

郭子鸣, 丰雪影, 徐晓云, 等. 非可溶性柑橘纤维-玉米油皮克林乳液的构建及性质表征[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(2): 202-208.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2023.02.025

非可溶性柑橘纤维-玉米油皮克林乳液的 构建及性质表征

郭子鸣, 丰雪影, 徐晓云, 王鲁峰

华中农业大学食品科学技术学院/环境食品学教育部重点实验室/
果蔬加工与品质调控湖北省重点实验室, 武汉 430070

摘要 为提升玉米油乳液的稳定性和应用潜力, 采用非可溶性柑橘纤维作为稳定剂构建了玉米油皮克林乳液, 并对乳液流变性、形态结构、稳定性等性质进行表征分析。结果显示: 随着玉米油皮克林乳液中非可溶性柑橘纤维含量增多, 黏度、储能模量和损耗模量呈上升趋势, 乳液表现为假塑性非牛顿流体性质; 非可溶性柑橘纤维在体系中形成的网络结构导致体系粒径逐渐增大; 当非可溶性柑橘纤维含量为0.2%和0.3%时, 皮克林乳液的电位绝对值超过30 mV, 乳化效果较好; 乳液的离心稳定性和冻融稳定性随非可溶性柑橘纤维含量增多逐渐增强, 且当乳液中非可溶性柑橘纤维含量大于0.1%时, 乳液30 d内均未发生分层现象。结果表明, 非可溶性柑橘纤维具有良好的乳化稳定作用, 0.2%~0.3%的非可溶性柑橘纤维可以与玉米油乳液混合构建稳定的皮克林乳液。

关键词 非可溶性柑橘纤维; 皮克林乳液; 玉米油; 流变性; 乳化稳定

中图分类号 TS201.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2023)02-0202-07

皮克林乳液是由固体颗粒作为乳化剂稳定油水界面形成的一种乳液体系^[1], 具有稳定、绿色、应用广泛等特性, 在食品加工中起着重要作用^[2]。近年来, 利用天然大分子颗粒构建食用安全、环境友好的皮克林乳液已成为当前食品生产领域的研究热点, 并具有广阔的应用前景。

柑橘纤维是柑橘加工的重要副产物, 拥有高表面活性、高持水力、高表观黏度、抗消化和乳化稳定性等特性^[3]。研究表明, 柑橘纤维可作为食品级粒子用于稳定皮克林乳液, 来改善产品质量、提高黏性和质构特性等^[4]。Huang等^[5]发现非可溶性柑橘纤维(insoluble citrus fiber, ICF)具有良好的空间网络结构、持水性和增稠能力, 可以使油脂均匀地分布在其表面或者内部, 使油脂受到一定束缚, 从而增强食品体系的乳化稳定性。经研磨等技术处理后, 非可溶性柑橘纤维尺寸可以减小到微米或纳米级, 极大地增强颗粒的亲水性。张欢等^[6]成功地制备了纳米纤

维素并将其作为乳化剂稳定乳液, 得到的皮克林乳液稳定性较好。纳米纤维素可以吸附在水油界面上, 形成稳定的界面膜, 利用表面的负电荷阻止乳液液滴的絮凝^[7]。周敬阳等^[8]通过化学手段酸解微晶纤维素, 得到的纳米微晶纤维素随着其粒径减小, 其乳化效果逐渐增强。

玉米油中的亚油酸含量丰富, 具有预防心脑血管疾病、抗氧化、抗衰老等功效, 但玉米油在加工生产过程中存在不易均匀分散、稳定性不好等问题。近年来, 稳定玉米油皮克林乳液的研究多采用复合体系, 柑橘纤维稳定玉米油皮克林乳液的报道较少, 柑橘纤维由于其天然、环保、健康等特性更易被消费者所接受。因此, 引入柑橘纤维构建玉米油皮克林乳液可以使其均匀分散到食品中, 强化乳液体系的稳定性, 提升消费兴趣, 拓宽其应用范围^[9]。本研究通过制备ICF, 并构建了ICF-玉米油皮克林乳液, 探究乳液的流变性、形态结构、稳定性等特性, 旨在为

收稿日期: 2022-11-25

基金项目: 华中农业大学-中国农业科学院深圳农业基因组研究所合作基金项目(SZYJY2022013); 中央高校基本科研业务专项(2662022JC003); 宜昌市“双创战略团队”建设项目: 柑橘活性组分绿色提取与高效利用示范(2022)

