

辣椒红色素复凝聚微囊化工艺研究

黄国清, 孙兴丽, 徐真真, 肖军霞*

(青岛农业大学食品科学与工程学院, 青岛 266109)

摘要: **目的** 以大豆分离蛋白(soybean protein isolate, SPI)和壳聚糖(chitosan, CH)为壁材, 采用复凝聚法制备辣椒红色素(paprika red pigment, PRP)微胶囊。**方法** 以微胶囊的包埋产率和包埋效率为指标, 研究搅拌转速、复凝聚 pH、温度、时间及 SPI/CH 比对微囊化效果的影响。**结果** SPI/CH 复凝聚法制备 PRP 微胶囊的最佳工艺为: 将均匀的 PRP 乳状液冷却至室温, 按 SPI:CH=4:1(*m:m*)加入 0.6% 的 CH 溶液, 此时固形物浓度为 1.5%, 用 10% NaOH 溶液调节混合液的 pH 至 6.3, 25 °C、300 r/min 条件下搅拌 15 min 得到微胶囊悬浮液, 此时微胶囊的包埋产率为 90.05%, 效率为 95.08%。所得微胶囊大小不均一, 多以球形形式存在。**结论** SPI/CH 复凝聚体系可用于 PRP 的微囊化。

关键词: 辣椒红色素; SPI/CH 复凝聚法; 微囊化

Preparation of paprika red pigment microcapsules by complex coacervation

HUANG Guo-Qing, SUN Xing-Li, XU Zhen-Zhen, XIAO Jun-Xia*

(College of Food Science and Engineering, Qingdao Agriculture University, Qingdao 266109, China)

ABSTRACT: Objective To prepare paprika red pigment (PRP) microcapsules using complex coacervation using soybean protein isolate (SPI) and chitosan (CH) as coating materials. **Methods** Microencapsulation efficiency and yield were selected as the indicators to study the effects of reaction temperature, reaction duration, agitation speed, coacervation pH and SPI/CH ratio (*m:m*) on PRP microencapsulation. **Results** The optimum microencapsulation conditions were SPI/CH ratio 4:1, total solid concentration 1.5%, coacervation pH 6.3 and agitation at 300 r/min and 25 °C for 15 min. Under these conditions, the microencapsulation yield and microencapsulation efficiency reached up to 90.05% and 95.08% respectively. Microscopy observation revealed that the microcapsules were not uniform in size distribution and most were present as spheres. **Conclusion** The SPI/CH coacervation system can be successfully used in the microencapsulation of PRP.

KEY WORDS: paprika red pigment; SPI/CH complex coacervation; microencapsulation

1 引言

辣椒红色素(paprika red pigment, PRP)是一种天

然食用色素, 它安全无毒且具有营养保健功能, 被现代科学证明具有抗癌、抗辐射等功效, 因此具有良好发展前景^[1,2]。但是 PRP 是一种脂溶性色素, 在一般

基金项目: 国家自然科学基金项目(31571890)、山东省自然科学基金项目(ZR2015CM037)、校级博士基金项目(663-1114315)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31571890), the Natural Science Foundation of Shandong Province (ZR2015CM037) and the Doctoral Foundation of Qingdao Agricultural University (663-114315)

*通讯作者: 肖军霞, 博士, 教授, 主要研究方向为食品组分稳态化技术。E-mail: xjxfood@qau.edu.cn

*Corresponding author: XIAO Jun-Xia, Professor, College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, No.700, Changcheng Road, Chengyang District, Qingdao 266109, China. E-mail: xjxfood@qau.edu.cn

食品加工中很难与其他基料混合均匀,且在光照、氧等条件下非常不稳定,这极大地限制了它在食品工业中的应用。因此,设法增强 PRP 的使用性以及对环境条件的稳定性是其能得到更广泛应用的关键,微胶囊技术是解决这一问题的方法之一。微胶囊技术已被广泛用于维生素、油脂、色素和香辛料等的包埋,这些微囊化产品已被添加到奶粉、口香糖、速溶饮料等多种食品中。目前,以明胶或变性淀粉作为壁材^[3,4],以糊精、甘油等作为填充剂^[5],采用喷雾干燥法制备 PRP 微胶囊是提高 PRP 稳定性的主要方法。但喷雾干燥法的温度较高,容易造成 PRP 损失,且明胶由于其来源存在安全性问题故不适于食品工业的应用。冷脱水工艺(cold dehydration)也已被成功用于 RPR 油树脂的微囊化,但是该方法成本较高且很少用于食品工业^[6]。

