

蛋清蛋白 Pickering 乳液制备及其负载 β -胡萝卜素的稳定性

潘晴楣, 张志鹏, 冉乐童, 胥伟, 王宏勋, 易阳, 郭丹郡*

(武汉轻工大学食品科学与工程学院 武汉 430023)

摘要 以蛋清蛋白凝胶颗粒为乳化剂制备 Pickering 乳液, 研究油相比例、凝胶颗粒蛋白含量对蛋清蛋白颗粒稳定的 Pickering 乳液 (EWP-PE) 的影响, 并探究其负载 β -胡萝卜素的热稳定性及储藏稳定性的变化。结果表明: 1) 当蛋清蛋白含量 4%, 油相体积分数 40% 时, EWP-PE 粒径 47.37 μm , Zeta-电位值 -30.3 mV, 乳析指数 14.2%, 此时的 EWP-PE 具有较好的稳定性。2) EWP-PE 负载 β -胡萝卜素后, 其粒径随温度的升高而显著增加 ($P < 0.05$)。在 80 $^{\circ}\text{C}$ 条件下, 乳液中 β -胡萝卜素保留率达 65.8%。储藏 15 d 后, 乳液中 β -胡萝卜素的保留率为 42.8%, 显著高于油相中 β -胡萝卜素保留率 (27.5%)。结论: 负载 β -胡萝卜素的 EWP-PE 具有较好的热稳定性和储藏稳定性。本研究结果为拓宽 β -胡萝卜素在食品领域的应用提供了参考数据。

关键词 蛋清蛋白颗粒; Pickering 乳液; β -胡萝卜素; 稳定性

文章编号 1009-7848(2023)03-0271-07 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2023.03.028

Pickering 乳液是一种由固体颗粒稳定的乳液, 在其制备过程中不需要引入乳化剂, 稳定性好。近年来, 由于 Pickering 乳液具有良好的控制释放和运载等优势, 因此能够有效改善亲脂性物质的水溶性、稳定性和生物利用率, 在食品领域和包埋递送体系中得到广泛应用^[1-2]。 β -胡萝卜素 (β -carotene) 是一种存在于许多水果和蔬菜中的天然亲脂性色素, 作为维生素 A 的前体, 其具有抗氧化, 调节免疫系统和预防多种疾病等多种功能。然而, β -胡萝卜素溶解性差、易降解, 导致生物利用度较低, 限制了其在食品、医药等领域的应用^[3]。乳液负载 β -胡萝卜素可将其与周围环境隔开, 避免光、氧、温度、pH 等的影响, 可以改善 β -胡萝卜素的表观水溶性, 有利于增大其的生物利用率。Fu 等^[4]制备小麦蛋白纳米颗粒-黄原胶 Pickering 乳液, 用于包封 β -胡萝卜素, 结果表明, 乳液体系提高了 β -胡萝卜素的稳定性和生物可及性。Han 等^[5]将 β -胡萝卜素包埋在由扇贝性腺分离蛋白和藻酸钙微珠制备的乳液中, 提高了 β -胡萝卜素的溶解性和稳定性。

蛋清蛋白产量丰富、资源广泛, 其氨基酸组成合理, 有利于人体吸收利用, 是食品加工中的重要配料^[6]。然而, 蛋清蛋白的乳化性相对较弱, 目前以其为原料制备 Pickering 乳液的研究较少。在食品加工过程中对蛋清蛋白采取不同的改性处理技术, 如超声波处理、热处理等, 可使其具有良好的乳化性和稳定性。Arzeni 等^[7]发现蛋清蛋白经超声处理后, 其功能性质发生显著变化。利用糖基化、磷酸化等^[8]化学方法可以改善蛋清蛋白的乳化性, 也有利用蛋白酶水解蛋白质的酶法改性来改善其乳化性^[9]。此外, 通过热处理、高压脉冲电场、超声处理等物理手段可改变蛋白质的结构和构象, 从而影响蛋清蛋白的乳化性质^[10]。以蛋清蛋白作为乳化剂, 是利用蛋白质的亲水-亲油特性, 对蛋清蛋白进行不同方式的改性, 以调节其乳化性, 并以此为原料制备固体颗粒, 使其以颗粒的形式吸附到油-水界面, 得到 Pickering 乳液^[11-12]。本研究基于前期研究, 制备超声-TG 酶联合改性蛋清蛋白凝胶颗粒, 以此为原料制备 Pickering 乳液。研究蛋清蛋白含量和油相比例在蛋清蛋白 Pickering 乳液 (Egg white protein Pickering emulsion, EWP-PE) 制备中的影响, 探究该乳液负载 β -胡萝卜素的稳定性变化, 以期拓宽 β -胡萝卜素的应用范围。