郭子鸣, E-mail: gzm@webmail.hzau.edu.cn

通信作者: 王鲁峰, E-mail: wanglf@mail.hzau.edu.cn

改善玉米油应用效果,扩大玉米油和非可溶性柑橘纤维的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

柑橘皮渣粉末,西安全奥生物科技有限公司;玉米油,益海嘉里金龙鱼粮油股份有限公司。

1.2 仪器与设备

AR522CN电子天平,奥豪斯仪器(上海)有限公司;5804R型高速冷冻离心机,德国Eppendorf有限公司;HunterLab UltraScan VIS色差仪,韵鼎(香港)集团有限公司;ZM2000超微粉碎机,德国耐驰仪器制造有限公司;Eclipse E100型光学显微镜,日本Nikon股份有限公司;Mastersizer2000激光颗粒度分析仪,美国马尔文仪器有限公司;NanoZS90纳米粒度电位分析仪,美国马尔文仪器有限公司;DHR2旋转流变仪,美国TA仪器有限公司;XHF-D高速剪切机,宁波新芝生物科技股份有限公司;UH-24高压均质机,上海永联生物科技股份有限公司。

1.3 非可溶性柑橘纤维及皮克林乳液的制备

1)非可溶性柑橘纤维的制备。非可溶性柑橘纤维的制备参照文献[10]并作一些修改。将柑橘皮渣粉末加入20倍体积的水充分混匀,混合物在90℃条件下水浴搅拌10 min,然后离心处理除去液体得到皮渣沉淀。收集到的皮渣经冷冻干燥,再利用超微粉碎机以18 000 r/min粉碎研磨1 min,通过粒径38 μm筛制得的ICF样品储存在干燥器中备用^[10]。

2)非可溶性柑橘纤维-玉米油皮克林乳液的制备。参考Yu等^[11]的方法,将材料按表1的配比混合后在高速剪切机16 000 r/min条件下处理3 min,形成粗乳液。再将粗乳液在高压均质机40 MPa的压力下均质2次,获得均一的皮克林乳液。

表1 5种皮克林乳液的基本组成

Table 1 Basic compositions of five

Pickering emulsions

乳液种类 Emulsion type	玉米油 Corn oil	非可溶性柑橘纤维 Insoluble citrus fiber	水 Water
ES-1	30	0.1	69.9
ES-2	30	0.2	69.8
ES-3	30	0.3	69.7
ES-4	30	0.4	69.6
ES-5	30	0.5	69.5

注:玉米油、非可溶性柑橘纤维和水的含量均为质量分数。下同。
Note: The content of corn oil, insoluble citrus fiber and water are all weight percentage. The same as below.

1.4 流变性测定

采用旋转流变仪进行黏度测定,剪切速率范围设定为0.1~100 s⁻¹,设置温度为25℃,平衡1 min。线性黏弹区测定在测试温度为25℃、角频率设置为10.0 rad/s、应变变化范围为0.001%~100%,应变每变化10个单位取1个点。频率扫描测试在25℃,频率范围1.0~100 rad/s,进行振荡扫描测试。

1.5 电位测定

参考余奔^[12]的方法,使用纳米粒度电位分析仪测定Zeta电位。测量前使用去离子水将样品稀释至0.05%左右。

1.6 色度测定

使用色差仪对皮克林乳液颜色进行测定,测量前先用黑板和白板进行校正。取样品于无色玻璃皿,色度值用L*、a*、b*值来表示。其中,L*表示明亮度(0为黑,100为白),a*表示红绿度(正值为红色程度,负值为绿色程度),b*表示黄蓝度(正值为黄色程度,负值为蓝色程度)。

1.7 微观形态观察

取1滴稀释后的皮克林乳液置于载玻片上,使用光学显微镜在10倍目镜和10倍物镜的普通光下观察乳液样品的微观结构,并用显微摄像系统拍照。

1.8 粒径测定

参考Yu等^[11]的方法测量乳液粒径,使用体积加权平均值D(4,3)来表示平均粒径并绘制粒径分布图。粒径D(4,3)表示体积平均直径,通过式(1)计算^[13]。

$$D(4,3) = \frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3} \quad (1)$$

