

改性大豆磷脂乳液对煮制面条黏连的抑制作用

常战战^{1,2}, 王纪鹏^{1,2}, 刘云祎^{1,2}, 张龙涛^{1,2*}, 缪松^{2,3}, 郑宝东^{1,2}

(¹ 福建农林大学食品科学学院 福州 350002

² 中国-爱尔兰国际合作食品物质学与结构设计研究中心 福州 350002

³ Teagasc 食品研究中心 爱尔兰科克 999014)

摘要 为延缓煮制面条的黏连,采用改性大豆磷脂制备乳液,测定乳液浸泡后面条表面黏性、质构特性、色泽、感官等指标,研究乳液浸泡对煮制面条黏连和食用品质的影响;测定乳液摩擦系数、粒径等指标,分析乳液浸泡影响煮制面条黏连的机制。结果表明:面条煮熟后在上述乳液中浸泡,可显著($P<0.05$)降低面条的表面黏性,改善煮制面条间的黏连,且随油相质量分数的增加,乳液液滴粒径和浓度增大,摩擦系数降低,降黏连效果显著。浸泡处理后乳液液滴附着在面条表面,通过滚动轴承机制提高面条表面光滑度,防止黏连。随着放置时间的延长,面条表面水分减少,乳液液滴聚集形成油膜,保持其表面的低黏性。此外,煮熟后的面条在乳液中浸泡,可显著($P<0.05$)提高面条的亮度,延缓食用品质的下降速度。

关键词 煮制面条;黏连;乳液;摩擦系数;食用品质

文章编号 1009-7848(2022)10-0199-11 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2022.10.022

随着我国社会生活节奏的加快,主力消费群体的年轻化,外卖快餐已成为食品消费的主要方式之一。面条是中国的传统主食之一,其中拌面可通过酱料赋予其多变的风味,口感爽滑而深受广大消费者的喜爱。面条煮后易黏连,在配送过程中黏连成块,导致外观、食用品质严重降低,已成为制约其销售,影响消费者享用的主要问题。

在烹煮结束捞出后的短时间内,面条表面携带的水分的润滑作用可抑制面条间的黏连;随着放置时间的延长,面条表面的水分散失,润滑作用减弱,表面糊化淀粉浓度增加,导致面条表面的黏性显著增加,发生黏连^[1-2]。本团队研究发现,添加单甘酯和优化制面工艺可改善面筋网络结构,抑制淀粉颗粒溶出,降低煮制面条间的黏连^[3-4]。传统烹调方法中面条过冷水,可洗去烹煮过程中溶出到面条表面的淀粉颗粒,在短时间内抑制面条间因淀粉颗粒凝胶作用而导致的黏连^[5],然而,面条温度降低,影响其风味。拌制食用油也可显著降低煮制面条间的黏连^[6],然而会增加面条的油腻感,

导致消费者摄入过多的脂肪,并增加制作成本。

食品加工时,常将油脂分散到水中,形成乳液后进行加工,以提高油脂分散性和稳定性,降低油脂摄入量。同时,乳液具有良好的润滑作用,水包油乳液的摩擦系数显著低于水^[7],在一定范围内,随油相质量分数的增加,乳液摩擦系数呈现降低的趋势^[8]。20%和50%油相的乳液和纯油样品间的摩擦系数几乎没有区别^[9]。推测乳液浸泡处理可增加面条表面的润滑度,改善煮制面条的黏连。目前尚未见相关研究报道。

本试验中选用改性大豆磷脂(Modified soybean phospholipid, MSP, CNS 号 10.019)为乳化剂,制备不同油相质量分数的乳液,测定面条的表观状态、表面黏性、色泽、质构特性和感官品质,研究 MSP 乳液浸泡对煮制面条黏连和食用品质的影响;分析乳液的摩擦系数和粒径,研究乳液抑制面条黏连的机理。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

中筋面粉(蛋白质含量 10.38%,水分 13.70%,淀粉 64.69%),中粮(郑州)面业有限公司产品;改性大豆磷脂,河南四维生物技术有限公司产品;食盐,江苏井神盐业股份有限公司产品;大豆油,泉州福海粮油工业有限公司产品;亚甲基蓝、苏丹红

收稿日期: 2021-10-09

基金项目: 福建省星火计划项目(2020S0024);福建省对外合作项目(2020010011);福建省科技经济融合服务平台项目(KJG20006A)

作者简介: 常战战(1995—),男,硕士生

通信作者: 张龙涛 E-mail: zlongtao@fafu.edu.cn

Ⅲ试剂,上海麦克林生化科技有限公司。

1.2 设备与仪器

HM755 海氏厨师机, 青岛汉尚电器有限公司;FKM-240 型俊媳妇压面机, 永康市富康电器有限公司;分散机, 厦门精艺兴业科技有限公司;SCIENTZ-950E 超声波细胞粉碎机, 宁波新芝生物科技股份有限公司;HH-6 数显恒温水浴锅, 常州国华电器有限公司;TA-XT plus 质构仪, 英国 stable micro systems 公司;ADCI 系列全自动色差计, 北京辰泰克仪器技术有限公司;Mastersizer3000 激光粒度仪, 英国 Malvern;X-cite series 120 荧光电子显微镜;体式显微镜, 苏州神鹰光学有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 乳液的制备 将 MSP 溶于水制备水相, MSP 质量分数为 5%。将大豆油加入水相中, 在室温下搅拌 5 min, 油相质量分数为 1%, 3%, 5%, 10% 和 20%, 10 000 r/min 均质 5 min 后超声 10 min 制备乳液, 超声功率 300 W, 每次处理超声持续 3 s, 停 3 s。

1.3.2 乳液类别的鉴定 通过稀释法和染色法鉴别乳液的类型。

稀释法: 取 5 mL 乳液分别加到 25 mL 水与 25 mL 大豆油中, 若立即与水形成均一液体, 则乳液为 O/W 乳液; 若立即与大豆油相溶在一起则为 W/O 型乳液。

染色扩散法: 将水溶性的亚甲基蓝和油溶性的苏丹红Ⅲ溶液分别滴加到乳液中, 染色液质量浓度均为 1 mg/mL。观察两种染色剂在乳液中的扩散速度, 若亚甲基蓝的扩散速度快, 则为 O/W 型; 若苏丹红Ⅲ的扩散速度快, 则为 W/O 型。

1.3.3 乳液粒径的测定 测试温度 25 ℃, 设置激光粒度分析仪折射率参数: 水相为 1.33, 大豆油油滴为 1.45。将样品混合均匀后加入样品池中, 使遮光率在 10%~15% 之间, 每个样品自动测量 3 次, 取平均值。样品的平均粒径用体积平均粒径 d_{43} 表示^[10]。