复凝聚法是一种具有独特优势的微胶囊化方法,已被广泛应用于活性物质及不稳定成分的微胶囊化。它利用两种带不同电荷的聚电解质之间的静电作用而达到包埋芯材的目的^[7]。复凝聚法是一种具有极高产率和效率的微囊化方法,通过复凝聚法制备的微胶囊膜致密,对芯材有严密的包覆作用,且膜厚的调节范围较大,通过控制条件可获得具有不同缓释性能的囊膜,因此复凝聚法同其它微胶囊技术相比具有明显的优势。复凝聚法已被用于香精、鱼油、维生素及防腐剂等的包埋^[8]。应用于复凝聚微囊化工艺最常用的壁材组合是明胶/阿拉伯胶体系^[9]。壳聚糖(chitosan, CH)是一种带正电的多糖,由于它自身具有很好的吸附性、成膜性和生物相容性,且无毒、无害、易于生物降解,已被广泛用于医药、食品、化妆品等的微囊化^[10]。大豆分离蛋白(soybean protein isolate, SPI)则是一种来源广泛、价格低廉的植物蛋白质,而且是一种两性电解质,因此在适当条件下可作为聚阴离子与 CH 构成复凝聚体系以制备微胶囊。本文以 PRP 为芯材,以 SPI 和 CH 为壁材,研究了复凝聚法制备 PRP 微胶囊的工艺条件,以期得到具有较高包埋效率及产率的 PRP 微胶囊。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

大豆分离蛋白(食品级,青岛天新食品添加剂有限公司);壳聚糖(食品级,80mPa·S,山东金湖甲壳制

品有限公司);辣椒红色素(食品级,青岛市同兴天然色素科技有限公司);无水乙醇(分析纯,莱阳市康德化工有限公司);氢氧化钠、盐酸、冰醋酸(分析纯,天津市广成化学试剂有限公司)。

2.2 仪器与设备

UV-2000 紫外可见分光光度计(上海尤尼科仪器有限公司);SPS401F 万分之一分析天平(平赛多利斯科学仪器(北京)有限公司);90-3 恒温磁力搅拌器(上海亚荣生化仪器厂);KQ-500B 超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);DL-5-B 低速大容量离心机(上海安亭仪器设备厂);FJ200-SH 数显高速分散机(上海标本模型厂);Delta320 pH 计(梅特勒);GZ120 悬臂式恒速强力电动搅拌机(江阴市保利科研器械有限公司);HH-2 数显恒温水浴锅(龙口市先科仪器公司);NiKon YS100 双目生物显微镜(上海尼康有限公司);Canon IXUS 115 HS 数码相机(佳能(中国)有限公司)

2.3 辣椒红色素复凝聚微胶囊制备工艺

将 PRP 与一定体积的 pH 为 8.0、质量浓度为 2.4% 的 SPI 溶液混合,使溶液中 PRP/SPI 的比例达到 1:1.6(*m:m*)。将混合液在 45 °C、12000 r/min 下搅拌 20 min 形成均匀的 PRP 乳状液,按一定的比例 (SPI:CH, *m:m*)缓慢加入一定质量浓度的 CH 溶液,用 10% NaOH 溶液调节混合液的 pH,搅拌一定时间后将微胶囊悬浮液冷却到室温即得微胶囊悬浮液,将微胶囊湿囊取出后用滤纸吸干水分。具体的工艺流程如图 1 所示。