式中, n_i 为相同直径的粒子数; d_i 为颗粒大小。

1.9 稳定性测定

1)热稳定性。分别取皮克林乳液10 mL置于离心管中,分别在4、25、50和80℃的温度条件下放置1 h,观察乳液状态。

2)储藏稳定性。分别取皮克林乳液15 mL置于玻璃管中,在4℃条件下放置1、15和30 d,观察乳液状态。

3)离心稳定性。分别取皮克林乳液10 mL置于离心管中,在离心机中以3 000 r/min的速度离心5 min,观察乳液状态。

4)冻融稳定性。分别取皮克林乳液10 mL置于离心管中,放置在一20℃的冰箱里冷冻24 h后,放置在25℃条件下融化4 h,观察乳液状态。

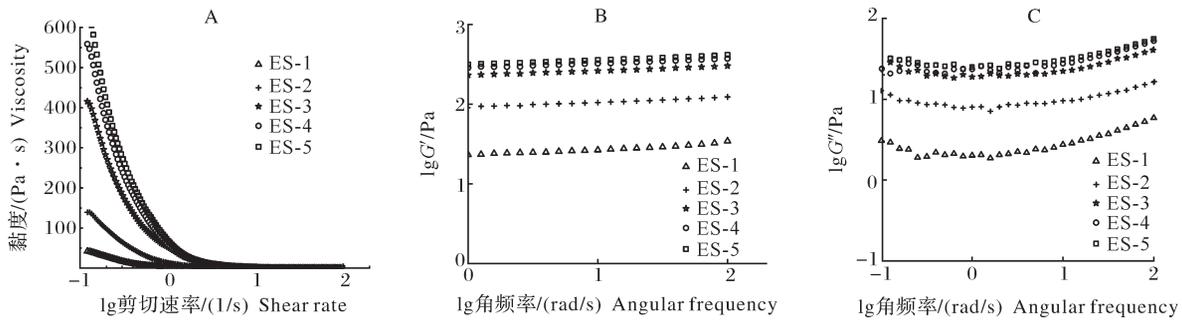
1.10 数据处理

试验数据采用 Origin 9.0 和 SPSS Statistic 25.0 进行绘图和数据分析,所有数据均为3次测试的平均值,以“平均值±标准差”表示,表中同一列(行)中字母相同表示无显著性差异($P>0.05$),字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 非可溶性柑橘纤维-玉米油皮克林乳液的流变性分析

如图1A所示,不同配比的非可溶性柑橘纤维-



A: 乳液的黏度随剪切速率变化的曲线; B: 储能模量随角频率变化的曲线; C: 损耗模量随角频率变化的曲线。A: The curve of the viscosity of the emulsion with shear rate; B: The curve of the modulus of emulsion with angular frequency; C: The curve of loss modulus changing with angular frequency.

图1 不同非可溶性柑橘纤维-玉米油皮克林乳液流变特性曲线

Fig. 1 Rheological characteristics of different insoluble citrus fiber-corn oil Pickering emulsion

2.2 非可溶性柑橘纤维-玉米油皮克林乳液的电位特征分析

由皮克林乳液体系的电位测定结果(图2)可见,乳液的电位均为负值,其绝对值随着非可溶性柑橘纤维含量的增加呈现先升高后降低的趋势,在5种乳液中,含有0.2%和0.3%非可溶性柑橘纤维的乳液电位绝对值大于30 mV,拥有较强的稳定性,颗粒间

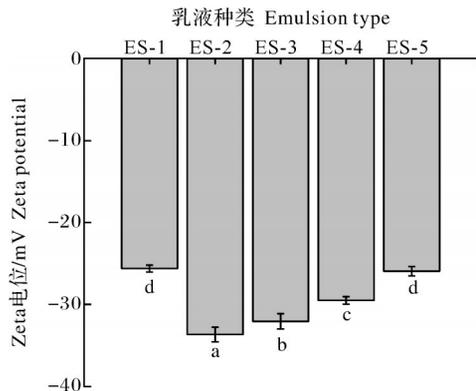


图2 不同非可溶性柑橘纤维-玉米油皮克林乳液的电位

Fig. 2 Zeta-potential of different insoluble citrus fiber-corn oil Pickering emulsion

