

# ‘蓝鸟’睡莲花色苷W/O皮克林乳液的制备及稳定性分析

赵霞, 陈彦甫, 周卫娟, 赵莹\*

(海南大学林学院, 热带特色林木花卉遗传与种质创新教育部重点实验室, 海南省热带特色花木资源生物学重点实验室, 海南海口 570228)

**摘要:** 由于睡莲中所提取的活性成分具有不稳定性,对活性成分的包埋技术有待探索。该文以热带睡莲中的‘蓝鸟’睡莲 (*Nymphaea* 'Blue Bird') 作为研究对象, 通过制备 W/O 皮克林乳液将睡莲花色苷包埋, 目的在于构建一个稳定的食品级体系, 并研究该技术对花色苷的包埋稳定性与释放效果。以花色苷溶液作为水相 (W), 大豆油为油相 (O), 乳化剂选取亲脂性乳化剂聚甘油蓖麻醇酸酯 (PGPR), 制备不同水相体积分数的 W/O 乳液。研究发现, 水相体积分数为 30% 和 50% 时制备的 W/O 乳液, 在不同温度下贮藏 15 d 后体系稳定, 对花色苷的包封率分别为 75.97% 和 78.12%, 且 15 d 内的包埋稳定性较好。以不同剪切速率制备 W/O 乳液考察其稳定性, 当剪切速率为 28 000 r/min 时, W/O 乳液的表观稳定, 保存 120 min 之后离心保留率达到 97.40%。综合研究, 该论文制备的 W/O 皮克林乳液体系平衡, 且对花色苷有较好的包封效果。

**关键词:** ‘蓝鸟’睡莲; 花色苷; W/O 皮克林乳液; 稳定性

文章编号: 1673-9078(2024)06-206-213

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.6.0472

## Preparation and Stability of Anthocyanin W/O Pickering Emulsion from 'Blue Bird' Tropical Water Lily

ZHAO Xia, CHEN Yanfu, ZHOU Weijuan, ZHAO Ying\*

(Key Laboratory of Ministry of Education for Genetics and Germplasm Innovation of Tropical Special Trees and Ornamental Plants, Hainan Biological Key Laboratory for Germplasm Resources of Tropical Special Ornamental Plants, College of Forestry, Hainan University, Haikou 570228, China)

**Abstract:** The embedding technology of active ingredients needs to be explored due to the instability of active ingredients extracted from water lily. In this study, *Nymphaea* 'Blue Bird', a tropical water lily, is used as a target for the extraction of anthocyanin and its embedding in W/O pickering emulsions. W/O emulsions with different volume fractions of the aqueous phase were prepared, using the anthocyanin solution as the aqueous phase (W), soybean oil as the oil

引文格式:  
赵霞,陈彦甫,周卫娟,等. ‘蓝鸟’睡莲花色苷W/O皮克林乳液的制备及稳定性分析[J].现代食品科技,2024,40(6): 206-213.

ZHAO Xia, CHEN Yanfu, ZHOU Weijuan, et al. Preparation and stability of anthocyanin W/O pickering emulsion from 'blue bird' tropical water lily [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(6): 206-213.

收稿日期: 2023-04-20

基金项目: 海南省重点研发计划项目 (ZDYF2022XDNY179)

作者简介: 赵霞 (1982-), 女, 硕士, 研究方向: 热带花卉加工与利用, E-mail: zhaoprayer@hainanu.edu.cn; 共同第一作者: 陈彦甫: (1996-), 男, 硕士, 研究方向: 热带花卉加工与利用, E-mail: 18089769688@163.com

通讯作者: 赵莹 (1984-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 热带花卉加工与利用, E-mail: zhaoying3732@163.com

phase (O) and the emulsifier selected as the lipophilic emulsifier polyglyceryl ricinoleate (PGPR). The results showed that the W/O emulsions prepared at 30% and 50% of the aqueous phase volume fraction were stable after 15 d of storage at different temperatures, and the encapsulation efficiency of the anthocyanin was 75.97% and 78.12%, respectively, and the encapsulation stability within 15 d was good. The stability of W/O emulsions was investigated by preparing W/O emulsions at different shear rates. The apparent stability of W/O emulsions was achieved when the shear rate was 28 000 r/min, and the retention rate of centrifugation reached 97.40% after 120 min storage. In conclusion, the W/O pickering emulsion prepared in this manuscript was balanced and had a good encapsulation effect on anthocyanins.