收稿日期: 2022-03-23

基金项目: 2018 年度科技部创新方法工作专项
(2018IM030100)

第一作者: 潘晴楣, 女, 硕士生

通信作者: 郭丹郡 E-mail: missguodj@163.com

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鸡蛋,神丹蛋品有限公司;大豆油,武商超市市售。

盐酸、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、考马斯亮蓝试剂盒、壳聚糖、 β -胡萝卜素,上海叶源生物有限公司;谷氨酰胺转氨酶(100 U/g),江苏一鸣生物股份有限公司。

1.2 仪器与设备

YB-1000A型纳米粒度、Zeta电位和分子量分析仪,英国MALVERN;UV2000紫外-可见分光光度计,尤尼柯(上海)仪器有限公司;超声细胞粉碎机、冷冻干燥机、XHF-DY型高速分散器,宁波新芝生物科技股份有限公司。

1.3 方法

1.3.1 EWP-PE的制备 参考Guo等^[13]的方法并略有改动,分离鲜鸡蛋的蛋黄与蛋清,将蛋清在25℃下以450 r/min的速度搅拌1 h,纱布过滤,弃不溶性物质,采用考马斯亮蓝测得蛋清蛋白的含量为10%。取30 mL蛋清蛋白溶液在功率240 W下对蛋清蛋白超声10 min,用1 mol/L HCl溶液调蛋清的pH值至7.0,用磁力搅拌器在25℃下搅拌2 h,加入谷氨酰胺转氨酶(20 U/g蛋清蛋白)水浴反应2 h,用谷氨酰胺转氨酶促进蛋清蛋白共价交联。将蛋清蛋白溶液于90℃水浴加热40 min,然后立即冰浴冷却。样品在4℃条件下放置24 h,得到蛋清蛋白凝胶。加入蛋清蛋白凝胶质量10倍的超纯水,在10 000 r/min条件下使用高速分散器破碎凝胶2 min。用高压微射流均质机在138 MPa下均质3次,得到蛋白含量为10%的蛋清蛋白凝胶分散液。将分散液稀释后,依次取蛋白含量为1%、2%、3%、4%、5%的蛋清蛋白凝胶分散液,加入一定量的大豆油,使大豆油的体积分数分别为20%、40%,将混合液以15 000 r/min的转速在高速均质机中均质2 min,制得蛋清蛋白Pickering乳液。

1.3.2 负载 β -胡萝卜素的EWP-PE的制备 将 β -胡萝卜素溶于大豆油中,使其终含量为0.05%,50℃超声10 min使其充分溶解。取蛋白含量为4%的蛋清蛋白凝胶分散液,加入体积分数为40%的大豆油,将混合液以15 000 r/min的转速在高速

均质机中均质2 min,制得负载 β -胡萝卜素的EWP-PE乳液。

1.3.3 粒径的测定 取新鲜制备的乳液,将其稀释100倍,取1.5 mL稀释后的样品置于样品池中,使用Master-sizer 3000粒度分布仪分析其粒径分布。

1.3.4 电位的测定 采用Nano-ZS型激光光散射仪研究EWP-PE中蛋清蛋白凝胶颗粒分布。用超纯水将乳液稀释100倍,测定其电位,避免多重光散射,每个样品重复测定3次,每次循环扫描12次。