玉米油皮克林乳液体系的黏度随剪切速率的增加均呈逐渐下降趋势,在相同的剪切速率下,非可溶性柑橘纤维含量越高,体系黏度越大,但随着剪切速率的增大,乳液呈现剪切变稀现象。振荡频率的变化曲线(图1B、C)显示,储能模量 G' 和损耗模量 G'' 随着角频率的增加表现出较低的频率依赖性,弹性和黏性呈现小幅度增加的趋势,说明非可溶性柑橘纤维有利于改变乳液的表观形态,使其从液态形式转变为半固态。但非可溶性柑橘纤维对提高 G' 和 G'' 的强度不同,各个乳液的 G' 值均大于 G'' 值,表明乳液的弹性性质处于主导地位,表现出固体凝胶性质。

的斥力大,不容易发生聚集,这2种乳液的乳化稳定性较高。

2.3 非可溶性柑橘纤维-玉米油皮克林乳液的色度分析

由表2可见,随着乳液中非可溶性柑橘纤维含量的增多亮度呈现先增大后变小的趋势,非可溶性柑橘纤维添加量为0.2%和0.3%的乳液亮度值最大,分别为86.37和86.04,乳液的亮度可以直观反映乳化性能的好坏, L^* 值越大说明乳液体系颜色越白,乳化效果越好。 a^* 代表红-绿度,5种乳液均呈现负值,说明乳液体系更偏绿色。 b^* 代表黄-蓝度,5种乳液体系均为正值,说明乳液均偏黄色。 b^* 值越小表明其乳化稳定性越好,可见非可溶性柑橘纤维添加量为0.3%和0.2%的乳液 b^* 值相对较小,说明其稳定性较强,这与亮度和电位的表现一致。

2.4 非可溶性柑橘纤维-玉米油皮克林乳液的粒径及微观形态分析

由于非水溶性柑橘纤维制备时采用超微粉碎并过粒径 $38 \mu\text{m}$ 筛,纤维颗粒粒径较小,从皮克林

表2 非可溶性柑橘纤维-玉米油皮克林乳液的色度

Table 2 The color of insoluble citrus fiber-corn oil Pickering emulsion

乳液种类 Emulsion type	L^*	a^*	b^*
ES-1	80.79±0.16c	-0.46±0.03b	5.12±0.10a
ES-2	86.37±0.56a	-0.69±0.04d	4.26±0.16c
ES-3	86.04±0.40a	-0.54±0.01c	3.89±0.15d
ES-4	84.47±0.08b	-0.40±0.02a	4.39±0.07c
ES-5	84.94±0.47b	-0.37±0.03a	4.63±0.14b

注：同列中不同字母表示存在显著性差异($P<0.05$)。Note: Different letters in the same column in the table indicate significant differences($P<0.05$).

乳液的微观形态图(图3)中并未发现游离的非水溶性柑橘纤维,可见非可溶性柑橘纤维都均匀地吸附在乳液液滴表面。随着非可溶性柑橘纤维含量增多,乳液的粒径从(15.45±0.85) μm增加到(40.83±1.52) μm,表明高浓度的非可溶性柑橘纤维导致乳液的平均粒径增大,这可能是因为柑橘纤维有利于形成网络结构,使得颗粒絮凝。通过观察粒径分布(图4)发现,经过高速剪切和高压均质后,乳液粒径均未超过100 μm,表明非可溶性柑橘纤维稳定化的乳液液滴较均一,有利于乳液保持良好的稳定性。