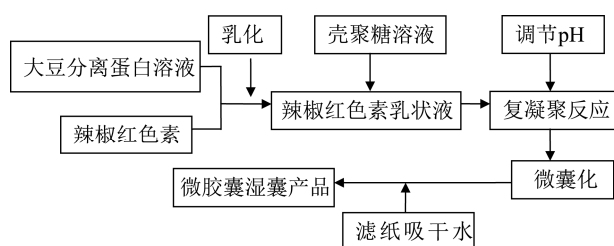


图 1 大豆分离蛋白/壳聚糖复凝聚法制备辣椒红色素微胶囊的工艺流程

Fig. 1 Procedure for the preparation of PRP microcapsules by SPI/CH coacervation

2.4 PRP 含量的测定

微胶囊产品中 PRP 的含量按以下公式计算^[11-14]:

$$C = \frac{A \times f}{E \times m}$$

式中: C —PRP 的含量(g/g); A —吸光度值; f —稀释倍数;

E —单位质量的 PRP 溶于乙醇, 在波长 475nm 处的消光系数(g^{-1});

m —微胶囊样品的质量(g)。

2.5 微囊化效率和产率的测定

微囊化效率和产率的计算公式如下:

$$\text{微囊化效率}(\%) = \left(1 - \frac{\text{微胶囊中表面PRP的含量}}{\text{微胶囊中PRP的总含量}} \right) \times 100;$$

$$\text{微囊化产率}(\%) = \frac{\text{微胶囊中PRP的总含量}}{\text{所加入的PRP的总量}} \times 100。$$

2.5.1 微胶囊表面 PRP 含量的测定

称取 0.1 g 微胶囊于试管中, 加入 10 mL 无水乙醇, 500 r/min 涡旋震荡 1 min, 静置 5 min, 取上清液用无水乙醇稀释至适当倍数(f)。以无水乙醇为对照, 于 475 nm 处测其吸光度^[11], 按照 2.4 的方法计算 PRP 的含量。

2.5.2 微胶囊中 PRP 总含量的测定

称取 0.1 g 微胶囊于试管中, 加入 10 mL 无水乙醇, 室温下以 500 W 的超声功率处理 20 min 左右, 直至 PRP 被完全提取出来, 此时下层为白色沉淀, 上清液为红色的液体。静置 5 min 后取上清液用无水乙醇稀释至适当倍数(f), 以无水乙醇作对照, 于 475 nm 处测定吸光度, 按照 2.4 的方法计算 PRP 的含量, 并根据微胶囊的总质量折算出被包埋的 PRP 总量。

2.5.3 反应体系中 PRP 总含量的测定

称取 0.1 g 微胶囊中需要加入 PRP 的总量于试管中, 加入 10 mL 无水乙醇, 室温下 500 W 超声处理 20 min。取出试管, 静置 5 min, 取其上清液用无水乙醇稀释至适当倍数(f), 以无水乙醇作对照, 于 475 nm 处测定吸光值, 利用 2.4 的方法计算 PRP 的含量。

2.6 辣椒红色素微胶囊形态的观察

用吸管吸取少量微胶囊悬浮液, 置于载玻片上。盖上盖玻片, 采用 Nikon YS100 型双目生物显微镜观测, 放大 400 倍, 用 Canon IXUS 115 HS 相机拍照。

2.7 数据处理

每个试验重复 3 次, 结果以 $\bar{x} \pm sd$ 表示。采用 Excel 及 SAS V8.1 数据处理软件进行分析。组间差异显著性分析采用方差分析(analysis of variance, ANOVA)中的 Tukey HSD 测试, 显著水平小于 0.05 时认为差异显著。

3 结果与讨论

3.1 辣椒红色素复凝聚微囊化工艺

3.1.1 搅拌速度对微胶囊包埋效果的影响

将 PRP 乳状液与 0.6% 的 CH 溶液等体积混合, 保持 SPI:CH 质量比为 4:1, 用 10% NaOH 溶液调节混合液的 pH 到 6.5, 25 °C 水浴下低速搅拌 10 min。搅拌速度对微胶囊包埋效果的影响见图 2。

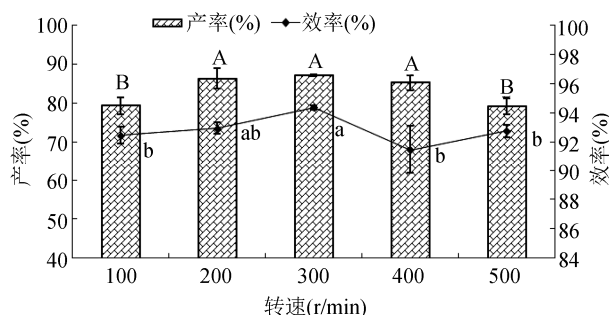


图 2 搅拌速度对微胶囊包埋效果的影响

Fig. 2 Effect of stirring rate on the efficiency and yield of PRP microcapsules

注: 不同字母代表差异显著($P < 0.05$), 下同。

Notes: Bars with different letters indicate significant different at $P < 0.05$, similarly here in after.