1.3.5 EWP-PE离心稳定性研究 将EWP-PE在8 000×g下离心45 min,观察其乳析及油析现象。

1.3.6 光学显微镜观察 采用光学显微镜观察乳液微观结构。每个样品采集5次,取最具代表性的图像。

1.3.7 β -胡萝卜素含量的测定 EWP-PE中 β -胡萝卜素含量的测定^[14]:准确称取1 g乳液,正己烷+乙醇(3:2)混合溶剂连续提取3次,合并上相,定容10 mL。以正己烷为参比,测定450 nm处吸光度,样品中 β -胡萝卜素含量通过标准曲线计算。

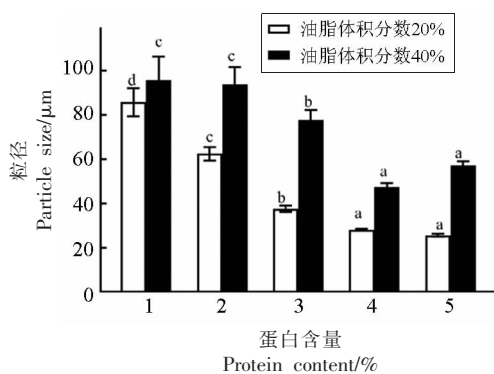
1.4 数据统计分析

所有试验至少重复3次,数据以 $x\pm s$ 表示(x 为平均值, s 为标准偏差, $n=3$)。采用GraphPad Prism 8软件绘图,SPSS 22软件进行方差分析,试验数值间以Duncan法进行显著性差异分析($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 EWP-PE稳定性

2.1.1 粒径 由图1可知,当蛋清蛋白凝胶颗粒蛋白含量为1%~2%时,EWP-PE的粒径较大,当蛋白含量增加到4%时,EWP-PE的粒径均显著性降低($P<0.05$)。其原因为蛋清蛋白凝胶颗粒较多、蛋白含量较高可以形成致密的界面膜,有效阻止液滴间聚合,油水界面的界面张力小,乳液体系更加稳定。Binks等^[14]研究发现蛋白含量每增加10倍,乳液粒径就会减小约1/8,蛋白含量与粒径及稳定性不呈线性关系。另外,当蛋清蛋白凝胶颗粒



注:图中不同英文字母表示差异显著($P<0.05$)。

图 1 蛋白含量、油相比对 EWP-PE 粒径的影响

Fig.1 The influence of protein content and oil ratio on the particle size of EWP-PE

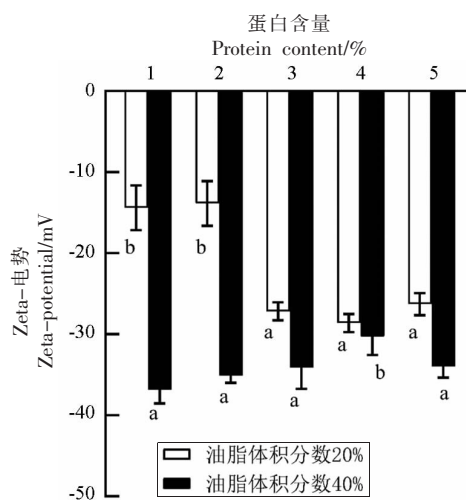
超过完全包裹界面需要的量时,过量颗粒增加了连续相的黏度,或形成 3D 网络凝胶结构来有效缓冲液滴间的接触,防止液滴间的聚结失稳。凝胶颗粒蛋白含量为 4%~5%,对 EWP-PE 的粒径无显著影响($P>0.05$)。实际上蛋白含量达到 4%后,在相同的乳化条件下,EWP-PE 的粒径不会受蛋白含量的影响。这与 Boostani 等^[15]的研究结果一致。当蛋清蛋白凝胶颗粒蛋白含量高于完全包裹界面所需的临界含量时,在相同的乳化条件下,液滴大小不受凝胶颗粒蛋白含量的影响。在制备 EWP-PE 时,选择蛋清蛋白凝胶颗粒蛋白含量为 4%的较好。

