热变性乳清蛋白-黄油乳液凝胶对减钠再制干酪品质的影响

李红娟[1]， 刘婷婷[1]， 李 丹[2]， 杨 晨[1]， 李洪波[1]， 于景华[1*]
([1] 天津科技大学食品科学与工程学院 食品营养与安全国家重点实验室 天津 300457
[2] 妙可蓝多(天津)食品科技有限公司 天津 300462)

摘要 再制干酪中较高的钠含量被越来越多的消费者所关注。再制干酪中钠主要来自于原制干酪及乳化盐。乳化盐主要作用是促进脂肪在体系中均匀分布，使蛋白质、脂肪等形成均匀的网络体系。本研究利用热变性乳清蛋白对黄油进行预乳化处理，形成乳清蛋白-黄油乳液凝胶(WPI-EG)后，将其用于干酪加工，检测减钠再制干酪的油析性、融化性、质构及微观结构等，评价热变性乳清蛋白预乳化工艺对减钠再制干酪品质的影响。结果表明：预乳化工艺中 WPI-EG 的形成能够有效促进再制干酪中脂肪均匀分布，形成均匀的结构和质地。预乳化工艺提高了再制干酪的硬度、胶着度和咀嚼度，降低了干酪的油析性。降低 30%含钠乳化盐的预乳化再制干酪(30%EC)与未预乳化的干酪(NEC)相比，钠含量降低 52.9 mg/100 g，硬度增加 27.1%，油析性降低 0.53 cm。微观结构显示：30%EC 样品脂肪分布及蛋白网络结构更加均匀、致密。本研究结果说明预乳化工艺能够有效降低再制干酪中含钠乳化盐添加量，改善干酪品质。

关键词 再制干酪；预乳化；乳液凝胶；减钠
文章编号 1009-7848(2022)04-0189-07 **DOI**：10.16429/j.1009-7848.2022.04.018

近年来再制干酪因营养丰富受到很多消费者的喜爱，然而，其较高的钠含量成为人们担忧的问题。过量钠摄入会导致人体降低钙的吸收，引起高血压、心脏病等疾病[1]。钠在再制干酪中的来源主要有两部分：一是用作原料的原制干酪，原制干酪来源的钠一般占再制干酪产品的 28%~37%；二是再制干酪加工过程中添加的乳化盐大多为含钠乳化盐，一般占再制干酪产品的 44%~48%。乳化盐是一种化学添加剂，具有分散和水合蛋白质、钙螯合和调节 pH 的作用。再制干酪加工过程中，原制干酪中的副 κ-酪蛋白酸钙的稳定体系被破坏，在乳化盐作用下形成新的乳化稳定体系。

美国食品药物管理局规定低钠干酪钠含量应小于 280 mg/100 g，钠含量在 488~1 200 mg/100 g 之间可称为减钠干酪[2]。目前主要有 3 种降低再制干酪钠含量的方法，一是适当减少含钠乳化盐加入量；二是用钾盐等替代含钠乳化盐；三是使用功能性物质替代含钠乳化盐[3-4]。减钠方法虽然能够替代再制干酪中的部分钠盐，但是会给再制干酪带来品质缺陷，钠盐添加量减少通常会引起干酪风味变差，苦味增加，韧性和脆度降低等负面影响。El-Bakry 等[5]研究了减少乳化盐添加量对再制马苏里拉干酪功能特性及制作工艺的影响，结果显示，乳化盐含量降低时，干酪硬度增加，脂肪球直径和流动性减小，加工时间延长。王慧霞等[6]研究了乳化盐的添加量对再制干酪质构的影响，结果表明乳化盐添加量较低会造成再制干酪组织状态缺陷。如何在减少钠盐的情况下，控制再制干酪形成均匀的乳化体系，是制作减钠盐再制干酪的研究重点。