**Key words:** 'Blue Bird' tropical water lily; anthocyanin; W/O pickering emulsion; stability

睡莲 (*Nymphaea* spp.) 隶属睡莲科 (*Nymphaeaceae*) 睡莲属 (*Nymphaea*), 是一类品种繁多, 在园林美化和水环境生态治理方面具有重要作用的浮叶型水生宿根花卉, 具有很高的观赏价值<sup>[1,2]</sup>。热带睡莲在我国海南省的主要品种有‘蓝鸟’ (*Nymphaea* ‘Blue Bird’), ‘埃及白’ (*Nymphaea lotus*) 等。目前关于睡莲次生代谢物的提取技术及活性研究还未得到充分的研究与开发应用<sup>[3]</sup>。作为一种重要的天然水溶性色素和植物中的重要次生代谢物, 花色苷具备抗癌、抑菌、抗炎、保护肝脏、治疗疑难杂症、保护视力等功效<sup>[4-6]</sup>。花色苷受自身结构的影响, 在自然条件下易受不同理化因子的影响和发生降解, 这种不稳定性使其在食品加工行业和医药工业中应用严重受限<sup>[7-10]</sup>。

传统的乳液构建中, 普遍采用表面活性剂等分子材料为乳化剂, 而皮克林乳液中, 以固体颗粒为乳化剂。相比而言, 固体颗粒所构建的体系即皮克林乳液的稳定性和功能性更好。近年来, 皮克林乳液和衍生材料的应用引起世界愈多关注。由于皮克林乳液具备较好稳定性, 使其在食品、化妆品、涂料、生物医药及石油开采等方面逐渐得到广泛研究与开发应用<sup>[11-13]</sup>。在药用研究上, 皮克林乳液体系可以控制成分的靶向释放, 保护药物本身免受外界其他理化因子的干扰影响, 从而提高了药物成分的生物利用率, 提高人体的有效吸收率。Akhavan 等<sup>[9]</sup>在研究中未使用传统乳化剂, 成功将防晒微粒分散在乳液体系中, 制备出的防晒产品呈现出稳定性良好的特点; Ge 等<sup>[14]</sup>研究使用改性固体颗粒构建乳液体系, 在减少传统乳化剂使用的情况下得到的产品依然具备较好的稳定性; Laredj-bourezg 等<sup>[15]</sup>制备了包载黄醇的皮克林乳液, 所采用的乳化剂为可降解嵌段共聚物, 结果表明该体系在黄醇的输送过程中起到较好的效果。皮克林乳液在化妆品领域应用广泛, 常见的针对水乳、防晒霜、面膜等产品中均有皮克

林乳液的应用。

本研究以‘蓝鸟’睡莲为研究对象, 通过制定 W/O 皮克林乳液将其包埋, 目的在于构建一个可包埋‘蓝鸟’睡莲花色苷的稳定食品级体系, 并检测该技术对花色苷的包埋稳定性与释放效果。本研究对睡莲花色苷的深加工利用, 拓宽了 W/O 皮克林乳液体系在药食工业中的应用, 对推动海南省热带高效特色农业可持续发展具有深远意义。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料与仪器

本实验主要花材源自海口永群绿种养专业合作社, 主要热带睡莲品种为‘蓝鸟’睡莲 (*Nymphaea* ‘Blue Bird’)。氢氧化钠、硝酸银、丙三醇、石油醚、无水乙醇均为西陇科学股份有限公司; 3,5-二硝基水杨酸, 天津市大龙化学试剂厂; 盐酸、酚酞、结晶酚、亚硫酸氢钠、酒石酸钾钠均为国药集团化学试剂有限公司, 试剂均为分析纯。