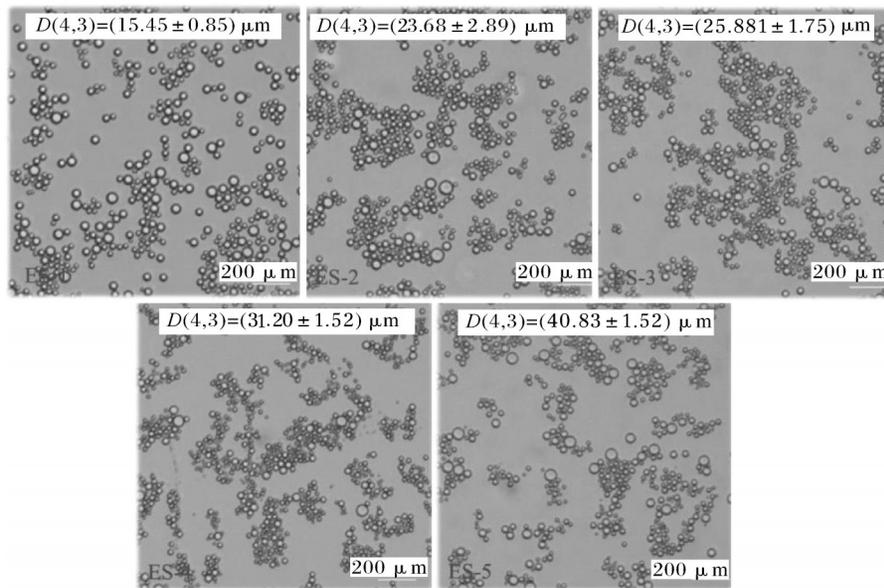


图3 不同非可溶性柑橘纤维-玉米油皮克林乳液的乳液微观形态

Fig. 3 Emulsion micromorphology of different insoluble citrus fiber-corn oil Pickering emulsions

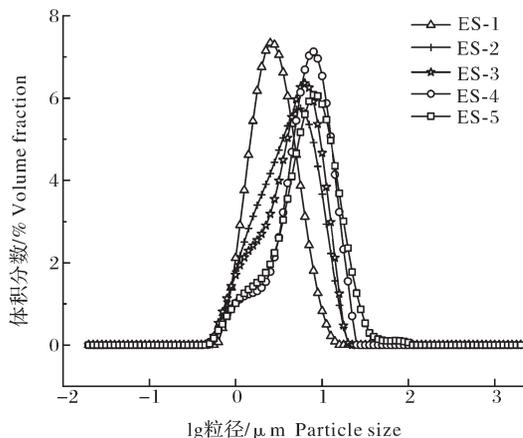


图4 不同非可溶性柑橘纤维-玉米油皮克林乳液的粒径分布

Fig. 4 Particle size distribution of different insoluble citrus fiber-corn oil Pickering emulsions

2.5 非可溶性柑橘纤维-玉米油皮克林乳液的稳定性分析

图5显示了不同非可溶性柑橘纤维-玉米油皮克林乳液的稳定性随温度的变化情况,其中除了ES-1发生明显分层现象外,其余乳液都未发生分层现象,乳析指数(CI)达100%,在80 °C的温度下乳液结构没有发生明显变化,表现出较强的稳定性,说明非可溶性柑橘纤维稳定化的乳液有良好的热稳定性。

由图6可知,非可溶性柑橘纤维含量为0.1%的乳液体系中,乳化层和水相间有清晰边界,出现明显的乳析现象,放置30 d后乳析指数并未发生明显的变化。当皮克林乳液中非可溶性柑橘纤维含量大于0.1%时,乳液30 d内均未发生分层现象,乳析指数达到了100%。