搅拌速度对芯材的分散程度以及瞬间形成的微胶囊稳定性有直接的影响。搅拌速度过慢, 芯、壁材相互之间混合不均匀, 所形成的微胶囊成囊率低, 对 PRP 的包埋率也低; 搅拌速度过快, 容易造成所形成的微胶囊的破裂, 从而影响 PRP 的包埋率^[15]。本文观察到的结果与该规律一致。由图 2 可知, 随着搅拌速度的不断增加, 微胶囊包埋效率和产率均呈先增加后下降的趋势, 且在搅拌速度为 300 r/min 时, 微胶囊包埋产率和效率达到最大。在 200、300 和 400 r/min 的搅拌速度下, 包埋产率无显著性差异; 200、300 r/min 时的包埋效率差异不显著。考虑到过低的搅拌速度会使微胶囊形成不完全, 因此, 选择搅拌速度为 300 r/min。

3.1.2 复凝聚 pH 值对微胶囊包埋效果的影响

将 PRP 乳状液与 0.6% 的 CH 溶液等体积混合, 保持 SPI:CH 质量比为 4:1, 用 10% NaOH 溶液调节混合液的 pH, 25 °C、200 r/min 搅拌 10 min。pH 对微胶囊包埋效果的影响见图 3。

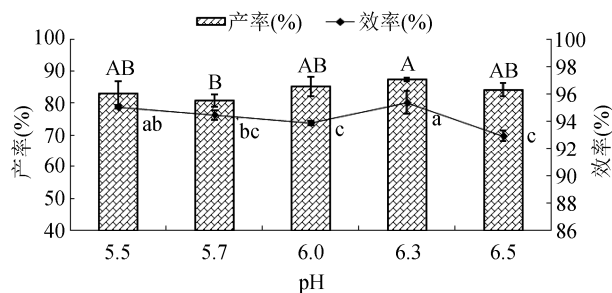


图3 复凝聚 pH 值对微胶囊包埋效果的影响

Fig. 3 Effect of coacervation pH on the efficiency and yield of PRP microcapsules

SPI的等电点在4.5左右,当pH值低于等电点时,SPI带正电;当pH值高于等电点时,SPI带负电。等电点以上随着pH的增加,解离的 $-\text{COO}^-$ 含量随之增加,当增加到某一个点时,带负电的SPI和带正电的CH最大程度的结合,产生静电作用,发生复凝聚反应。由图3可知,当pH为6.3时,微胶囊包埋产率和包埋效率均达到最大,包埋产率达到87.4%,包埋效率则高达95.39%。该结果与前期的研究结论一致,即SPI与CH发生复凝聚反应的最适pH值在6.0~6.5之间^[16]。在pH为6.0、6.3和6.5时,微胶囊产率无显著性差异,但微胶囊效率呈显著性差异,这可能是由于pH值对SPI的乳化活性有影响,在pH6.3时SPI的乳化活性最高^[17],而高的乳化活性有助于包埋效率的提高。

3.1.3 温度对微胶囊包埋效果的影响

除了静电相互作用外,氢键和疏水性相互作用在复凝聚反应中也起着重要作用^[18],因此温度也可能会影响PRP的微囊化。将PRP乳状液与0.6%的CH溶液等体积混合,保持SPI:CH质量比为4:1,用10% NaOH溶液调节混合液的pH到6.5,200 r/min下搅拌10 min。搅拌温度对微胶囊包埋效果的影响见图4。

由图4可知,在25~55℃之间,虽然微胶囊的包埋产率和效率均无显著性差异,但是25℃时包埋产率最大,达到了86.26%,该结果与SPI/CH的最适复凝聚反应温度一致^[16]。55℃时微胶囊效率最高,达到了93.89%。这可能是由于在此温度下SPI发生适度变性,结构变得更加舒展,因此此时乳化活性最高,使得微囊化效率有所增加。由于25℃时微胶囊效率也高达92.95%,与55℃时的数据无显著差异,故选择微囊化温度为25℃。