蛋白质基质的乳液体系已被用于改善风味，保护活性成分和增加生物利用度[7-9]。乳清分离蛋白具有很好的乳化、凝胶特性，还具有很高的营养价值和功能特性[10]。乳清蛋白凝胶通常是一种半固体材料，可用于制作新的食品或改善酸奶、奶酪等产品的质地[11]。Li 等[12]研究显示将乳清蛋白-黄油乳液凝胶颗粒添加到低脂酸奶中使样品的质构特性、持水性等有明显改善。再制干酪是由酪蛋白、乳脂肪、水分及其它小分子物质组成的乳液凝胶体系，乳化盐的作用主要是促进均匀乳化体系的形成。利用乳清蛋白的乳化和凝胶特性，替代部分乳化盐，能够减少再制干酪中乳化盐的添加量，制备减钠或者低钠再制干酪。本研究利用热变性乳清蛋白对黄油进行预乳化处理，形成乳清蛋白-

收稿日期：2021-08-06
基金项目：国家自然科学基金青年科学基金项目(32001626)
作者简介：李红娟(1987—)，女，博士，副教授
通信作者：于景华 E-mail：yujinghua@tust.edu.cn

黄油乳液凝胶(WPI-EG)后,将其用于干酪加工,对减钠再制干酪的油析性、融化性、质构及微观结构等进行检测,评价热变性乳清蛋白预乳化工艺对减钠再制干酪品质的影响,探究利用预乳化工艺及热变性乳清蛋白减少再制干酪中乳化盐的添加量。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

马苏里拉干酪,牧堡(上海)食品科技有限公司;乳清分离蛋白(WPI 9410),新西兰恒天然有限公司;酪蛋白,北京银河路经贸有限公司;黄油,内蒙古华琳乳业有限公司;磷酸三钙、柠檬酸钠、六偏磷酸钠、三聚磷酸钠,深圳市星牧生物工程有限公司。

1.2 仪器与设备

质构仪,英国 Stable Micro Systems;扫描电子显微镜,日本日立公司;激光扫描共聚焦显微镜,德国莱卡仪器有限公司;电热恒温水浴锅,上海一恒科学仪器有限公司;数显高速分散均质机,上海标本模型厂;真空均质乳化机,无锡意凯自动化技术有限公司。

1.3 方法

1.3.1 乳清蛋白-黄油乳液凝胶(WPI-EG)的制备 取适量蒸馏水将 WPI 粉末溶解,在 9 000 r/min 条件下均质 3 min 得到 WPI 分散液,于 55 ℃水浴锅中水合 1 h,然后 90 ℃变性 20 min。取出后加入热的黄油,10 000 r/min 均质 3 min。冷却至室温后用柠檬酸溶液调 pH 值至 6.0,9 000 r/min 均质 3 min,最终得到乳清蛋白-黄油乳液凝胶[11]。

1.3.2 减钠再制干酪的制备 将原制干酪、柠檬酸、乳清蛋白-黄油乳液凝胶、溶解好的乳化盐、酪蛋白放进真空均质乳化机中,抽真空后设置转速 300 r/min 搅拌,待升温至 85 ℃保持 3 min,真空恢复默认值,取出样品冷却。

表 1 减钠再制干酪配方

Table 1 Recipe of sodium reduced processed cheese

样品	原制干酪/g	凝胶/g(WPI/g;水/g;黄油/g)	酪蛋白/g	磷酸三钙/g	柠檬酸钠/g	六偏磷酸钠/g	三聚磷酸钠/g	柠檬酸/g
WEC	180	252(8.7;165.3;78)	72	4.8	3.6	0.72	1.08	3
20%EC	180	252(8.7;165.3;78)	72	4.8	2.88	0.576	0.864	3
30%EC	180	252(8.7;165.3;78)	72	4.8	2.52	0.504	0. 756	3
NEC	180	0(8.7;165.3;78)	72	4.8	3.6	0.72	1.08	3

注:样品总量为 600 g。WEC:黄油全部乳化,不替代含钠乳化盐再制干酪;20%EC:黄油全部乳化,替代 20%含钠乳化盐再制干酪;30%EC:黄油全部乳化,替代 30%含钠乳化盐再制干酪;NEC:黄油不乳化,不替代含钠乳化盐再制干酪。