DE-200 g 万能粉碎机, 浙江红景天工贸有限公司; UV-5500 紫外可见分光光度计, 上海元析仪器有限公司; PHS-3E 酸度计, 上海佑科仪器仪表有限公司; pH 计, 上海仪电科学仪器股份有限公司; XMTD-8222 电热恒温干燥箱, 甘易仪器设备 (上海) 有限公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 睡莲花色苷含量测定

取 1 g 睡莲干粉, 以料液比 1:30 (g/mL) 用 0.1% 盐酸-乙醇 (乙醇体积分数 40%) 浸泡 1 h, 浸泡期间需避光。设置微波炉功率 350 W 微波 40 s, 待提取液冷却后用 7 500 r/min 离心 10 min 取上清液。

用 pH 示差法对上清液的花色苷含量进行测量,

将花色苷提取液分别制成 pH 值 1.0 和 pH 值 4.5 的平衡液,分别在 520 nm 与 700 nm 波长下测定吸光度。首先配置 pH 值 1.0 的氯化钾缓冲液和 pH 值 4.5 的醋酸-醋酸钠缓冲液:称量 1.86 g KCl 溶于 980 mL 超纯水并充分搅拌,用 1 mol/L HCl 调 pH 值为 1.0 后用 ddH<sub>2</sub>O 定容至 1 000 mL。称量 32.81 g C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NaO<sub>2</sub> 用 960 mL ddH<sub>2</sub>O 溶解,用 1 mol/L HCl 调 pH 值为 4.5,用 ddH<sub>2</sub>O 定容至 1 000 mL。分别取 1 mL 花色苷溶液于 10 mL 离心管中,使用先前制备的缓冲液进行稀释,稀释倍数为 10 倍,在平衡 30 min 后用紫外分光光度计分别测定 2 份样品的 OD<sub>520</sub> 和 OD<sub>700</sub>。用公式 1 和 2 求花色苷的含量<sup>[16]</sup>。

$$A=(A_{520}-A_{700})-(A'_{520}-A'_{700}) \quad (1)$$

$$B=\frac{A \times V \times E \times M_w}{\epsilon \times L} \quad (2)$$

式中:

A—花色苷的总吸光值;

A<sub>520</sub>、A<sub>700</sub>—分别为花色苷在 pH 值 1.0 时,在 520、700 nm 下的吸光值;

A'<sub>520</sub>、A'<sub>700</sub>—分别为花色苷在 pH 值 4.5 时,在 520、700 nm 下的吸光值;

B—花色苷质量分数, mg/g;

V—提取液总体积, L;

M<sub>w</sub>—花色苷的摩尔分子质量, 449.2 g/mol;

E—样品稀释倍数 (DF);

ε—摩尔消光系数, 26 900 L/(mol·cm);

L—光程长, 1 cm。

### 1.2.3 花色苷 W/O 乳液在不同温度贮藏条件下的稳定性研究

将 2% (m/V) 花色苷溶液以乳液总体积的 10%~50% 分别与油相混合,以 28 000 r/min 均质 6 min,得到水相体积分数 10%~50% 的 W/O 乳液。设置 3 组共 15 个样品。将每组乳液分别于 4、25、45 °C 的环境下贮藏 15 d,模拟低温、室温与高温环境下乳液的贮藏温度,每隔 3 d 对 W/O 乳液的表观和微观以及花色苷的指标进行测定<sup>[12,14]</sup>。

### 1.2.4 花色苷 W/O 乳液的表观测定

以当天新鲜制备的乳液为 0 d,每隔 3 d 对水相体积分数 10%~50% 的 W/O 乳液在血清瓶中的表观进行拍照记录,观察乳液形态的变化。

### 1.2.5 花色苷 W/O 乳液的粒径测定

取 1 mL 乳液,用等体积的大豆油混合稀释,

将混合后的乳液制片,用光学显微镜在 400 倍下对乳液进行观测。参照 Bhatti 的方法用 Image J 1.8.0 对拍摄图片中的液滴进行尺寸计算,筛选液滴 46 个,计算平均粒径<sup>[17]</sup>。