1.3.4 乳液微观结构的光学显微镜观察 取少量新鲜乳液置于载玻片的中心, 盖上盖玻片, 光学显微镜 40 倍镜下观察。

1.3.5 乳液色泽的测定 乳液色泽的测定: 参照

Chan 等^[11]的方法并略有改动。将 30 mL 新鲜制备的乳液样品转移到培养皿 (直径 60 mm, 高 30 mm) 中, 将其放在色度计的测量透镜上, 用白色瓷砖覆盖。 L^* 、 a^* 、 b^* 分别表示乳液的亮度、红绿值和黄蓝值。每个样品重复测定 6 次, 取其平均值。

1.3.6 摩擦学行为的测定 采用 Chen 等^[12]实验室自主设计的摩擦装置测定乳液的摩擦学行为。摩擦装置连接 1 台质构仪, 1 个与循环水浴系统相连的不锈钢底座, 1 个底部有 3 个球形接触面 (直径约 5 mm) 的不锈钢载物体 (总质量 56.08 g), 1 个勾型探头和 1 个阻止水分蒸发的保护罩, 其中不锈钢底座放在聚二甲硅氧烷 (PDMS) 中。用质构仪实时记录力矩曲线, 对该曲线进行处理、计算得到摩擦系数。

摩擦系数的测定参照蔡慧芳^[13]和 Chong 等^[14]的方法并略有改动。具体操作步骤: 温度设置 50 ℃, 由和不锈钢底座相连的循环水浴控制, 用乙醇和去离子水冲洗 PDMS 与球盘。摩擦力的测定速度从高速到低速, 总载荷为 0.57 N。质构仪参数设置: 选择 return to start, 测试模式为拉伸 (Tension), 输入摩擦运动速度 (本试验采用 0.1, 0.3, 0.6, 1, 3, 6, 10 mm/s 和 20 mm/s 8 个速度), 输入运动距离 10 mm, 触发试验记录选项为 Button, 并设置最终归回至原来位置。

$$\mu = \frac{F}{W} \quad (1)$$

式中, μ ——摩擦系数; F ——摩擦力 (N); W ——恒定的法向应力, 0.57 N。

1.3.7 面条的制备 称取 500 g 面粉于和面机中, 将 5 g 食用盐溶于 175 g 去离子水中, 和面 6 min 后形成均匀面絮, 将面絮装入自封袋中并室温条件下熟化 20 min, 然后压延处理, 形成 2 mm 厚的长条状薄面带, 二次熟化 10 min, 使面片颜色均匀, 最后切条, 制备宽、厚各 2 mm 的生鲜面条。

1.3.8 煮制面条表观形态的观察 面条样品浸泡处理: 取 8 份同等质量 (25 g) 的生鲜面条, 在 500 mL 微沸水中煮制 5 min, 结束后, 其中一组未作处理, 沥水 5 min 后置于塑料小碗中作为空白组, 其余面条捞出后分别在去离子水、MSP 水溶液和乳液中浸泡 30 s, 取出沥水 5 min, 置塑料小碗中。放置 60 min 后用筷子挑起拍照, 观察面条黏连的情

况。使用体视显微镜观察面条的表面形态。

1.3.9 煮制面条表面黏性的测定 面条表面黏性的测定参照刘会晓等^[9]的方法并略有改动。选用质构仪 Cooked Lasagne 程序,直径 36 mm 的圆柱型探头。仪器设置为:测试前、测试和测试后速度分别为 1,0.5,5.0 mm/s;作用力 1 000 g;返回距离 10 mm;接触时间 2 s。测定时将浸泡处理过的煮制面条置测试板上整齐排列,其面积大于探头面积。每个样品重复测定 6 次,取其平均值。

1.3.10 面条色泽的测定 浸泡处理的面条样品并排置于保鲜膜上,包裹后用自动色差仪测定,以

L^* , a^* 和 b^* 表示面条的色泽。每个样品重复测定 6 次,取其平均值。

1.3.11 煮制面条质构特性的测定 面条样品浸泡处理后,质构特性的测定参照 Zhu 等^[15]的方法并略有改动。使用 P36R 圆柱形探头,参数设定:测试前、测试和测试后速度均为 2 mm/s,触发力 5 g,应变 70%,时间间隔 2 s。每组样品重复测定 6 次,取其平均值。

1.3.12 感官评定 煮制面条浸泡处理后对其进行感官评定,参照 Wang 等^[2]的方法,评分标准参照表 1。

表 1 煮制面条感官评分标准

Table 1 Score criterion of cooked noodles in sensory evaluation

项目	满分	评分标准
色泽	10	面条的颜色、亮度。颜色为白或奶黄色,亮度好:8.5~10分;亮度一般:6~8.4分;颜色暗、亮度差:1~6分
外观状态	10	面条表面的光滑和膨胀程度。表面光滑细密:8.5~10分;表面较光滑、较细密:6~8.4分;表面粗糙且发生变形、膨胀:1~6分
适口性	20	咬断面条所需要的力的大小。咬力适中:17~20分;微硬或微软:12~17分;过硬或过软:1~12分
韧性	25	咀嚼时的咬劲及弹性大小。有咬劲且弹性好:21~25分;较有咬劲、较有弹性:15~21分;咬紧差、缺乏弹性:1~15分
黏性	25	咀嚼时的黏牙程度。不黏牙、爽口:21~25分;稍黏牙、较爽口:15~21分;样品发黏、爽口感差:10~15分
光滑性	5	品尝时口感的光滑程度。口感光滑:4.3~5分;较光滑:3~4.2分;不光滑:1~3分
食味	5	样品的味道。麦香味浓郁:4.3~5分;麦香味较浓郁、无异味:3~4.3分;有异味:1~3分

1.3.13 数据处理 所有测量至少重复 3 次,结果表示为“平均值±标准差”。使用 Origin Pro 8.6 作图,使用 SPSS 20 通过单向方差分析对数据进行分析。Duncan 检验用于检验平均值间差异的显著性, $P<0.05$ 表示差异性显著。

2 结果与分析

2.1 乳液类别鉴定结果

通过观察乳滴在水和油中的分散情况以及水溶性、油溶性染料在乳液中的扩散速度来鉴别乳液的类型。结果发现,加到水中的乳液液滴快速分散,呈半透明乳液形态;加到大豆油中的乳液液滴聚集并沉在大豆油底部。另外,将水溶性的亚甲基蓝和油溶性的苏丹红 III 溶液分别滴加到乳液中,