1.3.3 功能性测定

1.3.3.1 融化性测定 用圆柱形打孔器将样品制作成高 1.0 cm、直径 1.3 cm 的圆柱状,放在 1.5 cm 口径的试管中并标记干酪的初始位置,放入 100 ℃干燥箱中融化 1 h,取出后置室温静置 30 min,量取干酪流动长度,取平均值得到样品融化长度值[13]。

1.3.3.2 油析性测定 将样品切成直径为 1.0 cm、高 1.3 cm 的圆柱状,且纤维方向垂直于样品圆柱体直径,放于铺有滤纸的培养皿中央,然后将其放入 100 ℃的烘箱,加热 1 h 后取出,室温静置 30 min,测量两区滤纸上 4 个不同位置油析印记的直径,计算得到各组样品油脂析出的平均直径。

1.3.4 再制干酪质构测定 质构测定参照 Li 等[13]的方法并稍作修改。将 4 ℃贮存的再制干酪制品切成 1.5 cm×1.5 cm×1.5 cm 的正方体,样品纤维方向垂直于压缩盘。设定质构仪参数:测试前探头下降速度 4.0 mm/s,测试速度 1.0 mm/s,测试后探头回程速度 1.0 mm/s,下压变形 30%,触发力 10 g,探头类型 P/36。

1.3.5 钠含量测定 参照 GB-5009.268-2016《电感耦合等离子体质谱法》[14]测定减钠盐再制干酪中的钠含量。

1.3.6 减钠盐再制干酪微观结构的测定

1.3.6.1 扫描电子显微镜 将再制干酪切成平整的纤薄小片,用戊二醛溶液固定后进行乙醇梯度

洗脱，用氯仿进行脱脂处理，并用乙醇脱水。冷冻干燥后喷金，置于扫描电子显微镜下扫描观察[15]。

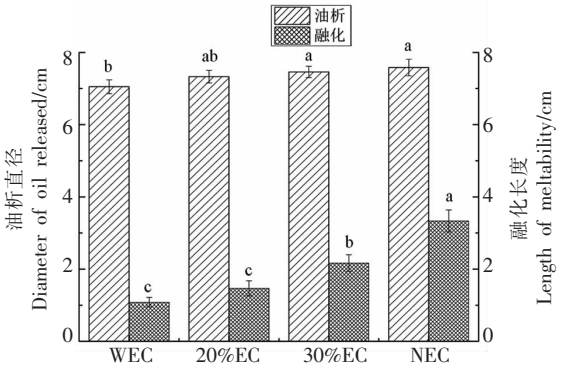
1.3.6.2　激光共聚焦显微镜　将样品切片，用 1 mg/mL 快绿溶液浸泡，染色 5 min，再用 0.1 mg/mL 尼罗红乙醇溶液浸泡，染色 5 min，冲洗后于 40 倍油镜观察。尼罗红与快绿的激发波长分别为 488 nm 与 633 nm，放射波长分别为 500~580 nm 与 650~700 nm[16]。

2　结果与分析

2.1　减钠盐再制干酪的功能特性

干酪油脂析出的主要原因是脂肪从蛋白结构中游离析出[17]。从图 1 可看出，WEC 与 NEC 的油析性有显著性差异（$P<0.05$），主要是由于预乳化工艺过程中乳清蛋白将脂肪包裹形成水包油乳液凝胶，限制了脂肪流动，因此 WEC 的油析直径较小。随着含钠乳化盐添加量的减少，20%EC 和 30%EC 的油析性增大，30%EC 的油析直径为最大值（7.58 cm）。再制干酪制作过程中乳化盐使酪蛋白中的 κ-酪蛋白和疏水基团与水相和脂肪结合，促使脂肪乳化，在乳化盐含量减少时这一作用便会减弱[18]。30%EC 的油析性与 NEC 无显著性差异，说明预乳化工艺可以替代 30%含钠乳化盐。