在凝胶颗粒蛋白含量相同时,油相比比例越低,EWP-PE 的粒径越小。其原因可能是在剪切强度和凝胶颗粒蛋白含量一定时,油相比比例越低,产生的油-水界面越少,油相比比例低的 EWP-PE 中有足够多的颗粒包裹油滴,阻碍油滴间的聚合,乳液更稳定,其粒径更小。随着油相比比例的增加,油-水界面增大,颗粒无法覆盖所有液滴表面,未吸附颗粒的界面间发生聚结,乳液液滴粒径变大。

2.1.2 电位 由图 2 可知,所有 EWP-PE 样品的电位值都为负值,这是因为蛋清蛋白由卵白蛋白、卵转铁蛋白、卵黏蛋白、卵球蛋白等多种蛋白质组成,其主要蛋白质的等电点在 4~5 之间,而乳液的 pH 值在 7.0 左右,高于蛋清蛋白等电点。卢锦丽^[16]研究表明,当乳液的电位绝对值低于 30 mV 时,乳液不稳定。在油相体积分数为 20%时,EWP-PE 样品的电势为-15~-30 mV,此条件下制备的乳

液不稳定。随着凝胶颗粒蛋白含量的增加,EWP-PE 的电位绝对值呈增加的趋势,其原因可能为乳滴表面吸附的颗粒增加。在油相体积分数为 40%时,EWP-PE 样品的电势为-30~-40 mV,此条件下制备的乳液较为稳定。

2.1.3 离心稳定性分析 为加速乳液分层,对 EWP-PE 样品进行离心。离心后的乳液发生分层,离心管下层为水层,上层为被蛋清蛋白颗粒包裹的乳液层。由图 3 可知,当油相比比例相同时,在凝胶颗粒蛋白含量为 1%~2%时,有少量油相析出;而当凝胶颗粒蛋白含量大于 3%时,乳液基本无明显的析油现象,说明随着凝胶颗粒蛋白含量的增加,乳液的离心稳定性提高。当凝胶颗粒蛋白含量一定时,油相比比例越高,乳液离心稳定性越差。其



注:图中不同英文字母表示差异显著($P<0.05$)。

图 2 凝胶颗粒蛋白含量、油相比对 EWP-PE 电位的影响

Fig.2 The influence of particle concentration and oil ratio on the potential of EWP-PE

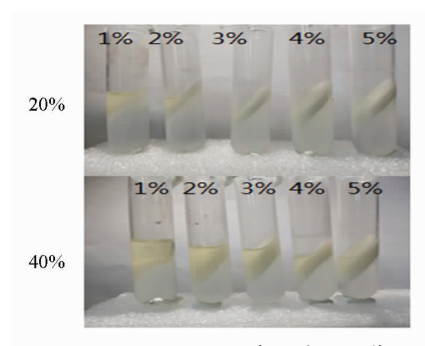


图 3 EWP-PE 离心宏观图像

Fig.3 Macro image of EWP-PE centrifuge

可能原因为随着油相体积分数的增加,乳液体系中颗粒的相对含量减小,在乳液表面的吸附量较少,因此乳液具有较差的离心稳定性^[17-19]。

2.1.4 显微结构 如图4所示,随着凝胶颗粒蛋白含量的增加,EWP-PE的粒径显著减小($P<0.05$),该结果与粒径测定结果一致。在油相体积分数为20%时,EWP-PE具有良好的分散性。而油相体积分数为40%,凝胶颗粒蛋白含量为1%时,EWP-PE的粒径较大,出现破乳现象,其原因为油滴表

面蛋白吸附量较少,无法降低油滴表面张力致其稳定,油相容易聚集,出现破乳现象^[14],此结果与离心稳定性的结果一致。

综上所述,当油相比比例40%、凝胶颗粒蛋白含量4%时,乳液粒径47.4 μm ,电位值-30.3 mV,乳析指数14.2%,离心后未出现析油现象。此时制备的EWP-EP具有较好的乳液特性,乳液液滴分布较为均匀,不易聚集,较为稳定。在此基础上制备负载 β -胡萝卜素的EWP-PE。