发现亚甲基蓝水溶液扩散速度较快。由此可知,本试验所制备的乳液为 O/W 型乳液。

2.2 乳液粒径和结构

图 1a 为不同油相质量分数乳液粒径分布图,所有乳液样品粒径曲线呈双峰分布,第 1 个峰粒径在 0.3~0.8 μm ,第 2 个峰粒径在 1~5 μm 之间。双峰分布可能是由于乳液中存在一些磷脂囊泡,这些囊泡在显微镜中观察不到(图 2)^[16]。乳液粒径的大小决定其稳定性。由图 1b 可知,在低浓度范围,随着油相质量分数的增加,乳液粒径无显著变化,直至油相增至 10% 以上,乳液粒径显著增加。图 2 为 40 倍光学显微镜下乳液的微观结构。由图 2a~2e 可知,所有乳液微观结构均呈圆形液滴状,随着油相质量分数的增加,乳液液滴浓度增加,液

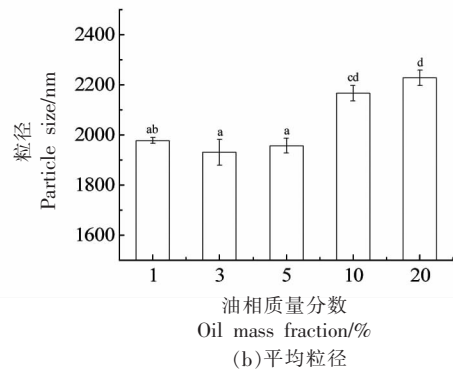
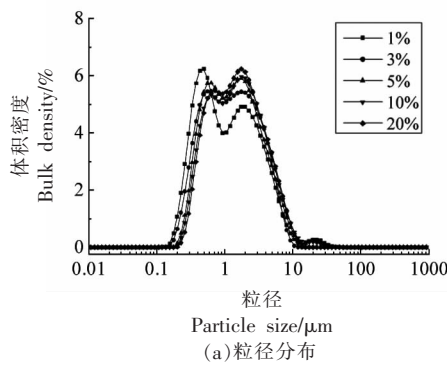


图1 油相质量分数对乳液粒径分布和平均粒径的影响

Fig.1 Effect of oil mass fraction on the particle size distribution and average particle size of emulsion

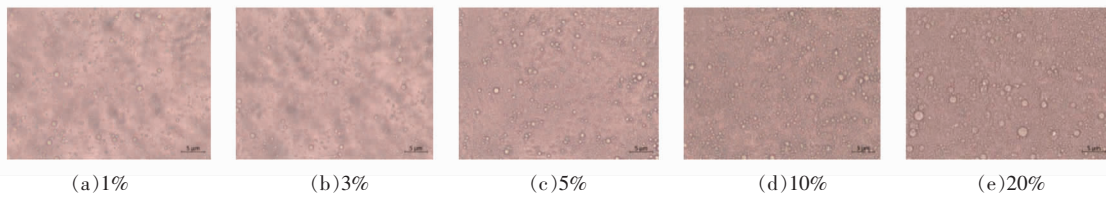


图2 乳液光学显微结构

Fig.2 Optical microscopy images of emulsion

滴排列更加致密,且乳液液滴粒径逐渐增加,这与牛付阁等^[7]的研究结果相似。

2.3 乳液色泽

由图 3a 可知,MSP 水溶液以及 1%油相质量

分数的乳液呈淡黄色,随着乳液中油相质量分数的增加,乳液逐渐转变成乳白色。

乳液的 L^* 、 a^* 、 b^* 如图 3b、3c、3d 所示。随着乳液中油相质量分数的增加,乳液 L^* 呈上升的趋

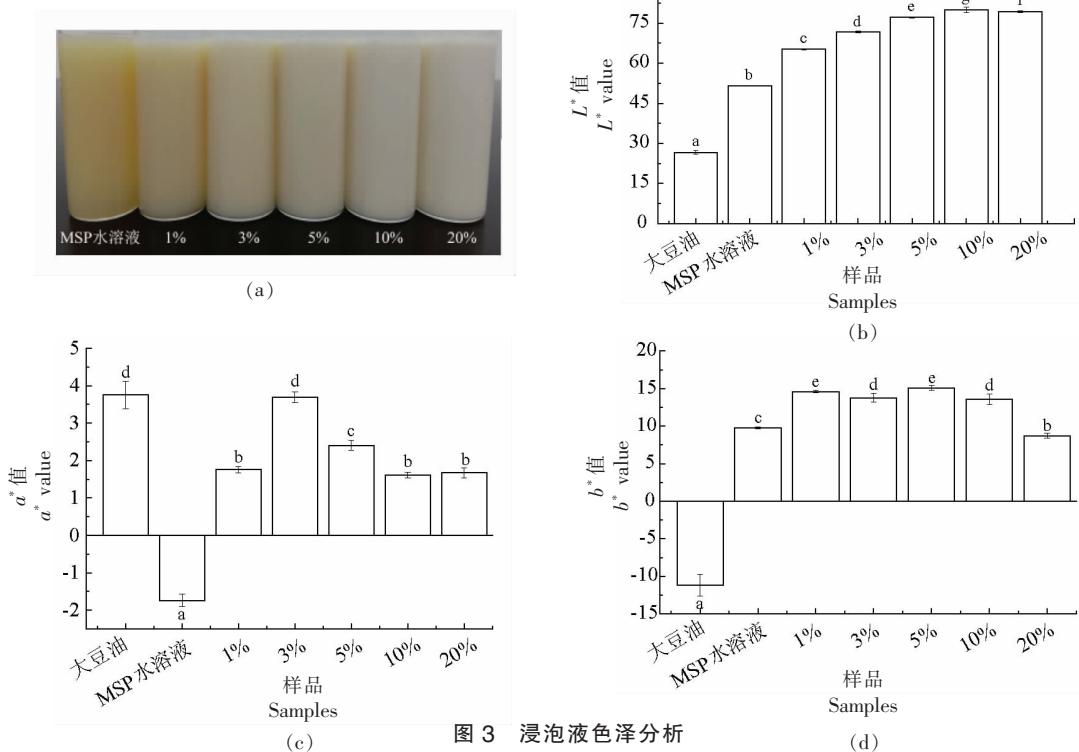


图3 浸泡液色泽分析

Fig.3 Color analysis of soaking liquid

势, a^* 先增大后降低, 在 3% 油相质量分数时达到最大值, b^* 降低。液滴直径和浓度显著影响乳液的色泽。当粒径为 $0.2 \mu\text{m}$ 时, 乳液的 L^* 最大, 而粒径增大或减小到该值以下时, 乳液 L^* 降低^[18]。Chung 等^[19]指出粒径的减小降低了光的反射, 从而降低了乳液的 L^* 。此外, 乳液的 L^* 随液滴浓度的增加而急剧增加^[20]。