### 1.2.6 剪切速率对 W/O 乳液的影响研究

以剪切速率为 12 000~28 000 r/min,控制其他制备条件不变,考察剪切速率对 W/O 乳液的表观、微观结构和离心保留率的影响,筛选出最合适的剪切速率。

### 1.2.7 花色苷 W/O 乳液的包封率和包埋稳定性的测定

参考 Yingngam 等<sup>[18]</sup>和袁丽等<sup>[19]</sup>的方法,并略有改动。每隔 3 d 时间,各取 1 mL 乳液,用 2 mL 蒸馏水稀释后充分涡旋 3 min 后弃去上清液。用无水乙醇将离心管下层乳液稀释至 5 mL,于 4 °C,8 000 r/min 离心 30 min,取上清液。参照 1.2.1 用 pH 示差法测定上清液中花色苷质量分数。包封率和包埋稳定性分别按照公式 (3) 和 (4) 计算。

$$C=\frac{M_1}{M} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

C—包封率, % (质量分数);

M<sub>1</sub>—第 0 天制备乳液中的花色苷含量;

M—所用 2% (m/V) 花色苷溶液中花色苷含量。

$$D=\frac{M_2}{M} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

D—包埋稳定性, % (质量分数);

M<sub>2</sub>—贮存后不同水相质量分数的花色苷乳液中的花色苷含量;

M—所用 2% (m/V) 花色苷溶液中花色苷含量。

### 1.2.8 数据处理

计算得到的数据重复 3 次,统计平均值与标准偏差。使用 SPSS 18 分析,用 Origin 8.0 进行作图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 睡莲花色苷 W/O 乳液表观形态

不同水相体积分数 (10%、20%、30%、40%、50%) 的花色苷 W/O 乳液在三个不同温度条件下贮藏 15 d。15 d 内乳液的表观形态变化如图 1 所示,在三个不同温度下,新鲜制备的乳液稳定性较好,

没有破乳和絮凝的情况产生。随着水相体积分数的增加, W/O 乳液外观呈现出一定的蓝紫色, 这是水相蓝鸟睡莲花色苷着色的结果。从第 3 天开始, 4 °C 和 45 °C 下的乳液出现乳化分层, 有可能是制备乳液所使用的乳化剂 PGPR 的较低, 但是下方未析出水相花色苷, 其中 10% W 和 20% W 的乳液乳化分层明显,

30% W 乳液在 4 °C 下分层明显, 密度较小的油滴都浮现在乳液上层。4、25、45 °C 条件下贮藏 15 d 的各不同水相体积分数的乳液下层均未析出水相, 代表着 W/O 乳液对花色苷包埋顺利, 各温度条件下低水相体积分数的乳液稳定性一般, 高温条件下, 乳液乳化层明显, 乳液自身体系的稳定性存在缺陷。