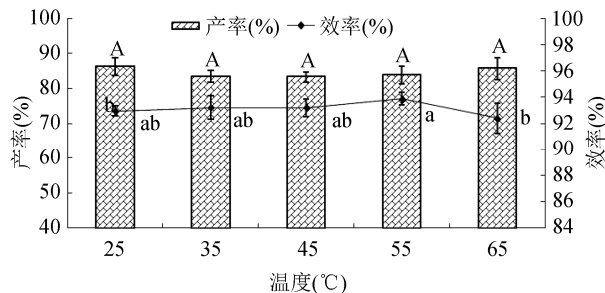


图4 温度对微胶囊包埋效果的影响

Fig. 4 Effect of temperature on the efficiency and yield of PRP microcapsules

3.1.4 搅拌时间对微胶囊包埋效果的影响

将PRP乳状液与0.6%的CH溶液等体积混合,保持SPI:CH质量比为4:1,用10% NaOH溶液调节混合液的pH到6.5,200 r/min下搅拌。搅拌时间对微胶囊包埋效果的影响见图5。

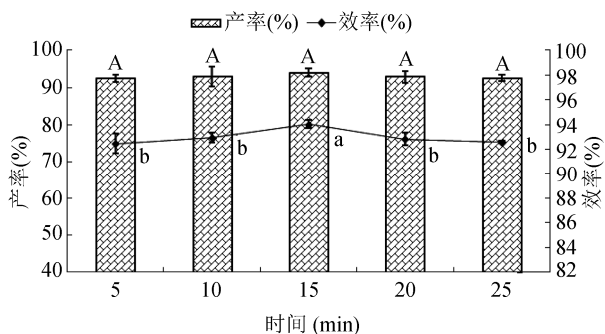


图5 搅拌时间对微胶囊包埋效果的影响

Fig. 5 Effect of stirring time on the efficiency and yield of PRP microcapsules

搅拌时间是影响微胶囊包埋效果的一个重要因素,合适的反应时间能够使SPI/CH体系发生充分的相互作用形成复合壁材包覆在PRP周围。由图5可知,各搅拌时间下的微囊化产率并无显著性差异,均达到了85%以上,表明SPI与CH之间的静电相互作用可以迅速完成,这与本文作者的前期研究结果一致^[16]。包埋效率随着搅拌时间的延长呈先上升后下降的趋势,搅拌15 min时包埋效率最高达到94.04%,且与其它各组均有显著差异。当反应时间进一步延长时,包埋效率开始下降。这可能是由于微胶囊囊壁未经交联,致密性稍差;当微胶囊在溶液中存在时间过长时,PRP从微囊内部渗透至微囊表面导致微胶囊效

率有所降低。因此, 选择微囊化搅拌时间为 15 min。

3.1.5 壁材比(SPI:CH)对微胶囊包埋效果的影响

将 PRP 乳状液与一定量的 CH 溶液混合, 用 10% NaOH 溶液调节混合液的 pH 到 6.5, 200 r/min 下搅拌 10 min。壁材比(SPI:CH)对微胶囊包埋效果的影响见图 6。

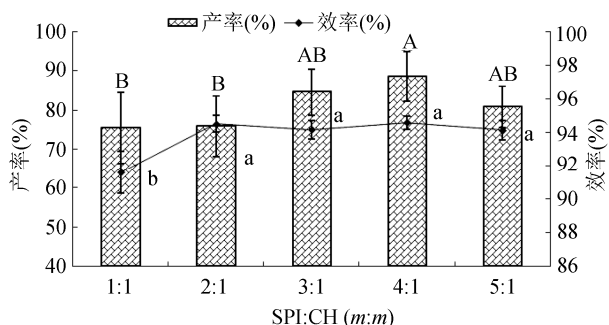


图 6 壁材比对微胶囊包埋效果的影响

Fig. 6 Effect of SPI to CH ratio on the efficiency and yield of PRP microcapsules