2.4 浸泡液摩擦系数

样品的平均摩擦系数曲线见图 4。去离子水、MSP 水溶液和乳液的摩擦系数随夹带速度的增加而升高。乳液摩擦系数的增加主要是由于乳液粒径较大, 测试过程中吸收到接触区中的乳液液滴较少, 未能形成稳定的润滑膜所致^[21]。随着油相质量分数的增加, 接触区均已用连续油进行充分润滑, 摩擦系数随夹带速度的增加, 升高的速率减缓^[22]。低摩擦系数表明样品具有较好的润滑作用。乳液的润滑与分散的脂肪或油脂的体积分数具有很高的相关性, 受脂肪液滴数量和大小的影响^[23-24]。

由图 4 可知, 在相同的测试速度下, 随着油相质量分数的增加, 乳液的摩擦系数呈降低的趋势, 与 Upadhyay 等^[8]和 Taylor 等^[9]的研究结果一致。Bellamy 等^[25]指出乳液液滴聚结, 可导致大液滴的形成以及在接触区表面上形成润滑膜, 从而降低乳液摩擦系数。另外, 粒径小、抗剪切能力强的球形液滴, 可通过减小表面之间的接触面积并更改

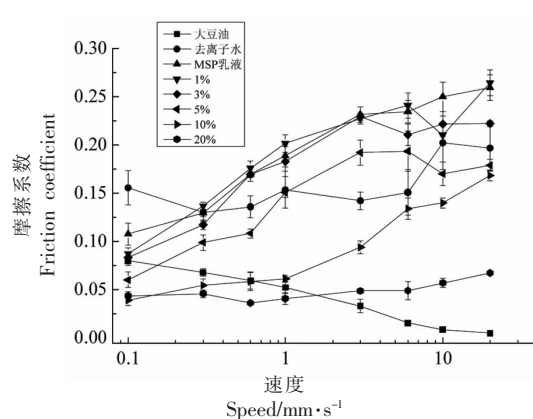


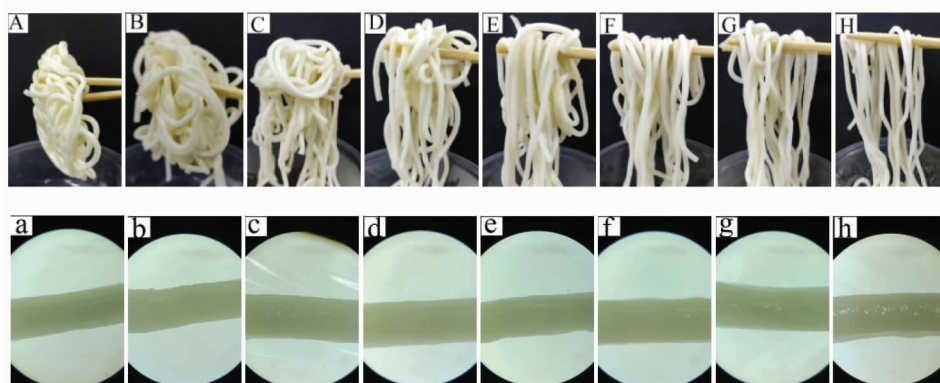
图 4 浸泡液的摩擦系数

Fig.4 Friction coefficient of soaking liquid

从滑动到滚动的局部相对运动来减少摩擦 (滚珠轴承效应)^[26]。此外, 去离子水的润滑作用要优于 MSP 水溶液和 1%、3% 油相质量分数的乳液。

2.5 乳液浸泡对煮制面条黏连的影响

面条烹煮后长时间放置易黏连成“坨”, 发生结块(图 5A), 严重降低面条的食用品质。在凉水中冲洗可提高面条的光滑爽口性, 在一定程度上防止面条黏连, 然而, 长时间放置(60 min)后面条仍会黏连在一起(图 5B)。MSP 水溶液在一定程度上抑制面条黏连, 乳液浸泡处理可显著增加面条表面的光滑度, 改善煮制面条间的黏连, 且乳液中油相质量分数越高, 效果越显著(图 5C~5H)。这主要是由于乳液的摩擦系数较低(图 4), 乳液浸泡处理可显著增加面条的表面润滑度, 从而改善煮



注: A~H 为煮制面条静置 60 min 后的直观图, 其中 A 为空白组, B、C 分别为去离子水、MSP 水溶液浸泡, D~H 为乳液浸泡, 乳液中油相质量分数依次为 1%、3%、5%、10% 和 20%。a~h 为煮制面条的表现形态, 其中 a 为空白组, b、c 分别为去离子水、MSP 水溶液浸泡面条的表现形态, d~h 为乳液浸泡面条的表现形态, 乳液中油相质量分数依次为 1%、3%、5%、10% 和 20%。

图 5 煮制面条静置 60 min 后表现状态

Fig.5 Apparent state of cooked noodles after standing for 60 minutes

制面条的黏连。不同时间段乳液在面条表面的润滑机制不同。煮制面条在乳液中浸泡处理后,乳液液滴吸附在面条表面的凹槽处,改善面条表面的粗糙度,或通过滚动轴承机制提高面条表面光滑度。随着放置时间的延长,面条表面水分挥发或者面条自身对水分的吸收,使乳液水相分数降低,液滴分布密度增加,形成油膜,此时,面条表面的润滑作用主要归因于油膜的作用。此外,去离子水虽具有良好的润滑作用,但其具有挥发性且面条在放置过程中会吸收水分,因此去离子水浸泡的面条长时间放置后仍会黏连。

60 min 后观察其表面状态,空白组和去离子水浸泡组的面条表面水分散失,面条变硬(图 5a~b);MSP 水溶液和乳液浸泡的面条表面较湿润。此外,油相质量分数高的乳液浸泡处理的面条表面亮度增加(图 5g~5h),推测归因于乳液液滴吸附在面条表面,光反射和散射增强,使面条亮度增加。

2.6 面条表面黏性

浸泡处理后立即测定面条的表面黏性,结果如图 6 所示。与空白组相比,去离子水和 MSP 水溶液处理对煮制面条的表面黏性影响不显著。乳液浸泡可显著降低煮制面条的表面黏性,且随乳液中油相质量分数的增加,面条的表面黏性逐渐降低,直至乳液中油相质量分数达到 10%后便无显著变化。这可能归因于浸泡处理导致大量的乳液液滴吸附在面条表面,在表面黏性的测定过程中,乳液液滴阻碍探头与面条表面糊化淀粉的接触,从而导致面条的表面黏性较低。随着乳液中油相质量分数的增加,乳液液滴浓度升高(图 2),浸泡处理后面条表面液滴分布更加密集,使处理后