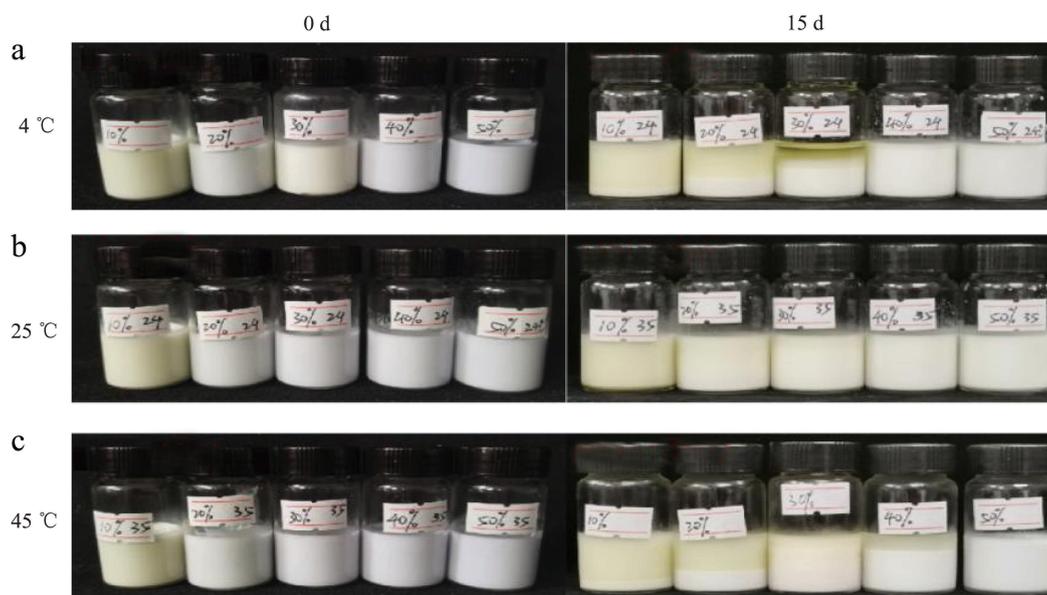


图 1 制备的睡莲花色苷 W/O 乳液在不同温度下贮藏 15 d 的表征

Fig.1 Characterization of prepared tropical water lily W/O emulsions stored at different temperatures for 15 d

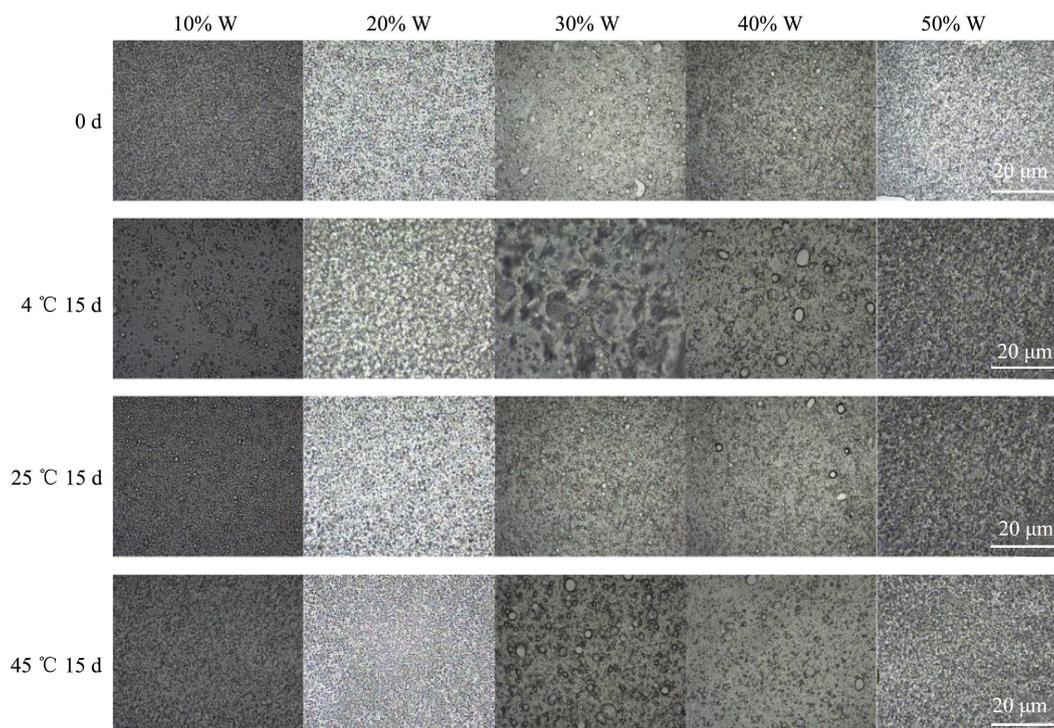


图 2 不同水相体积分数的花色苷 W/O 乳液在不同温度下贮藏 15 d 的显微镜图片

Fig.2 Microscopic pictures of anthocyanin W/O emulsions with different water phase volume fractions stored at different temperatures for 15 d