融化性反映干酪加热后的流动和扩散情况，干酪加热融化主要是由于温度升高引起干酪蛋白网络结构中氢键、疏水及静电作用力降低，蛋白网络结构疏松，同时干酪中固态乳脂肪融化，变为液态，因此加热后干酪内部作用力降低，流动性增强[19]。由图 1 可知，WEC 的融化长度最小，显著小于 NEC，表明预乳化工艺能够增强干酪分子间作用力，限制再制干酪中蛋白和脂肪因加热而引起的运动，从而降低干酪融化性。当 WPI-EG 替代 20%、30%含钠乳化盐时，样品融化性增大，可能是由于乳化盐的减少使样品中的乳化体系不稳定，蛋白质网状结构不紧密，加热后蛋白和脂肪热运动性增强。30%EC 的融化长度比 NEC 小 1.2 cm，说明 WPI-EG 的加入可以改善减钠样品的融化性。制作 WPI-EG 时，乳清蛋白加热变性后暴露出更多的巯基等交联位点，干酪样品形成较紧密的结构，限制了蛋白网络的运动及脂肪融化析出[20]。



注：同指标中不同上标字母表示数值有显著性差异（$P<0.05$）。

图 1　WPI-EG 对样品功能特性的影响

Fig.1　Effect of WPI-EG on the functional characteristics of the sample

2.2　减钠再制干酪质构特性

质构分析可用于判断样品的品质，同时是判定人们对干酪接受程度的重要指标。由表 2 可看出，WEC 样品的硬度值（2 238.58 g）显著高于 NEC（1 942.78 g），表明干酪中的脂肪形态对再制干酪质地有显著影响。脂肪可用作干酪中的增塑剂，使干酪质地更柔软。预乳化工艺中 WPI-EG 的形成，使得脂肪被热变性乳清蛋白包裹，限制了脂肪的自由运动。在干酪加工过程中，WPI-EG 颗粒之间及 WPI-EG 同酪蛋白之间会形成新的交联位点，使再制干酪硬度增加[15,21]。WEC 与 20%EC 样品相比，硬度无显著性差异（$P>0.05$），而 30%EC 样品的硬度值显著增大（$P<0.05$），为 2 664.81 g，说明 WPI-EG 替代部分含钠乳化盐时，样品硬度值随着 WPI-EG 替代量的增加而增大。乳化盐能使酪蛋白分子间作用力增强，蛋白质网络结构均匀，乳化盐中的钠离子对蛋白质胶束起着松散、溶解等作用，当含钠乳化盐减少时，蛋白胶束的松散作用减弱，干酪硬度反而增大[22]。WPI-EG 中的蛋白质经热变性处理后与脂肪作用位点增多，使凝胶结构更致密[20]。WPI-EG 替代部分含钠乳化盐后，样品的硬度增大，表明 WPI-EG 替代 30%含钠乳化盐可得到较好的质构特性。

样品的胶着度与咀嚼度变化趋势与硬度一致，30%EC 时为最大值，分别为 1 462.83 g 和 1 064.70 g。含钠乳化盐的减少使干酪硬度增加，添加 WPI-EG 使脂肪乳化且与蛋白相互作用增

大,胶着度增大。咀嚼度为样品从咀嚼到吞咽所需的功,适当的咀嚼度在食用干酪时口感较好。乳化盐添加量减少导致干酪咀嚼度减小,而 30%EC 咀嚼度增大时由于预乳化工艺改善了样品中蛋白与脂肪的作用。样品的弹性、黏聚性和回复性均无显著性差异。

表 2 WPI-EG 对减钠盐再制干酪质构特性的影响

Table 2 Effect of WPI-EG on textural characteristics of cheese prepared with reduced sodium salt

样品	硬度/g	弹性	黏聚性	胶着度	咀嚼度	回复性
WEC	2 238.58 ± 32.03[b]	0.75 ± 0.013[a]	0.54 ± 0.006[a]	1 216.77 ± 31.98[b]	912.26 ± 37.76[b]	0.18 ± 0.003[a]
20%EC	2 319.62 ± 19.24[b]	0.75 ± 0.011[a]	0.53 ± 0.023[a]	1 234.80 ± 64.62[b]	919.62 ± 61.15[b]	0.17 ± 0.011[a]
30%EC	2 664.81 ± 78.29[c]	0.73 ± 0.003[a]	0.55 ± 0.011[a]	1 462.83 ± 67.93[c]	1 064.70 ± 53.43[c]	0.19 ± 0.01[a]
NEC	1 942.78 ± 65.92[a]	0.73 ± 0.018[a]	0.56 ± 0.004[a]	1 081.10 ± 29.50[a]	787.33 ± 2.0[a]	0.18 ± 0.005[a]