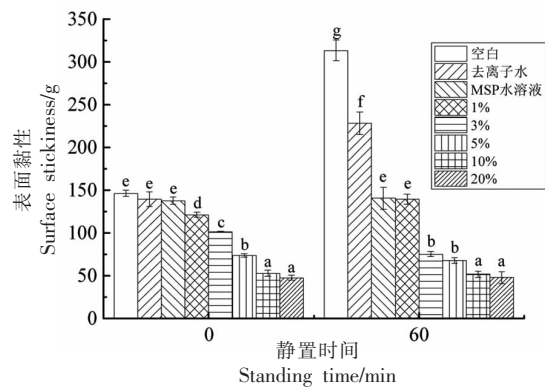


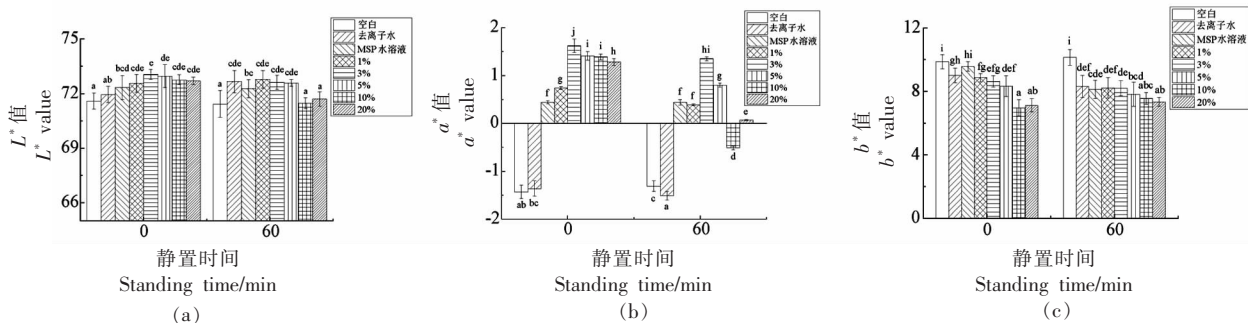
图 6 浸泡处理和静置时间对煮制面条表面黏性的影响
Fig.6 Effects of soaking treatment and standing time on the surface stickiness of cooked noodles

面条的表面黏性更低。

由图 6 可知,煮制面条放置 60 min 前、后对比,空白组和去离子水浸泡处理的面条放置后面条表面黏性显著增加。这主要是由于面条表面的水分散失,面条表面糊化淀粉浓度增加,从而导致面条表面黏性增加^[2]。与空白组相比,去离子水的浸泡会洗掉面条表面的部分糊化淀粉,面条的表面黏性随时间延长而增加的趋势减缓。MSP 水溶液浸泡处理的面条表面黏性并未增加,这与 MSP 具有保湿功能,可防止面条表面水分的散失有关^[27]。1% 油相质量分数的乳液处理组 60 min 后,抑制面条表面黏性升高;当油相质量分数达 3%时,处理组在 60 min 后表面黏性降低;当油相超过 3%,各处理组面条表面黏性 60 min 后未见降低,推测是由于对黏性升高的抑制已比较彻底,其效果未随时间的延长而减弱。

2.7 面条色泽

浸泡处理后立即测定煮制面条的色泽,结果



注:图 a、b、c 分别为面条 L^* 、 a^* 、 b^* 。

图 7 浸泡处理对面条色泽的影响

Fig.7 Effect of soaking treatment on noodle color

如图7a、7b、7c所示。与空白组相比,去离子水的浸泡对煮制面条的 L^* 、 a^* 无显著影响;MSP水溶液的浸泡显著提高了煮制面条的 L^* 和 a^* ;乳液浸泡处理后煮制面条的 L^* 和 a^* 显著增加, b^* 显著降低,且不同油相质量分数的乳液浸泡组色泽变化趋势和乳液基本一致。60 min后,所有样品的 b^* 基本无变化, a^* 显著降低,油相质量分数高(10%,20%)的乳液浸泡处理的面条 L^* 显著降低。由图3可知大豆油 L^* 较低,油相质量分数高的乳液浸泡处理的面条表面乳液滴浓度较高(图2),且面条放置过程中表面水分散失,乳液液滴分布密度增加,形成油膜,从而导致面条 L^* 降低。此外,去离子水的浸泡加速了糊化淀粉的老化,促进其凝胶,导致面条亮度增加。

2.8 面条质地特性

乳液浸泡后立即测定煮制面条的质地特性,结果发现:与空白组相比,浸泡处理的面条硬度均有所增加,其中去离子水浸泡处理的面条硬度显著增加。这主要是由于浸泡处理导致面条温度骤降,糊化淀粉随温度的降低而逐渐回生,从而增加了面条的硬度^[20]。去离子水、MSP水溶液和乳液浸泡处理可显著降低面条的黏附性,这与表面黏性测定结果基本一致(图6)。MSP水溶液和乳液浸泡虽可改善面条的黏附性、胶着性和咀嚼性,但导致面条的黏聚性降低。李波等^[20]指出煮制

面条硬度、胶着性、咀嚼性与面条品质呈负相关;弹性、黏性值与面条品质呈正相关。

60 min后,空白组和去离子水浸泡处理的面条硬度、黏附性显著增加。直链淀粉链的结合决定淀粉凝胶的初始硬度以及淀粉类食物的黏性,随着煮制面条放置时间的增加,浸出淀粉颗粒的直链淀粉链形成网络结构,导致面条的硬度增加^[20]。黏附性的增加与表面黏性测定结果一致(图6)。MSP水溶液和乳液浸泡处理的面条硬度、黏附性略有增加,弹性、黏聚性、回复性、咀嚼性略有降低。

2.9 感官评定结果

感官评定直接反映消费者对食品接受程度,是评估食品食品品质的重要方法。表3总结了不同时间段煮制面条的感官评定结果。浸泡处理初期(0 min),乳液浸泡处理可提高煮制面条的食品品质。与空白组相比,乳液浸泡改善了煮制面条的韧性、黏性、光滑性,提高了煮制面条的感官评定总分,且乳液中油相质量分数越高,面条的感官总分越高。浸泡处理面条放置60 min后,所有面条样品的韧性、黏性、光滑性显著降低。分析感官评定总分,空白组降低18.29%,乳液浸泡后的面条降低4.03%~9.75%,其中油相质量分数高的乳液浸泡处理的面条感官总分降至更低。感官总分的降低可归因于面条在放置过程中,糊