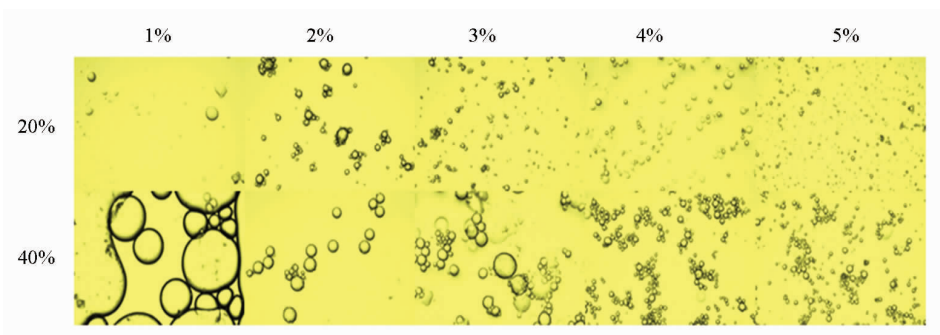


图4 EWP-PE显微图像

Fig.4 Microscopic images of EWP-PE at different particle concentrations

2.2 EWP-PE 负载 β -胡萝卜素的稳定性

2.2.1 热稳定性

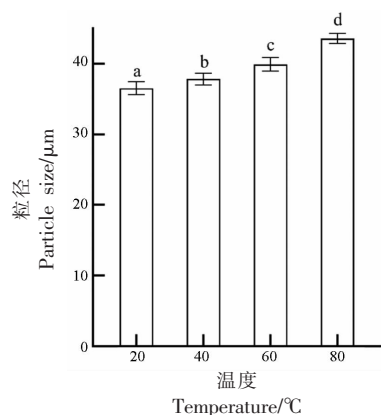
1) 粒径分析 如图5可知,随着温度的升高,乳液的粒径显著增加($P<0.05$),在20 $^{\circ}\text{C}$ 时乳液的粒径为36.5 μm ,当温度升到80 $^{\circ}\text{C}$ 时,乳液的粒径上升到43.5 μm 。负载 β -胡萝卜素的EWP-PE粒径增加,一方面可能是热处理会加剧乳液中乳滴的运动,乳液发生碰撞而使其粒径增大;另一方面可能由于热处理温度升高,蛋清蛋白变性程度增加,疏水基团进一步暴露,包裹在脂肪外面的蛋清蛋白发生聚集,导致粒径增加,这与李红娟等^[20]的研究结果一致。

2) β -胡萝卜素保留率分析 由图6可知,乳液中 β -胡萝卜素的保留率均随温度的升高而显著性下降($P<0.05$),可能是因为温度升高增加了乳液的流动性,促进了 β -胡萝卜素的降解,这与Yuan等^[22]的研究结果一致。乳液在80 $^{\circ}\text{C}$ 条件下 β -胡萝卜素的保留率仍为65.8%,其原因为乳液表面有一乳化剂层,提高了乳液的稳定性,有效阻隔诱导 β -胡萝卜素分解的外界因素^[20-21]。

2.2.2 储藏稳定性分析 由图7a可知,负载 β -

胡萝卜素的EWP-PE的粒径随储藏时间的延长显著增大($P<0.05$)。负载 β -胡萝卜素的EWP-PE的粒径为36.5 μm ,储藏15 d后,粒径增加至46.7 μm ,较新鲜乳液的粒径增大了27.9%。其原因为负载 β -胡萝卜素的EWP-PE表面的电势很小,乳滴间的静电斥力较小,在储藏期间乳液运动时易发生碰撞,然后聚合形成粒径较大的乳液。这与李红娟等^[20]的研究结果一致。