## 2.2 睡莲花色苷W/O乳液微观形态

15 d内不同水相体积分数的花色苷W/O乳液在不同温度贮藏条件下的微观形态如图2所示。由图中可知,0 d制备得到的W/O乳液液滴总体分布均匀,400倍下观察发现液滴粒径较小,与林晓瑛<sup>[16]</sup>文献中所报道的W/O乳液显微形态相一致。在三个温度条件下贮藏15 d后,各水相体积分数的乳液液滴整体分布仍较为均匀(30% W和40% W的乳液液滴变少),即使在三个不同的贮藏温度条件下,45 °C存放的W/O乳液粒径有增大的趋势,且30% W的乳液粒径较40% W和50% W的乳液液滴增大明显,通过表观形态的变化也可以发现水相体积分数30%的乳液在贮藏过程中出现明显的乳化分层,其中的原因可能和温度有关,在试验操作过程中,制备同一批样品对30% W的乳液进行乳化时,高速分散器的刀头过热,温度对乳液的稳定性存在一定的影响。通过观察同时可以得到,以PGPR为乳化剂构建的乳液液滴较小,同时贮藏温度对于乳液液滴的分布影响较小,但体积分数对乳液液滴的分布影响较大。

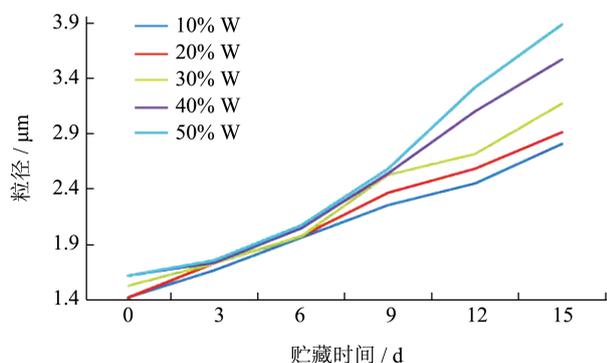


图3 W/O乳液在4 °C下贮藏15 d内的平均粒径

Fig.3 Average particle size of W/O emulsions stored at 4 °C for 15 d

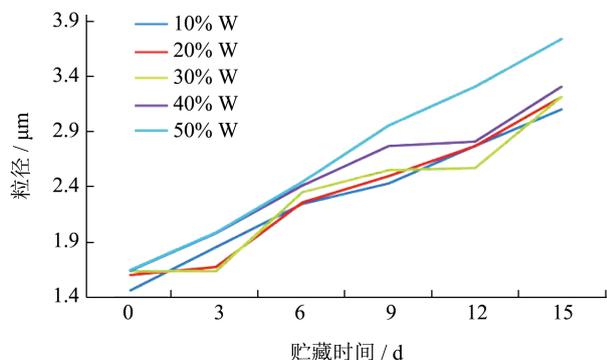


图4 W/O乳液在25 °C下贮藏15 d内的平均粒径

Fig.4 Average particle size of W/O emulsions stored at 25 °C for 15 d

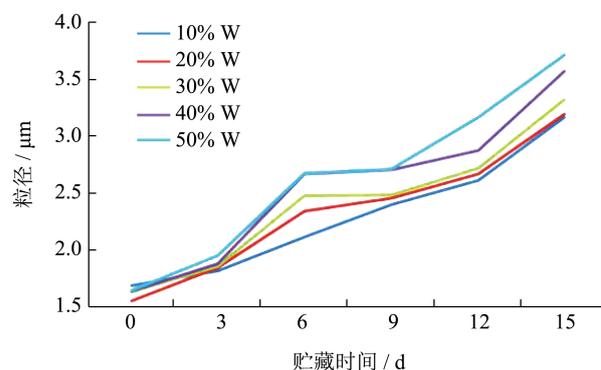


图5 W/O乳液在45 °C下贮藏15 d内的平均粒径

Fig.5 Average particle size of W/O emulsions stored at 45 °C for 15 d

## 2.3 睡莲花色苷W/O乳液平均粒径

用Image J 1.8.0软件对微观图片进行乳液粒径测定,计算得到各水相体积分数的乳液在不同温度条件下贮藏15 d的平均粒径分别如图3~5所示,第0天即新鲜制备的乳液液滴尺寸在1~2 μm左右,在不同温度下保存15 d后的液滴尺寸大约为2~4 μm,各水相体积分数的粒径都较小,可能是PGPR作为乳化剂的原因。10% W至50% W的乳液粒径随着贮藏时间的增加而增大,增大范围保持在2 μm以内。50% W的乳液在4、25、45 °C下粒径增大明显,原因可能是过高的水相体积分数使得分散过程中无法形成平衡的乳液体系<sup>[2,14]</sup>,其中30% W的乳液在45 °C下乳化分层明显,并且30% W的乳液在显微镜下粒径分布较均一,4 °C和45 °C时粒径显著增大( $P < 0.05$ )。在4 °C下50% W的乳液液滴尺寸与其他水相体积分数的乳液液滴尺寸具有一定差异,在三个温度下同水相体积分数的乳液之间的粒径差异显著( $P < 0.05$ )。