表2 浸泡处理和静置时间对煮制面条质地特性的影响

时间/min	样品	硬度/g	黏附性/g·s	弹性	黏聚性	胶着性	咀嚼性/g	回复性
0	空白	5 118.07 ± 363.97 ^{ab}	-79.63 ± 5.76 ^c	0.85 ± 0.03 ^{cd}	0.563 ± 0.02 ^g	2 881.47 ± 260.42 ^{cd}	2 463.78 ± 258.10 ^d	0.258 ± 0.02 ^{bd}
	去离子水	5 496.89 ± 154.06 ^c	-70.01 ± 4.56 ^d	0.87 ± 0.02 ^e	0.584 ± 0.006 ^h	3 209.43 ± 87.35 ^f	2 799.35 ± 114.30 ^e	0.279 ± 0.01 ^f
	MSP水溶液	5 268.50 ± 380.17 ^{abc}	-6.87 ± 0.52 ^e	0.81 ± 0.07 ^{bcd}	0.540 ± 0.03 ^f	2 698.96 ± 205.01 ^{abc}	2 269.63 ± 154.91 ^{de}	0.272 ± 0.02 ^{def}
	1%	5 152.58 ± 269.90 ^{ab}	-5.89 ± 0.81 ^e	0.77 ± 0.08 ^{abcd}	0.522 ± 0.01 ^{def}	2 641.02 ± 183.97 ^{abc}	2 042.07 ± 261.25 ^{bcd}	0.274 ± 0.02 ^d
	3%	5 390.73 ± 194.62 ^{bc}	-5.81 ± 0.63 ^e	0.77 ± 0.05 ^{abcd}	0.501 ± 0.01 ^{bed}	2 700.86 ± 131.52 ^{abc}	2 079.27 ± 80.21 ^{bed}	0.253 ± 0.008 ^{bed}
	5%	5 201.19 ± 59.93 ^{abc}	-6.16 ± 0.61 ^e	0.76 ± 0.07 ^{abc}	0.512 ± 0.02 ^{cd}	2 788.75 ± 155.61 ^{abcde}	2 121.57 ± 224.49 ^{bed}	0.270 ± 0.02 ^{bed}
	10%	5 180.05 ± 152.21 ^{abc}	-5.21 ± 0.95 ^e	0.81 ± 0.10 ^{bcd}	0.504 ± 0.01 ^{bed}	2 561.77 ± 132.26 ^{ab}	2 080.69 ± 120.64 ^{bed}	0.271 ± 0.01 ^{def}
	20%	5 234.36 ± 161.85 ^{abc}	-6.25 ± 0.30 ^e	0.81 ± 0.09 ^{bcd}	0.492 ± 0.01 ^{abc}	2 773.68 ± 274.20 ^{abcd}	2 176.22 ± 129.61 ^{cd}	0.265 ± 0.02 ^{def}

(续表 2)

时间/min	样品	硬度/g	黏附性/g·s	弹性	黏聚性	胶着性	咀嚼性/g	回复性
60	空白	6 030.82 ± 95.28 ^d	-161.75 ± 10.72 ^a	0.84 ± 0.03 ^{cde}	0.514 ± 0.01 ^{cde}	3 040.48 ± 179.41 ^d	2 537.54 ± 67.34 ^f	0.232 ± 0.004 ^a
	去离子水	5 792.50 ± 201.79 ^d	-150.16 ± 13.16 ^b	0.85 ± 0.03 ^{cde}	0.530 ± 0.02 ^{ef}	3 026.30 ± 147.45 ^{def}	2 564.53 ± 199.27 ^f	0.248 ± 0.005 ^{abc}
	MSP 水溶液	5 460.72 ± 248.72 ^c	-6.60 ± 0.55 ^e	0.80 ± 0.06 ^{bcd}	0.502 ± 0.02 ^{bcd}	2 764.96 ± 179.80 ^{abcd}	2 208.71 ± 120.64 ^d	0.253 ± 0.01 ^{bcd}
	1%	5 320.28 ± 134.18 ^{abc}	-6.96 ± 0.31 ^e	0.73 ± 0.07 ^{ab}	0.487 ± 0.006 ^{ab}	2 830.18 ± 172.26 ^{bcd}	2 237.03 ± 103.12 ^d	0.252 ± 0.01 ^{bcd}
	3%	5 519.63 ± 142.64 ^c	-6.61 ± 0.42 ^e	0.72 ± 0.07 ^{ab}	0.473 ± 0.01 ^a	2 589.16 ± 166.47 ^{ab}	1 938.83 ± 136.11 ^{ab}	0.246 ± 0.01 ^{abc}
	5%	5 274.92 ± 171.83 ^{abc}	-6.43 ± 0.26 ^e	0.76 ± 0.05 ^{abc}	0.470 ± 0.02 ^a	2 579.54 ± 109.69 ^{ab}	1 957.47 ± 132.06 ^{abc}	0.244 ± 0.02 ^{ab}
	10%	5 295.63 ± 201.87 ^{abc}	-6.55 ± 0.50 ^e	0.73 ± 0.06 ^{ab}	0.476 ± 0.01 ^a	2 615.34 ± 192.35 ^{abc}	1 848.86 ± 101.29 ^a	0.258 ± 0.01 ^{bcd}
20%	5 336.56 ± 218.71 ^{abc}	-7.06 ± 0.56 ^e	0.76 ± 0.03 ^{abcd}	0.476 ± 0.02 ^a	2 540.54 ± 267.58 ^a	1 938.50 ± 97.46 ^{ab}	0.245 ± 0.01 ^{abc}	