复凝聚法利用两种带相反电荷聚电解质之间的静电相互作用产生沉淀的原理达到芯材包埋的目的, 当有关的两种聚电解质所带电荷数恰好相等时, 对芯材的包埋效果最好。壁材比影响环境中正负电荷的数目, 因此对微胶囊的包埋率有很大影响。壁材比例过高, 包埋率不会太低, 但对微胶囊的形成及微胶囊的成型和大小有负作用, 产品的芯材含量也会偏低。由图 6 可知, 微胶囊包埋产率随 SPI:CH 比值的增加呈先增加后减少的趋势, 在 4:1 时最大, 为 88.58%。该数值与 SPI/CH 发生复凝聚反应的最适比例一致^[16]。当比值从 1:1 增加到 2:1 时, 微胶囊的包埋效率明显增加, 从 91.58% 提高到 94.50%, 差异显著; 当 SPI:CH 从 2:1 进一步增加到 5:1 时, 包埋效率不再发生显著变化。因此, 选择 SPI:CH 比值为 4:1, 此时包埋效果最佳。

3.2 辣椒红色素微囊的微观形态

根据预试验以及单因素试验确定最佳微囊化工艺: 将均匀的 PRP 乳状液冷却至室温, 按 SPI:CH 比为 4:1 等体积加入 0.6% 的 CH 溶液, 用 10% NaOH 溶液调节混合液的 pH 到 6.3, 25 °C、300 r/min 搅拌 15 min, 得微胶囊悬浮液, 此时湿囊的包埋产率为 90.05%, 效率为 95.08%。图 7 为最佳工艺条件下所

得辣椒红色素微胶囊微观形态, 由图可以清楚的看见辣椒红色素位于中心形成了辣椒红色微胶囊, 且微胶囊大小不均一, 多以球形形式存在, 这与 Mendanha 等^[19]利用大豆分离蛋白与果胶为壁材, 通过复凝聚法包埋酪蛋白水解物所得微胶囊的显微形态一致。

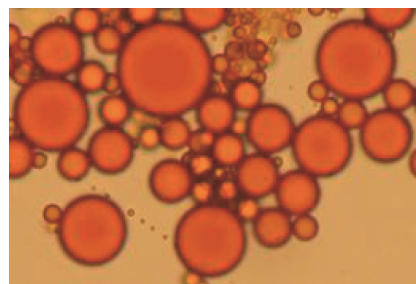


图 7 辣椒红色素微胶囊的微观形态图(400×)

Fig. 7 Morphology of PRP microcapsules (400×)

4 结 论

采用 SPI/CH 复凝聚法, 在制备得到的 PRP 乳化液的基础上, 添加 CH, 调节混合液的 pH 使 SPI 和 CH 发生复凝聚反应来制备 PRP 微胶囊, 以微胶囊的包埋产率和效率为检测指标, 研究了搅拌转速、pH、温度、时间、SPI/CH 比对微囊化效果的影响, 确定最佳微囊化工艺。结果表明, SPI/CH 复凝聚法制备辣椒红色素微胶囊的最佳工艺为: 将均匀的 PRP 乳状液冷却至室温, 按 SPI:CH 质量比为 4:1 等体积加入 0.6% 的 CH 溶液, 此时固形物浓度为 1.5%, 用 10% NaOH 溶液调节混合液的 pH 到 6.3, 25 °C、300 r/min 搅拌 15 min, 得微胶囊悬浮液, 此时湿囊的包埋产率为 90.05%, 效率为 95.08%, 所得微胶囊大小不均一, 且多以球形形式存在。

参考文献

- [1] 武占省, 江英, 赵晓梅, 等. 天然辣椒红色素的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2004, (6): 22-25.
Wu ZS, Jiang Y, Zhao XM, et al. Research progress on capsicum red pigment [J]. China Food Addit, 2004, (6): 22-25.
- [2] Anal AK, Singh H. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery [J]. Trends Food Sci Technol, 2007, 18(5): 240-251.
- [3] 马娜, 柴志妮, 孟晓, 等. 辣椒红色素微胶囊的制备[J]. 中国