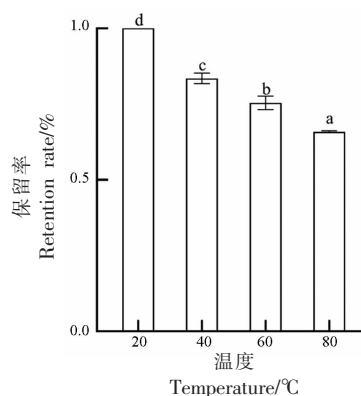
由图7b可知,负载 β -胡萝卜素的EWP-PE中, β -胡萝卜素的保留率随时间的延长而显著下降($P<0.05$)。以负载 β -胡萝卜素的油相作为空白,第3天时,大豆油中 β -胡萝卜素的保留率为67.3%,乳液中 β -胡萝卜素的保留率为81.2%;储藏第15天时,负载 β -胡萝卜素的EWP-PE中 β -胡萝卜素的保留率为42.8%,负载 β -胡萝卜素的油相中其保留率为27.5%。其原因为大豆油中, β -胡萝卜素可以直接接触光照及储藏瓶中的氧气,极易发生氧化而降解,使油相中 β -胡萝卜素的保留率偏低;而负载 β -胡萝卜素的EWP-PE可以隔绝一些促其降解的因子,此外,负载 β -胡萝卜素的EWP-PE中的蛋清蛋白具有一定的抗氧化性,



注:图中不同英文字母表示差异显著($P<0.05$)。

图 5 温度对负载 β -胡萝卜素的 EWP-PE 粒径的影响

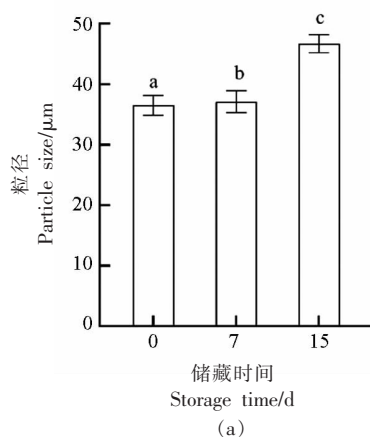
Fig.5 The effect of temperature on the particle size of EWP-PE loaded with β -carotene



注:图中不同英文字母表示差异显著($P<0.05$)。

图 6 温度对 β -胡萝卜素保留率的影响

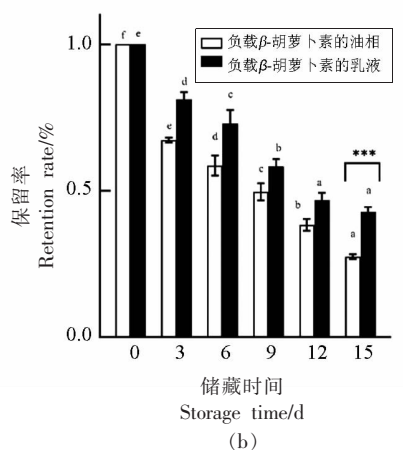
Fig.6 The effect of temperature on beta-carotene retention



注:图中不同英文字母表示差异显著($P<0.05$),“***”表示 $P<0.001$ 。

图 7 负载 β -胡萝卜素的 EWP-PE 的粒径和 β -胡萝卜素保留率的变化

Fig.7 The changes in particle size and beta-carotene retention rate of EWP-PE loaded with beta-carotene



对 β -胡萝卜素具有一定的保护作用^[23-24]。乳液中 β -胡萝卜素的保留率高于大豆油中。

3 结论

通过研究油相比比例和凝胶颗粒蛋白含量对 Pickering 乳液特性的影响发现,当油相比比例为 40%,凝胶颗粒蛋白含量为 4%时,EWP-PE 稳定性较好。EWP-PE 负载 β -胡萝卜素后,随着温度和储藏时间的增加,乳液的粒径增大,稳定性降低,而负载 β -胡萝卜素的 EWP-PE 在 80 °C 条件