图7结果显示不同配比的非可溶性柑橘纤维-玉米油皮克林乳液的离心稳定性和冻融稳定性呈现相同的变化趋势,随着非可溶性柑橘纤维添加量的增

多,乳液的分层现象越不明显,说明非可溶性柑橘纤维添加量的增加对乳液的抵抗逆境能力有促进作用。

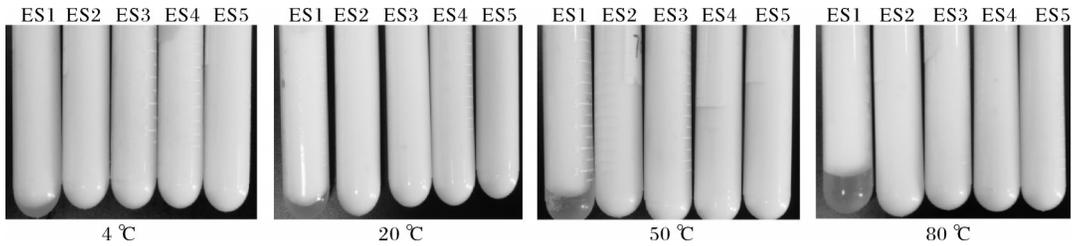


图5 不同温度下皮克林乳液体系的稳定性

Fig. 5 Stability of Pickering emulsion system at different temperature

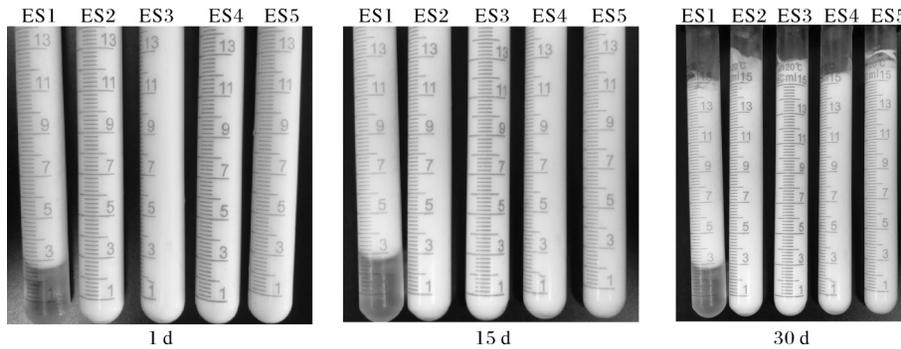


图6 不同储藏时间下皮克林乳液体系的稳定性

Fig. 6 Stability of Pickering emulsion system under different storage times

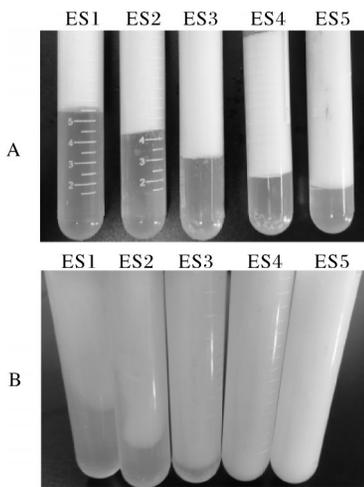


图7 皮克林乳液体系的离心稳定性(A)和冻融稳定性(B)

Fig. 7 Centrifugal stability(A) and freeze-thaw stability(B) of Pickering emulsion system

3 讨论

非可溶性柑橘纤维可以均匀分散在水相中吸水膨胀形成稳定的网络结构,有利于增强乳液的悬浮稳定性和聚并稳定性。随着体系中非可溶性柑橘纤维含量增多,体系黏度迅速增大,表现出良好的增稠效果。非可溶性柑橘纤维稳定的玉米油皮克林乳液

存在明显的剪切变稀现象,表明非可溶性柑橘纤维可以赋予皮克林乳液假塑性非牛顿流体的性质,这主要是由于纤维在剪切的作用下空间结构重排导致的,这与ZHAO等^[14]和Winuprasith等^[15]的研究结果相吻合,微纤化纤维素在剪切作用下,悬浮液的结晶度指数、聚合度和黏度均减小。且非可溶性柑橘纤维对提高 G' 较 G'' 更快,说明非可溶性柑橘纤维还增强了体系的凝胶能力,这与前人在番茄果汁研究中的结果有一定的相似性^[16]。

非可溶性柑橘纤维可以吸附在油滴界面,并利用负电荷阻止液滴的聚集,使得乳液体系更加稳定。但这种稳定作用跟其浓度关系密切。结果显示,当非可溶性柑橘纤维含量小于0.2%时,随着非可溶性柑橘纤维含量的增多,乳液中未吸附的粒子增多,则体系电位值降低。当纤维含量大于0.2%时,随着纤维的增多,更多的水结合或吸附在纤维表面, $-COOH$ 难以在水中溶解形成 $-COO^-$,粒子之间没有足够的排斥力从而导致电位的上升,这与Qi等^[17]发现的当纤维浓度增加使果胶中半乳糖醛酸的羧基团($-COOH$)溶解在水中时解离程度降低相一致。此外,结果还显示乳液(0.3%、0.2%)的 L^* 和 b^* 值反映出与电位相似的结果,也可以直观地反映乳

化性能的好坏和体系的稳定性^[18]。

非水溶性柑橘纤维分子稳定的玉米油乳液在不同环境中都具备良好的稳定性,为其进一步应用提供了便利^[19]。本研究中乳液经过高速剪切和高压均质后的直径均未超过100 μm,证明非可溶性柑橘纤维-玉米油皮克林乳液表现出良好的抗剪切能力,这与Winuprasith等^[15]发现的均质次数增加会明显提高乳液稳定性、表现出更小的油滴和更好的三维结构的结论相一致。本研究结果表明玉米油皮克林乳液体体系具备良好的热稳定性、储藏稳定性、离心稳定性和冻融稳定性,这与Harini等^[20]和Bai等^[21]发现的非可溶性柑橘纤维会在油-水界面形成空间位阻作用,阻止解析行为发生的结果相类似。

