Dairy Sci*, 2002, 85(7): 1655–1669.
- [4] Guinee TP, Feeney EP, Fox PF. Effect of ripening temperature on low moisture Mozzarella cheese: 2. Texture and functionality [J]. *Dairy Sci Technol*, 2001, 81(4): 475–485.
- [5] Wadhvani R. Investigating the strategies to improve the quality of low-fat mozzarella and cheddar cheeses [M]. *Dissertations & Theses-Gradworks*, 2011.
- [6] Banks JM. The technology of low-fat cheese manufacture [J]. *Int J Dairy Technol*, 2010, 57(4): 199–207.
- [7] Degouy E. The low fat cheese challenge [J]. *Dairy Ind Int*, 1993, 59(10): 21–22.
- [8] Drake MA, Boylston TD, Swanson BG. Fat mimetics in low-fat Cheddar cheese [J]. *J Food Sci*, 2010, 61(6): 1267–1271.
- [9] Kip P, Meyer D, Jellema RH. Inulins improve sensoric and textural properties of low-fat yoghurts [J]. *Int Dairy J*, 2006, 16(9): 1098–1103.
- [10] Van HDL, Tunick MH, Malin EL, *et al.* Rheology and melt characterization of low-fat and full fat Mozzarella cheese made from microfluidized milk [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2007, 40(1): 89–98.
- [11] Mitsoulis E, Hatzikiriakos SG. Rolling of mozzarella cheese: Experiments and simulations [J]. *J Food Eng*, 2009, 91(2): 269–279.
- [12] Olivares ML, Zorrilla SE, Rubiolo AC. Rheological properties of mozzarella cheese determined by creep/recovery tests: effect of sampling direction, test temperature and ripening time [J]. *J Texture Stud*, 2009, 40(3): 300–318.
- [13] Yun JJ, Barbano DM, Kindstedt PS, *et al.* Mozzarella cheese: Impact of whey pH at draining on chemical composition, proteolysis, and functional properties [J]. *J Dairy Sci*, 1995, 78(1): 1–7.
- [14] 卢蓉蓉, 李玉美. 以乳清蛋白为基质的脂肪替代品的微粒化研究[J]. *食品与发酵工业*, 2006, 32(9): 39–42.
- Lu RR, Li YM. Granulation of whey protein-based fat substitutes [J]. *Food Ferment Ind*, 2006, 32(9): 39–42.
- [15] GB/T5009.5-2010 食品中蛋白质的测定[S].
GB/T5009.5-2010 Determination of protein in food [S].
- [16] GB/T21375-2008 食品中脂肪含量测定[S].
GB / T21375-2008 Determination of fat content in foods [S].
- [17] GB/T 5009.3-2010 食品中水分的测定[S].
GB / T 5009.3-2010 Determination of moisture in food [S].
- [18] O'reilly CE, Murphy PM, Kelly AL, *et al.* The effect of high pressure treatment on the functional and rheological properties of Mozzarella cheese [J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2002, 3(1): 3–9.
- [19] 孙婵婵, 张民. 超微粉碎-微粒化组合技术对乳清蛋白结构和加工特性的影响[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(12): 263–268.
Sun CC, Zhang M. Effects of micronization-particleification on structure and processing properties of whey protein [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2015, 31(12): 263–268.
- [20] Yun JJ, Hsieh YL, Barbano DM, *et al.* Rheological and chemical properties of Mozzarella cheese [J]. *J Texture Stud*, 1994, 25(4): 411–420.

(责任编辑: 武英华)

作者简介



李红娟, 讲师, 主要研究方向为乳品科学。

E-mail: lihongjuan@tust.edu.cn



于景华, 教授, 主要研究方向为乳品科学。

E-mail: yujinghua@tust.edu.cn