下 β -胡萝卜素仍有较高的保留率。储藏过程中,负载 β -胡萝卜素的 EWP-PE 中, β -胡萝卜素的保留率较油相中的保留率提高了 13.9%。结果表明,负载 β -胡萝卜素的 EWP-PE 具有较好的热稳定性和储藏稳定性,提高了 β -胡萝卜素的溶解性,在一定程度上降低了 β -胡萝卜素的降解速率,扩大了其的应用范围。本研究结果为制备一种绿色健康的食品级 Pickering 乳液,并以此作为载体传递功能因子提供了试验数据。

参 考 文 献

- [1] JIN H, LIU C, ZHANG S, et al. Comparison of protein hydrolysates against their native counterparts in terms of structural and antioxidant properties, and when used as emulsifiers for curcumin nanoemulsions[J]. *Food & Function*, 2020, 11(11): 10205–10218.
- [2] YE F, MIAO M, CUI S W, et al. Characterisations of oil-in-water Pickering emulsion stabilized hydrophobic phytylglycogen nanoparticles[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 76: 78–87.
- [3] BRIVIBA K, SCHNÄBELE K, SCHWERTLE E, et al. β -Carotene inhibits growth of human colon carcinoma cells *in vitro* by induction of apoptosis[J]. *Biological Chemistry*, 2001, 382(12): 1663–1668.
- [4] FU D, DENG S, MCCLEMENTS D J, et al. Encapsulation of β -carotene in wheat gluten nanoparticle-xanthan gum-stabilized Pickering emulsions: Enhancement of carotenoid stability and bioaccessibility[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 89: 80–89.
- [5] HAN J R, ZHANG Z P, SHANG W H, et al. Modulation of physicochemical stability and bioaccessibility of β -carotene using alginate beads and emulsion stabilized by scallop (*Patinopecten yessoensis*) gonad protein isolates[J]. *Food Research International*, 2020, 129: 1–11.
- [6] FOEGEDING E. A, LUCK P. J, DAVIS J P. Factors determining the physical properties of protein foams[J]. *Food Hydrocolloids*, 2006, 20(2/3): 284–292.
- [7] ARZENI C, MARTÍNEZ K, ZEMA P, et al. Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality[J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 108(3): 463–472.
- [8] LIU G, YUAN D, WANG Q, et al. Maillard-reaction-functionalized egg ovalbumin stabilizes oil nanoemulsions[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(16): 4251–4258.
- [9] AI M M, TANG T, ZHOU L D, et al. Effects of different proteases on the emulsifying capacity, rheological and structure characteristics of preserved egg white hydrolysates[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 87: 933–942.
- [10] 赵伟, 杨瑞金, 张文斌, 等. 高压脉冲电场作用下蛋清蛋白功能性质和结构的变化[J]. *食品科学*, 2011, 32(9): 91–96.
- ZHAO W, YANG R J, ZHANG W B, et al. Changes in functional properties and structure of egg white proteins induced by pulsed electric fields[J]. *Food Science*, 2011, 32(9): 91–96.
- [11] QIN X S, LUO Z, PENG X. Fabrication and characterization of quinoa protein nanoparticle-stabilized food-grade Pickering emulsions with ultrasound treatment: Effect of ionic strength on the freeze-thaw stability[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(17): 8363–8370.
- [12] KIOKIAS S, DIMAKOU C, OREOPOULOU V. Effect of heat treatment and droplet size on the oxidative stability of whey protein emulsions[J]. *Food Chemistry*, 2007, 105(1): 94–100.
- [13] GUO J, ZHOU Q, LIU Y C, et al. Preparation of soy protein-based microgel particles using a hydrogel homogenizing strategy and their interfacial properties[J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, 58: 324–334.
- [14] BINKS B P. Macroporous silica from solid-stabilized emulsion templates[J]. *Advanced Materials*, 2002a, 14(24): 1824–1827.
- [15] BOOSTANI S, HOSSEINI S M H, GOLMAKANI M T, et al. The influence of emulsion parameters on physical stability and rheological properties of Pickering emulsions stabilized by hordein nanoparticles[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 101: 105520.
- [16] 卢锦丽. 食品级纯胶 O/W 乳液稳定性及流变特性研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2013: 48–50.
- LU J L. Study on stability and rheological properties of oil in water emulsions prepared by food grade pure gum[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2013: 48–50.
- [17] 张琳琳, 朱宇竹, 江杨, 等. 热改性莱阳芋头淀粉对乳液形成及稳定性的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(6): 51–5.
- ZHANG L L, ZHU Y Z, JIANG Y, et al. Effect of heat-modified starch from laiyang taro on the formation and stability of emulsions[J]. *Food Science*, 2020, 41(6): 51–5.
- [18] 刘竞男, 徐晔晔, 王一贺, 等. 高压均质对大豆分离蛋白乳液流变学特性和氧化稳定性的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(1): 80–85.
- LIU J N, XU Y Y, WANG Y H, et al. Effect of high pressure homogenization on rheological proper-