注:字母在同一列中相同表示差异不显著,不同表示差异显著($P < 0.05$)。

2.3 减钠再制干酪钠含量

由图 2 可知,WEC 与 NEC 的钠含量无显著差异,分别为 431.25 mg/100 g 和 413.07 mg/100 g,说明 WPI-EG 的添加不影响钠含量。当 WPI-EG 替代不同含钠乳化盐时,样品的钠含量之间存在显著差异,20%EC 的钠含量为 413.07 mg/100 g,30%EC 的钠含量最低,为 360.21 mg/100 g。与 NEC 相比,30%EC 的油析直径小,硬度较高,组织结构紧密,脂肪与蛋白分布较为均匀,说明 WPI-EG 替代 30%含钠乳化盐可以达到较好的状态。

再制干酪中乳化盐加入量与成品里的蛋白质含量、蛋白质种类、钙含量及乳化盐种类等密切相关。蛋白质含量越高,再制干酪需要的乳化盐添加量越高。不同蛋白质种类对乳化盐添加量需求也有较大差异,酪蛋白含量越高,乳化盐添加量越大[23]。另外,乳化盐种类及离子交换能力强弱也影响其在再制干酪中的添加量[24]。本试验中 4 个样品蛋白含量约为 19 g/100 g,脂肪含量为 20 g/100 g,目前市场上与本产品蛋白、脂肪含量接近的再制奶酪中钠含量一般为 700~1 500 mg/100 g,30% EC 样品的钠含量为 360.21 mg/100 g,且能保持样品较好的体系状态,表明预乳化工艺对干酪乳化体系状态有明显改善作用。

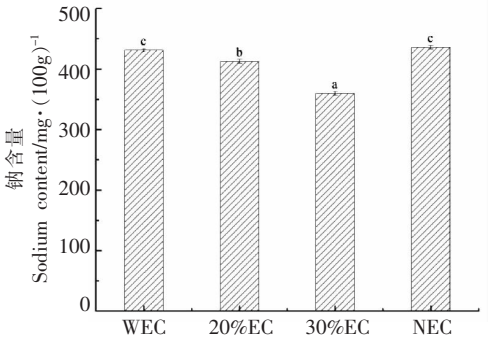


图 2 各试验组样品钠含量

Fig.2 Sodium content in each experimental group

2.4 减钠再制干酪的微观结构

再制干酪为脂肪均匀分散在酪蛋白网络结构中的体系。图 3 为样品在 1 500 倍数下扫描电子显微镜的观察结果,其中孔洞为脂肪曾占据的位置。可以看出,WEC 与 NEC 相比孔洞大小较为均一,且蛋白质胶束也分布均匀,呈现出较好的体系状态。而 NEC 中脂肪呈现明显的聚集,蛋白交联也较为紧密,说明 WEC 经预乳化工艺后脂肪与蛋白结合形成致密的网状结构。乳清蛋白分子在热变性过程中暴露出疏水基团和巯基[25],促进蛋白

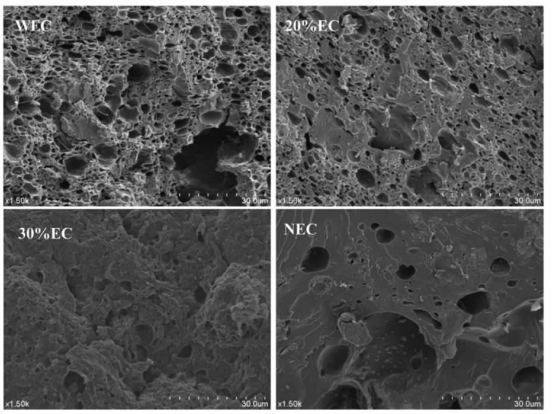


图 3 减钠盐再制干酪制品扫描电子显微镜结果(放大倍数 1 500×)