注:同列肩标小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$),下同。

表 3 浸泡处理和静置时间对煮制面条感官品质的影响

Table 3 Effects of soaking treatment and standing time on the sensory quality of cooked noodles									
时间/min	样品	色泽 (满分 10 分)	外观状态 (满分 10 分)	适口性 (满分 20 分)	韧性 (满分 25 分)	黏性 (满分 25 分)	光滑性 (满分 5 分)	食味 (满分 5 分)	总分 (满分 100 分)
0	空白	8.95 ± 0.63 ^{ab}	7.33 ± 0.52 ^{abcd}	15.83 ± 0.98 ^{abcd}	19.67 ± 1.03 ^{def}	19.17 ± 0.75 ^{cd}	3.23 ± 0.41 ^d	3.83 ± 0.43 ^a	78.02 ± 2.85 ^{cd}
	去离子水	9.23 ± 0.30 ^b	7.50 ± 0.84 ^{bcd}	16.33 ± 0.52 ^{cd}	20.33 ± 0.89 ^{ef}	19.67 ± 0.82 ^{de}	3.77 ± 0.40 ^c	3.80 ± 0.40 ^c	80.63 ± 1.86 ^{bc}
	MSP 水溶液	9.25 ± 0.23 ^b	7.67 ± 0.82 ^{cd}	16.17 ± 0.75 ^{abcd}	20.17 ± 0.75 ^{ef}	19.83 ± 0.75 ^{de}	4.13 ± 0.12 ^{def}	3.77 ± 0.39 ^a	80.98 ± 2.49 ^c
	1%	9.22 ± 0.19 ^b	7.78 ± 0.40 ^{abcd}	16.67 ± 0.82 ^{de}	20.25 ± 0.88 ^{ef}	19.90 ± 0.84 ^{de}	4.17 ± 0.21 ^{efgh}	3.73 ± 0.37 ^a	81.32 ± 1.79 ^c
	3%	9.28 ± 0.32 ^b	7.50 ± 0.55 ^{bcd}	16.00 ± 0.63 ^{abcd}	20.32 ± 0.54 ^{ef}	19.63 ± 0.52 ^{de}	4.28 ± 0.25 ^{efgh}	3.70 ± 0.37 ^a	80.42 ± 1.35 ^{de}
	5%	9.20 ± 0.24 ^b	8.17 ± 0.68 ^{efg}	16.67 ± 0.25 ^{cd}	22.83 ± 0.41 ^g	21.83 ± 0.75 ^{fg}	4.42 ± 0.26 ^{hij}	3.80 ± 0.40 ^c	86.92 ± 2.00 ^{ab}
	10%	8.93 ± 0.39 ^a	7.98 ± 0.69 ^{def}	17.50 ± 0.55 ^{ef}	22.50 ± 0.84 ^{fg}	21.33 ± 1.21 ^{fg}	4.47 ± 0.29 ^{gh}	3.75 ± 0.59 ^a	86.47 ± 3.14 ^{ab}
20%	9.07 ± 0.37 ^{ab}	8.25 ± 0.42 ^{efg}	17.12 ± 0.78 ^{de}	23.50 ± 1.22 ^{fg}	22.17 ± 0.98 ^{fg}	4.58 ± 0.31 ^h	3.75 ± 0.62 ^a	87.98 ± 2.75 ^b	
60	空白	8.68 ± 0.70 ^{ab}	6.85 ± 0.42 ^{ab}	15.00 ± 0.89 ^a	17.00 ± 0.89 ^a	14.50 ± 0.55 ^a	1.18 ± 0.22 ^a	3.77 ± 0.43 ^a	66.98 ± 1.29 ^a
	去离子水	8.77 ± 0.30 ^{ab}	6.68 ± 0.53 ^a	15.50 ± 0.84 ^{abc}	17.67 ± 0.52 ^{ab}	17.50 ± 0.45 ^b	1.43 ± 0.48 ^a	3.82 ± 0.48 ^a	71.37 ± 0.50 ^b
	MSP 水溶液	8.78 ± 0.32 ^{ab}	7.02 ± 0.63 ^{abc}	15.33 ± 1.21 ^{ab}	18.50 ± 0.55 ^{bc}	18.00 ± 0.89 ^b	1.97 ± 0.08 ^b	3.67 ± 0.39 ^a	73.27 ± 1.96 ^b
	1%	8.52 ± 0.35 ^a	7.18 ± 0.40 ^{bc}	15.17 ± 0.75 ^{ab}	18.83 ± 1.17 ^{cd}	18.33 ± 1.75 ^{bc}	2.30 ± 0.47 ^b	3.65 ± 0.45 ^a	73.98 ± 3.57 ^b
	3%	8.65 ± 0.52 ^{ab}	7.35 ± 0.50 ^{abcd}	15.83 ± 0.98 ^{abcd}	19.33 ± 1.03 ^{cde}	19.17 ± 0.41 ^{cd}	2.80 ± 0.40 ^c	3.58 ± 0.33 ^a	76.72 ± 1.43 ^c
	5%	8.98 ± 0.72 ^{ab}	8.45 ± 0.46 ^{fg}	17.06 ± 0.64 ^{de}	19.67 ± 0.82 ^{def}	20.33 ± 0.52 ^d	3.82 ± 0.30 ^c	3.53 ± 0.55 ^a	81.48 ± 2.15 ^c
	10%	8.80 ± 0.66 ^{ab}	8.87 ± 0.85 ^{fg}	17.00 ± 0.52 ^{de}	20.33 ± 1.03 ^{ef}	20.17 ± 0.75 ^{de}	4.00 ± 0.32 ^{ef}	3.58 ± 0.50 ^c	82.75 ± 2.56 ^{cd}
20%	8.93 ± 0.66 ^{ab}	8.88 ± 0.56 ^{fg}	18.17 ± 0.75 ^f	20.83 ± 0.98 ^f	20.33 ± 0.82 ^d	4.03 ± 0.45 ^{ef}	3.50 ± 0.80 ^a	84.68 ± 1.32 ^d	

化淀粉老化回生,增加了煮制面条的硬度,从而导致口感变差^[31]。综上,乳液浸泡处理可延缓煮制面条食用品质的降低速度。

3 结论

面条烹煮后在乳液中浸泡可显著降低煮制面条的表面黏性,改善煮制面条间的黏连,且乳液油相质量分数越高,改善面条黏连效果越显著。其作用机理是乳液液滴通过滚动轴承机制或形成油膜,增加了面条表面的润滑度。煮制面条放置 60 min 后,无论处理与否,食用品质均会降低,而乳液浸泡处理可延缓降低速度。

参 考 文 献

- [1] 陈舒涵, 包玉龙, 周鹏. 乳清浓缩蛋白对面条黏性的影响[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(11): 13-17, 32.
CHEN S H, BAO Y L, ZHOU P. Effect of whey protein concentrate on noodle stickiness[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(11): 13-17, 32.
- [2] WANG Y H, ZHANG Y R, XU F, et al. Effect of boiling and steaming on the surface tackiness of frozen cooked noodles[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 130(3): 109747.
- [3] 常战战, 刘云祎, 林嘉诺, 等. 单甘酯降低煮制面条粘连的作用机理[J]. 中国食品学报, 2021, 21(2): 179-186.
CHANG Z Z, LIU Y Y, LIN J N, et al. Mechanism of glyceryl monostearate decreasing adhesion between cooked noodles[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(2): 179-186.
- [4] 常战战, 王纪鹏, 刘云祎, 等. 制面方式对煮制面条黏连的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2021, 40(6): 76-85.
CHANG Z Z, WANG J P, LIU Y Y, et al. Effect of noodle processing technology on adhesion of cooked noodles [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2021, 40(6): 76-85.
- [5] 刘会晓, 陈洁, 王春, 等. 影响面条黏性工艺因素的研究[J]. 粮油加工, 2008(2): 83-86.
LIU H X, CHEN J, WANG C, et al. Study on the technological factors affecting the viscosity of noodles [J]. Cereals and Oils Processing, 2008(2): 83-86.
- [6] 罗玉华. 妙招煮挂面[J]. 农产品加工, 2013(2): 27.
LUO Y H. Coup to cook dried noodle [J]. Farm Products Processing, 2013(2): 27.
- [7] FARIAS B V, KHAN S A. Probing gels and emulsions using large-amplitude oscillatory shear and frictional studies with soft substrate skin surrogates [J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2021, 201: 111595.
- [8] UPADHYAY R, CHEN J S. Smoothness as a tactile percept: Correlating 'oral' tribology with sensory measurements [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 87: 38-47.
- [9] TAYLOR B L, MILLS T B. Using a three-ball-on-plate configuration for soft tribology applications[J]. Journal of Food Engineering, 2020, 274: 109838.
- [10] 何胜华, 邓乾春. 大豆和油菜籽油体形成的天然乳液的稳定性及胃肠道消化特性[J]. 食品科学, 2021, 42(13): 34-42.
HE S H, DENG Q C. Stability and *in vitro* simulated gastrointestinal digestion properties of natural soybean and rapeseed oil body emulsions [J]. Food Science, 2021, 42(13): 34-42.
- [11] CHAN C K Y, ZEEB B, MCCLEMENTS D J, et al. Impact of laccase on the colour stability of structured oil-in-water emulsions[J]. Food Research International, 2017, 97: 223-230.
- [12] CHEN J S, LIU Z Y, PRAKASH S. Lubrication studies of fluid food using a simple experimental set up[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 42: 100-105.
- [13] 蔡慧芳. "口腔"摩擦学在质构感知上的应用研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2017: 21.
CAI H F. Applications of "oral" tribology in studying texture and sensory perception [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2017: 21.
- [14] CHONG P H, CHEN J S, YIN D T, et al. "Oral" tribology study on saliva-tea compound mixtures: Correlation between sweet aftertaste (Huigan) perception and friction coefficient[J]. Food Research International, 2019, 125: 108642.1-108642.10.
- [15] ZHU F, LI J C. Physicochemical and sensory properties of fresh noodles fortified with ground linseed (*Linum usitatissimum*) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 101: 847-853.
- [16] CHUNG C, KOO C K W, SHER A, et al. Modu-