- 酿造, 2008, 201(24): 72-74 .
- Ma Y, Cai ZN, Meng X, *et al.* Preparation of micro-capsanthin [J]. *China Brew*, 2008, 201(24): 72-74.
- [4] 唐永富, 查勇, 李积华, 等. 微胶囊化辣椒红色素工艺研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(20): 207-210 .
- Tang YF, Zha Y, Li JH, *et al.* Optimization of microencapsulation of paprika oleoresin [J]. *Food Sci*, 2009, 30(20): 207-210.
- [5] 赵学伟, 董旭丽, 孙付友, 等. 一种制备辣椒红色素微胶囊的方法[P]. CN101921496 .
- Zhao XW, Dong XL, Sun FY, *et al.* A method for the preparation of pepper paprika red pigment microcapsules [P]. CN101921496.
- [6] Zilberboim R, Kopelman IJ, Talmon Y. Microencapsulation by a dehydrating liquid: retention of paprika oleoresin and aromatic esters [J]. *J Food Sci*, 1986, 51(5):1301-1306.
- [7] De Kruif CG, Weinbreck F, De Vries R. Complex coacervation of proteins and anionic polysaccharides [J]. *Curr Opin Colloid Int Sci*, 2004, 9(6): 340-349.
- [8] Gouin S. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2004, 15(7-8): 330-347.
- [9] Xing F, Cheng G, Yi K, *et al.* Nanoencapsulation of capsaicin by complex coacervation of gelatin, acacia, and tannins [J]. *J Appl Polym Sci*, 2005, 96(6): 2225-2229.
- [10] Estevinho BN, Rocha F, Santos L, *et al.* Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications - A review [J]. *Trends Food Sci Technol*, 31(2): 138-155.
- [11] Rodriguez-Huezo ME, Pedroza-Islas R, Prado-Barragán LA, *et al.* Microencapsulation by spray drying of multiple emulsions containing carotenoids [J]. *J Food Sci*, 2004, 69(7): 351-359.
- [12] Shu B, Yu W, Zhao Y, *et al.* Study on microencapsulation of lycopene by spray drying [J]. *J Food Eng*, 2006, 76(4): 664-669.
- [13] Schierle J, Bretzel W, Faccin N, *et al.* Content and isomeric ratio of lycopene in food and human blood plasma [J]. *Food Chem*, 1997, 59(3): 459-465.
- [14] 孙燕婷. 大豆分离蛋白-壳聚糖复凝聚相及其载油微胶囊的制备和表征[D]. 青岛: 青岛农业大学, 2012 .
- Sun YT. Preparation and characterization of soybean protein isolate-chitosan coacervate and its oil-loaded microcapsules [D]. Qingdao: Qingdao Agricultural University, 2012.
- [15] Laine P, Lampi AM, Peura M, *et al.* Comparison of microencapsulation properties of spruce galactoglucomannans and arabic gum using a model hydrophobic core compound [J]. *J Agric Food Chem*, 2010, 58(2): 981-989.
- [16] Huang GQ, Sun YT, Xiao JX, *et al.* Complex coacervation of soybean protein isolate and chitosan [J]. *Food Chem*, 2012, 135(2): 534-539.
- [17] 张根生, 岳晓霞, 李继光, 等. 大豆分离蛋白乳化性影响因素的研究[J]. *食品科学*, 2006, 27(7): 48-51.
- Zhang GS, Xue XX, Li JG, *et al.* Study on affecting factors of emulsification properties of soybean isolated protein [J]. *Food Sci*, 2006, 27(7): 48-51.
- [18] Liu C, Yang XQ, Lin MG, *et al.* Complex coacervation of chitosan and soy globulins in aqueous solution: a electrophoretic mobility and light scattering study [J]. *Int J Food Sci Technol*, 46(7), 1363-1369.
- [19] Mendanha DV, Molina Ortiz SE, Favaro-Trindade CS, *et al.* Microencapsulation of casein hydrolysate by complex coacervation with SPI/pectin [J]. *Food Res Int*, 2009, 42(8): 1099-1104.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



黄国清, 博士, 讲师, 主要研究方向为食品组分稳态化技术。

E-mail: hgqfood@qau.edu.cn



肖军霞, 博士, 教授, 主要研究方向为食品组分稳态化技术。

E-mail: xjxfood@qau.edu.cn