本研究以非可溶性柑橘纤维为稳定剂构建了玉米油皮克林乳液,结果表明添加0.2%~0.3%非可溶性柑橘纤维的玉米油皮克林乳液具有良好的流变特性和稳定性,具备拓宽玉米油乳液在食品产业中的应用的潜力。

参考文献References

- [1] JIANG Y, WANG D, LI F, et al. Cinnamon essential oil Pickering emulsion stabilized by zein-pectin composite nanoparticles: characterization, antimicrobial effect and advantages in storage application [J]. *International journal of biological macromolecules*, 2020, 148: 1280-1289.
- [2] KIM W, WANG Y, SELOMULYA C. Dairy and plant proteins as natural food emulsifiers [J]. *Trends in food science & technology*, 2020, 105: 261-272.
- [3] XUE X, DONG J, HE H, et al. Emulsification and stabilization of diacylglycerol-in-water Pickering emulsions stabilized by ultra-fine grinding oat bran insoluble fiber-gelatinized starch hybrid granules [J/OL]. *Food hydrocolloids*, 2021, 112: 106322 [2022-11-25]. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106322>.
- [4] 孙哲浩, 李巧玲, 吕广, 等. 柑橘纤维研究进展 [J]. *食品工业*, 2020, 41(11): 282-286. SUN Z H, LI Q L, LÜ G, et al. Research progress on citrus fiber [J]. *The food industry*, 2020, 41(11): 282-286 (in Chinese with English abstract).
- [5] HUANG L, LIU J E, ADDY M, et al. Physicochemical and emulsifying properties of orange fibers stabilized oil-in-water emulsions [J/OL]. *LWT*, 2020, 133: 110054 [2022-11-25]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110054>.
- [6] 张欢, 戴宏杰, 陈媛, 等. 纳米纤维素的制备及其在Pickering乳液中的应用研究进展 [J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(15): 173-181. ZHANG H, DAI H J, CHEN Y, et al. Research progress in nanocellulose preparation and its application in Pickering emulsions [J]. *Food research and development*, 2020, 41(15): 173-181 (in Chinese with English abstract).
- [7] DONG H, DING Q, JIANG Y F, et al. Pickering emulsions stabilized by spherical cellulose nanocrystals [J/OL]. *Carbohydrate polymers*, 2021, 265: 118101 [2022-11-25]. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118101>.
- [8] 周敬阳, 李术芝, 苏倩, 等. 纳米微晶纤维素-棕榈油的Pickering乳化液的制备及体外消化行为 [J]. *食品工业科技*, 2019, 40(9): 18-23. ZHOU J Y, LI S Z, SU Q, et al. Preparation and in vitro digestion of nanocrystalline cellulose-palm oil Pickering emulsion [J]. *Science and technology of food industry*, 2019, 40(9): 18-23 (in Chinese with English abstract).
- [9] 贾迪, 吴秀英, 陈伟, 等. 柑橘纤维在长货架期酸乳中的应用 [J]. *食品科技*, 2018, 43(4): 247-250. JIA D, WU X Y, CHEN W, et al. Application of citrus fiber in pasteurized yogurt of long shelf life [J]. *Food science and technology*, 2018, 43(4): 247-250 (in Chinese with English abstract).
- [10] YU B, TANG Q, FU C, et al. Effects of different particle-sized insoluble dietary fibre from citrus peel on adsorption and activity inhibition of pancreatic lipase [J/OL]. *Food chemistry*, 2023, 398: 133834 [2022-11-25]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133834>.
- [11] YU B, ZENG X, WANG L F, et al. Preparation of nanofibrillated cellulose from grapefruit peel and its application as fat substitute in ice cream [J/OL]. *Carbohydrate polymers*, 2021, 254: 117415 [2022-11-25]. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117415>.
- [12] 余奔. 不同粒径柑橘非水溶性纤维理化特性及其对脂肪体外消化的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2021. YU B. Physicochemical properties of citrus insoluble fibers with different particle sizes and their effects on fat digestion *in vitro* [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2021 (in Chinese with English abstract).
- [13] MIKULCOVÁ V, BORDES R, KAŠPÁRKOVÁ V. On the preparation and antibacterial activity of emulsions stabilized with nanocellulose particles [J]. *Food hydrocolloids*, 2016, 61: 780-792.
- [14] ZHAO Y, CHEN H H, WANG Y S, et al. Effect of sodium alginate and its guluronic acid/mannuronic acid ratio on the physicochemical properties of high-amylose corn starch [J]. *Starch - Stärke*, 2016, 68(11/12): 1215-1223.
- [15] WINUPRASITH T, SUPHANTHARIKA M. Microfibrillated cellulose from mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) rind: preparation, characterization, and evaluation as an emulsion stabilizer [J]. *Food hydrocolloids*, 2013, 32(2): 383-394.
- [16] AUGUSTO P E D, IBARZ A, CRISTIANINI M. Effect of high pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of tomato juice: time-dependent and steady-state shear [J]. *Journal of food engineering*, 2012, 111(4): 570-579.
- [17] QI J R, SONG L W, ZENG WEI Q, et al. Citrus fiber for the stabilization of O/W emulsion through combination of Pickering effect and fiber-based network [J/OL]. *Food chemistry*, 2021, 343: 128523 [2022-11-25]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.128523>.