- ties and oxidation stability of soy protein isolate-stabilized emulsion[J]. Food Science, 2020, 41(1): 80-85.
- [19] 周海媚. 大豆纤维改性粒子制备及其 Pickering 乳液特性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017: 75-80.
ZHOU H M. Studies on the preparation of modified soybean cellulose and properties of Pickering emulsion[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017: 75-80.
- [20] 李红娟, 赵树静, 孔宇, 等. 蛋白浓度及热处理温度对乳清蛋白-黄油乳液体系影响研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(4): 1-11.
LI H J, ZHAO S J, KONG Y, et al. Effect of protein concentration and heat treatment temperature on whey protein-butter emulsion system[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(4): 1-11.
- [21] 陈艾霖, 洪鹏志, 宋春勇, 等. 热处理对负载叶黄素的罗非鱼分离蛋白乳液稳定性和体外消化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 6(10): 1-13.
CHEN A L, HONG P Z, SONG C Y, et al. Effect of heat treatment on stability and *in vitro* digestion of lutein loaded tilapia protein isolate[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 6(10): 1-13.
- [22] YUAN Y, GAO Y X, ZHAO J, et al. Characterization and stability evaluation of β -carotene nanoemulsions prepared by high pressure homogenization under various emulsifying conditions [J]. Food Research International, 2008, 41(1): 61-68.
- [23] ASEMI Z, ALIZADEH S A, AHMAD K, et al. Effects of beta-carotene fortified synbiotic food on metabolic control of patients with type 2 diabetes mellitus: A double-blind randomized cross-over controlled clinical trial[J]. Clinical Nutrition, 2016, 35(4): 819-825.
- [24] SZTERK A, ROSZKO M, GORNICKA E. Chemical Stability of the lipid phase in concentrated beverage emulsions colored with natural β -carotene[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2013, 90(4): 483-491.

Preparation of Pickering Emulsion Stabilized by Egg White Protein Particles and the Stability of β -Carotene Loaded

Pan Qingmei, Zhang Zhipeng, Ran Letong, Xu Wei, Wang Hongxun, Yi Yang, Guo Danjun*
(School of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023)

Abstract In this study, egg white protein gel particles were used as an emulsifier to prepare Pickering emulsion. The effects of oil phase ratio and particles concentration on egg white protein Pickering emulsion (EWP-PE) were studied. Loaded with β -carotene, the thermal stability and storage stability of the emulsion were studied. The results showed that: 1) When the content of egg white protein was 4% and the oil phase ratio was 40%, the particle size of EWP-PE was 47.37 μm , the Zeta-potential value was -30.3 mV and the emulsion index was 14.2%. At this condition, the EWP-PE had good stability. 2) When EWP-PE was loaded with β -carotene, its particle size increased significantly with temperature increasing ($P < 0.05$). At 80 $^{\circ}\text{C}$, the retention rate of β -carotene in emulsion still maintained 65.8%. After 15 days of storage, the retention rate of β -carotene in EWP-PE was 42.8%, which was significantly higher than that in oil phase (27.5%). In conclusion, EWP-PE loaded with β -carotene showed good thermal stability and storage stability. This study provided reference data for the application of β -carotene in food field.

Keywords egg white protein gel particles; Pickering emulsion; β -carotene; stability