Fig.3 Scanning electron microscope results of cheese products made from reduced sodium salt (Magnification 1 500×)

质聚集，使再制干酪中的酪蛋白与热变性乳清蛋白进一步结合。这说明经预乳化工艺后再制干酪的蛋白质结构更加紧密[26]。当 WPI-EG 替代部分含钠乳化盐时，20%EC 蛋白质发生比较明显的聚集，30%EC 脂肪分布相对于 WEC 较不均匀，说明含钠乳化盐的减少对样品结构有显著影响。20% EC 和 30%EC 的网络结构整体上比 NEC 均匀，表明使用预乳化工艺替代 30%含钠乳化盐仍能使样品保持较良好的结构体系。

2.5　激光共聚焦扫描显微镜

图 4 为不同减钠再制干酪的激光共聚焦扫描结果，图中绿色为脂肪，红色为蛋白质，该结果反映样品融化性和油脂析出情况。NEC 中的脂肪聚集明显，且分布不均匀，说明乳化盐添加量的减少导致蛋白与脂肪作用减弱。而 WEC 中的脂肪球颗粒较小，均匀地镶嵌在蛋白质基质中，蛋白质基质也分布均匀，与 NEC 形成鲜明对比，表明含钠乳化盐添加量减少时，采用预乳化工艺制备 WPI-EG 能够改善蛋白和脂肪的分布状况。WPI-EG 中的乳脂肪全部以乳化形式用于再制干酪的加工，使样品中脂肪的分布更加均匀，改善了因乳化盐减少而引起的乳化效果降低。当 WPI-EG 替代 20%含钠乳化盐时，样品出现脂肪聚集现象，30% EC 也出现一定脂肪聚集现象，而其脂肪分布相较于 NEC 样品更加均匀，表明通过预乳化工艺形成的 WPI-EG 对样品的蛋白与脂肪结合和分布状况有显著改善作用。

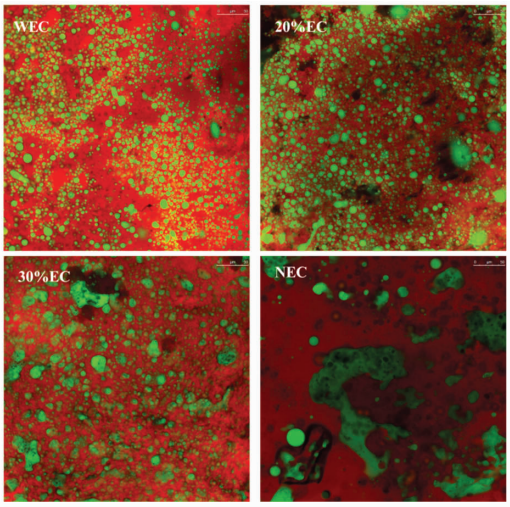


图 4　减钠再制干酪激光共聚焦扫描结果

Fig.4　Laser confocal scanning results of sodium reduced processed cheese

3　结论

降低再制干酪中的钠含量可以促进干酪产业的发展，尤其针对幼儿及儿童的再制干酪产品，降低钠盐含量极为必要。本研究证明将乳清蛋白及黄油通过预乳化加工为 WPI-EG，能够改善减钠再制干酪的品质。30%EC 样品与 WEC 样品相比，硬度明显增大，钠含量显著降低，微观结构显示脂肪与蛋白分布相对于未乳化干酪结构有明显改善。以上结果表明，在生产减钠再制干酪时，以热变性乳清蛋白为天然乳化剂进行预乳化替代 20% 或 30%含钠乳化盐，能够保持产品品质，对减钠再制干酪的生产具有实际意义。

参　考　文　献

[1] TUOMILEHTO J, LINDSTRÖM J, ERIKSSON J G, et al. Prevention of type 2 diabetes mellitus by changes in lifestyle among subjects with impaired glucose tolerance[J]. New England Journal of Medicine, 2001, 344(18): 1343-1350.

[2] 屈倩. 筛选脱苦发酵剂和风味添加剂制作低钠 Cheddar 干酪[D]. 哈尔滨：东北农业大学，2018.
QU Q. Screening of debittering starter and flavor additives to make low-sodium Cheddar cheese[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2018.