- lation of caseinate-stabilized model oil-in-water emulsions with soy lecithin[J]. *Food Research International*, 2019, 122: 361-370.
- [17] 牛付阁, 韩备竞, 寇梦璇, 等. 纳米纤维素颗粒稳定的 Pickering 乳液的性能研究[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(6): 166-172.
- NIU F G, HANG B J, KOU M X, et al. Studies on characterization of Pickering emulsions stabilized with nanocellulose particles [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(6): 166-172.
- [18] MCCLEMENTS D J. Theoretical prediction of emulsion color[J]. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2002, 97(1): 63-89.
- [19] CHUNG C, SHER A, ROUSSET P, et al. Formulation of food emulsions using natural emulsifiers: Utilization of quillaja saponin and soy lecithin to fabricate liquid coffee whiteners[J]. *Journal of Food Engineering*, 2017, 209(9): 1-11.
- [20] MCCLEMENTS D J. Colloidal basis of emulsion color[J]. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 2002, 7(5): 451-455.
- [21] HUANG T, TU Z C, ZOU Z Z, et al. Glycosylated fish gelatin emulsion: Rheological, tribological properties and its application as model coffee creamers [J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 102(5): 105552.
- [22] MALONE M E, APPELQVIST I A M, NORTON I T. Oral behaviour of food hydrocolloids and emulsions. Part 1. Lubrication and deposition considerations[J]. *Food Hydrocolloids*, 2003, 17(6): 763-773.
- [23] 李立, 张晓琴, 张昀, 等. 食品口腔摩擦学研究进展[J]. *摩擦学学报*, 2019, 39(1): 118-129.
- LI L, ZHANG X Q, ZHANG Y, et al. Progress of oral tribology in food[J]. *Tribology*, 2019, 39(1): 118-129.
- [24] WIJK R A D, PRINZ J F. The role of friction in perceived oral texture[J]. *Food Quality and Preference*, 2004, 16(2): 121-129.
- [25] BELLAMY M, GODINOT N, MISCHLER S, et al. Influence of emulsion composition on lubrication capacity and texture perception[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2010, 44(10): 1939-1949.
- [26] ANVARI M, JOYNER H S. Effect of formulation on structure-function relationships of concentrated emulsions: Rheological, tribological, and microstructural characterization[J]. *Food Hydrocolloids*, 2017, 72: 11-26.
- [27] 靳仁昌, 任桂兰, 李青山, 等. 大豆磷脂改性与应用研究[J]. *化工时刊*, 2002, 16(10): 37-38.
- JIN R C, RENG G L, LI Q S, et al. Modification and application of soybean phospholipid[J]. *Chemical Industry Times*, 2002, 16(10): 37-38.
- [28] ROMAN L, CAL E D L, GOMEZ M, et al. Specific ratio of A-to B-type wheat starch granules improves the quality of gluten-free breads: Optimizing dough viscosity and pickering stabilization[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 82: 510-518.
- [29] 李波, 芦菲, 王东玲, 等. 豆腐渣在面条中的应用研究[J]. *中国粮油学报*, 2012, 27(6): 83-88, 109.
- LI B, LU F, WANG D L, et al. Study on the application of bean curd residue in noodles[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2012, 27(6): 83-88, 109.
- [30] YAN H L, LU Q Y. Physicochemical properties of starch-wheat germ oil complex and its effects on water distribution and hardness of noodles[J]. *LWT*, 2020, 135: 110211.
- [31] OKE M O, BOLARINWA I F. Effect of fermentation on physicochemical properties and oxalate content of cocoyam (*Colocasia esculenta*) flour[J]. *ISRN Agronomy*, 2011, 2012: 1-4.

Inhibiting Effect of Modified Soybean Phospholipid Emulsion on the Adhesion between Cooked Noodles

Chang Zhanzhan^{1,2}, Wang Jipeng^{1,2}, Liu Yunyi^{1,2}, Zhang Longtao^{1,2*}, Miao Song^{2,3}, Zheng Baodong^{1,2}

¹College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002

²China-Ireland International Cooperation Centre for Food Material Science and Structural Design, Fuzhou 350002

³Teagasc Food Research Centre, Moorepark, Fermoy, Co. Cork, 999014 Ireland

Abstract In order to inhibit the adhesion of cooked noodles, the modified soybean phospholipid was used to prepare

emulsion. Using surface stickiness determination, texture properties determination, color analysis, sensory evaluation and other test means, effects of emulsion soaking on the adhesion and eating quality of cooked noodle were investigated. And the mechanism of emulsion soaking affecting the adhesion of cooked noodles was investigated by friction coefficient and the particle size analyzer. The results showed that soaking noodles in the emulsion could significantly reduce ($P<0.05$) the surface stickiness of the cooked noodles and improve the adhesion between cooked noodles, and with the increase of oil mass fraction, the particle size and concentration of the emulsion droplets were increased, the friction coefficient was decreased. After soaking in the emulsion, the emulsion droplets adhere to the surface of the noodles, and improve the smoothness of the noodle surface and prevent adhesion of cooked noodles by ball-bearing effect. With the increase of storage time, the moisture content on the surface of the noodles decreases, and the emulsion droplets aggregate to form an oil film to keep the surface low stickiness. In addition, after soaked in the emulsion, the noodle brightness was improved ($P<0.05$), the reduction rate of noodle edible quality was delayed.

Keywords cooked noodles; adhesion; emulsion; friction coefficient; eating quality