- chem.2020.128523.
- [18] MENESES R B, SILVA M S, MONTEIRO M G, et al. Effect of dairy by-products as milk replacers on quality attributes of ice cream[J]. *Journal of dairy science*, 2020, 103(11): 10022-10035.
- [19] RUAN Q, YANG X, ZENG L, et al. Physical and tribological properties of high internal phase emulsions based on citrus fibers and corn peptides[J]. *Food hydrocolloids*, 2019, 95: 53-61.
- [20] HARINI K, RAMYA K, SUKUMAR M. Extraction of nano cellulose fibers from the banana peel and bract for production of acetyl and lauroyl cellulose[J]. *Carbohydrate polymers*, 2018, 201: 329-339.
- [21] BAI L, GRECA L G, XIANG W C, et al. Adsorption and assembly of cellulosic and lignin colloids at oil/water interfaces[J]. *Langmuir*, 2019, 35(3): 571-588.

Construction and characterization of insoluble citrus fiber-corn oil Pickering emulsion

GUO Ziming, FENG Xueying, XU Xiaoyun, WANG Lufeng

*College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University/
Ministry of Education Key Laboratory of Environment Correlative Dietology/
Hubei Key Laboratory of Fruit & Vegetable Processing & Quality Control,
Wuhan 430070, China*

Abstract In order to improve the stability and application potential of corn oil emulsion and explore the influence of insoluble citrus fiber on the properties of corn oil emulsion, the corn oil Pickering emulsion was constructed with insoluble citrus fiber as stabilizer, and the rheological properties, morphological structure, stability and other properties of the emulsion were characterized and analyzed to improve the stability and application potential of corn oil emulsion and study the effects of insoluble citrus fiber on the properties of corn oil emulsion. The results showed that the viscosity, energy storage modulus and loss modulus increased with the increase of the content of insoluble citrus fiber in corn oil Pickering emulsion. The emulsion had the properties of pseudoplastic non-Newtonian fluid. The network structure formed by insoluble citrus fiber in the system resulted in the gradual increase of the particle size of the system. When the content of insoluble citrus fiber was 0.2% (w/w) and 0.3% (w/w), the absolute potential of Pickering emulsion exceeded 30 mV, and the effect of emulsification was better. The centrifugal stability and freeze-thaw stability of emulsion increased with the increase of the content of insoluble citrus fiber. When the content of insoluble citrus fiber in the emulsion was greater than 0.1%, no stratification occurred in the emulsion for 30 days. It is indicated that insoluble citrus fiber has good stability of emulsification. 0.2%-0.3% insoluble citrus fiber can be mixed with corn oil emulsion to build stable Pickering emulsion. It will provide a new direction for the application of corn oil emulsion.

Keywords insoluble citrus fiber; Pickering emulsion; corn oil; rheological property; stability of emulsification

(责任编辑:赵琳琳)