[3] ČERNÍKOVÁ M, BUŇKA F, POSPIECH M, et al. Replacement of traditional emulsifying salts by selected hydrocolloids in processed cheese production [J]. International Dairy Journal, 2010, 20(5): 336-343.

[4] CHAVHAN G B, KANAWJIA S, KHETRA Y, et al. Effect of potassium-based emulsifying salts on sensory, textural, and functional attributes of low-sodium processed Mozzarella cheese[J]. Dairy Science & Technology, 2015, 95(3): 265-278.

[5] EL-BAKRY M, DUGGAN E, O'RIORDAN E, et al. Effects of emulsifying salts reduction on imitation cheese manufacture and functional properties[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 100 (4): 596-603.

[6] 王慧霞，范贵生，白晓光，等. 不同乳化盐对再制干酪质构的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版)，2009，30(2)：165-168.
WANG H X，FAN G S，BAI X G，et al. Effects of different emulsifying salts on the texture of processed cheese[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition)，2009，30(2)：165-168.

[7] MAO L，MIAO S，YUAN F，et al. Study on the textural and volatile characteristics of emulsion filled protein gels as influenced by different fat substitutes [J]. Food Research International，2018，103：1-7.

[8] LI X，WANG X，XU D，et al. Enhancing physicochemical properties of emulsions by heteroaggregation of oppositely charged lactoferrin coated lutein droplets and whey protein isolate coated DHA droplets[J]. Food Chemistry，2018，239：75-85.

[9] GEREMIAS -ANDRADE I M，SOUKI N P，MORAES I C，et al. Rheological and mechanical characterization of curcumin -loaded emulsion -filled gels produced with whey protein isolate and xanthan gum[J]. Lwt -Food Science and Technology，2017，86：166-173.

[10] 包华燕. 基于乳清分离蛋白乳化/凝胶的营养活性成分共包埋研究[D]. 无锡：江南大学，2020.
BAO H Y. Study on the co-encapsulation of nutritional active ingredients based on whey protein isolate emulsification/gel[D]. Wuxi：Jiangnan University，2020.

[11] YAN C，FU D，MCCLEMENTS D J，et al. Rheological and microstructural properties of cold -set emulsion gels fabricated from mixed proteins：Whey protein and lactoferrin[J]. Food Research International，2019，119：315-324.

[12] LI H J，LIU T T，ZOU X，et al. Utilization of thermal -denatured whey protein isolate -milk fat emulsion gel microparticles as stabilizers and fat replacers in low-fat yogurt[J]. LWT-Food Science and Technology，2021，150：112045.

[13] LI H J，YU H M，LIU Y，et al. The use of of inulin，maltitol and lecithin as fat replacers and plasticizers in a model reduced - fat mozzarella cheese - like product[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture，2019，99(12)：5586-5593.

[14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会，国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中多元素的测定：GB 5009.268-2016[S]. 北京：中国标准出版社，2016：1-4.
State Health and Family Planning Commission of the people´s Republic of China，State Food and Drug Administration. Determination of multi elements in food according to the national food safety standard：GB 5009.268-2016[S]. Beijing：China Standards Press，2016：1-4.

[15] LI H J，QIN A R，YU H M，et al. Effects of pre-emulsification with heat-treated whey protein on texture and microstructure of processed cheese [J]. LWT -Food Science and Technology，2020，124：109185.

[16] ŽOLNERE K，ARNOLD M，HULL B，et al. Cheese proteolysis and matrix disintegration during *in vitro* digestion [J]. Food Structure，2019，21：100114.

[17] EL-BAKRY M，DUGGAN E，O´RIORDAN E，et al. Effect of cation，sodium or potassium，on casein hydration and fat emulsification during imitation cheese manufacture and post-manufacture functionality[J]. LWT -Food Science and Technology，2011，44(10)：2012-2018.

[18] BOWLAND E，FOEGEDING E. Small strain oscillatory shear and microstructural analyses of a model processed cheese[J]. Journal of Dairy Science，2001，84(11)：2372-2380.

[19] 宗学醒，闫清泉，李志国，等. 不同酪蛋白对块状再制干酪品质的影响[J]. 食品研究与开发，2019，40(12)：63-67 .
ZONG X X，YAN Q Q，LI Z G，et al. Effects of different casein on the quality of block processed cheese[J]. Food Research and Development，2019，40(12)：63-67.

[20] 李红娟，刘婷婷，邹璇，等. 乳清蛋白-黄油乳液凝胶对低脂酸奶理化特性及品质的影响[J]. 食品与发酵工业，2021，47(7)：71-77.
LI H J，LIU T T，ZOU X，et al. The effect of whey protein -butter emulsion gel on the physical and chemical properties and quality of low-fat yogurt[J]. Food and Fermentation Industries，2021，47(7)：71-77.

[21] BRICKLEY C，AUTY M，PIRAINO P，et al. The effect of natural Cheddar cheese ripening on the functional and textural properties of the processed cheese manufactured therefrom [J]. Journal of Food

Science, 2007, 72(9): C483-C490.

[22] 关龙, 王睦, 丁健, 等. 再制奶酪生产原理综述[J]. 中国乳业, 2020(1): 73-78
GUAN L, WANG M, DING J, et al. Summary of the production principle of processed cheese[J]. China Dairy Industry, 2020(1): 73-78.

[23] MIZUNO R, LUCEY J. Effects of two types of emulsifying salts on the functionality of nonfat pasta filata cheese[J]. Journal of Dairy Science, 2005, 88(10): 3411-3425.

[24] SHIRASHOJI N, JAEGGI J, LUCEY J. Effect of trisodium citrate concentration and cooking time on the physicochemical properties of pasteurized process cheese[J]. Journal of Dairy Science, 2006, 89(1): 15-28.

[25] WU J, SHI M, LI W, et al. Pickering emulsions stabilized by whey protein nanoparticles prepared by thermal cross-linking[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2015, 127: 96-104.

[26] KHARLAMOVA A, NICOLAI T, CHASSENIEUX C. Heat-induced gelation of mixtures of casein micelles with whey protein aggregates[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 92: 198-207.

Effects of Heat Denatured Whey Protein-butter Emulsion Gel on the Quality of Sodium Reducing Cheese

Li Hongjuan[1], Liu Tingting[1], Li Dan[2], Yang Chen[1], Li Hongbo[1], Yu Jinghua[1*]

([1]*College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science and Technology, State Key Laboratory of Food Nutrition and Safety, Tianjin 300457*

[2]*Miao Ke Lan Duo (Tianjin) Food Technology Co., Ltd., Tianjin 300462*)

Abstract More and more consumers are concerned about the high sodium content in processed cheese. The sodium in processed cheese mainly comes from raw cheese and emulsified salt. The main function of emulsified salt is to promote the uniform distribution of fat in the system and form a uniform network system of protein and fat. In this study, thermal-denatured whey protein was used to pre-emulsified butter to form a whey protein-butter emulsion gel (WPI-EG), which was then used in cheese processing. The free oil released extent, meltability, texture and microstructure of sodium reducing processed cheese were detected to evaluate the effect of the pre-emulsification process on the quality of sodium reducing processed cheese. The results showed that the formation of WPI-EG in the pre-emulsification process could effectively promote the uniform fat distribution in the processed cheese, and form the uniform structure and texture. The pre-emulsification process improved the hardness, stickiness and chewiness of the processed cheese, and led to lower oil extraction of the cheese. Compared with the non-pre-emulsified cheese (NEC), the pre-emulsified processed cheese (30%EC) with 30% less sodium emulsified salt decreased the sodium content by 52.9 mg/100 g, the hardness increased by 27.1%, the oil extraction property decreased by 0.53 cm. The microstructure showed that the fat distribution and protein network structure of 30%EC were more uniform and dense. This study showed that the pre-emulsification process could effectively reduce the amount of sodium containing emulsified salt in the processed cheese and improve the quality of the cheese.

Keywords processed cheese; pre-emulsification; emulsion gel; sodium reduction