## 2.4 花色苷W/O乳液的包封率和包埋稳定性

### 2.4.1 W/O乳液对花色苷的包封率

由图6可知在不同水相体积分数下各W/O乳液对花色苷的包封率,W/O乳液对花色苷的包封率随着水相体积的增加而增加,在超过20% W的乳液之后各水相体积分数制备的乳液对花色苷的包封率趋于平缓,20%~50% W的乳液对花色苷的包封率都在70% (体积分数)以上,40% W的乳液包封率最高达到78.12%。水相体积分数为50%的乳液时,包封效果有所下降。各水相体积分数的W/O乳液之间的包封率没有显著性差异。结合表观图显示,

10% W~20% W 的 W/O 乳液,随着贮藏时间的增加,乳化分层明显,体系稳定性下降,30%~50% W 的 W/O 乳液较为稳定,表明包封率和乳液稳定性之间呈正比。

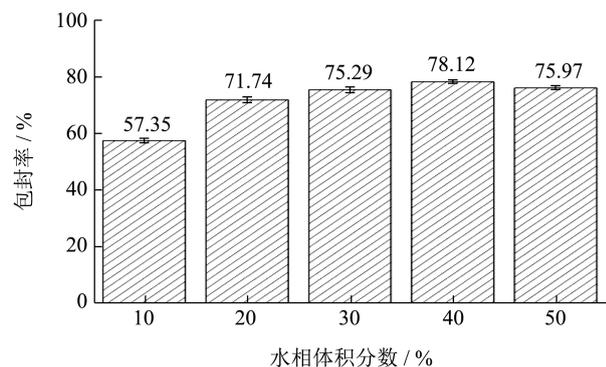


图 6 不同水相体积分数下 W/O 乳液对花色苷的包封率

Fig.6 Encapsulation efficiency of W/O emulsions for anthocyanins under different water phase volume fractions

### 2.4.2 W/O乳液对花色苷的包埋稳定性

不同水相体积分数的 W/O 乳液在三个不同贮藏温度下放置 15 d,期间花色苷包埋稳定性如图 7 所示,由图可知花色苷的包埋稳定性随着贮藏时间的增加呈现下降的趋势。在三个不同温度条件下 10% W 的 W/O 乳液包埋稳定性最低,贮藏至第 10 天后对花色苷的包埋效果大幅下降,30%~50% W 的 W/O 乳液包埋稳定性较好,其中 30% W 的 W/O 乳液 15 d 前后对花色苷的包埋效果突出,稳定性整体较好。Matos 等<sup>[20]</sup>制备了乳化剂为 OSA 改性藜麦淀粉的 W/O/W 双重皮克林乳液,该体系具备出色的稳定性,在 21 d 后对内水相物质仍有较高包埋率。

### 2.4.3 剪切速率对W/O乳液的影响

以剪切速率为 16 000~28 000 r/min 制备的 W/O 乳液,离心保留率如表 1 所示,W/O 乳液的离心保留率随着剪切速率的增加而增加,当初乳搅拌速率达到 24 000 r/min 之后,离心保留率趋于平缓。从图 8 可知,12 000 r/min 下制备的乳液,体系中液滴之间的尺寸存在显著性差异,且有水相游离在体系中。16 000 r/min 和 20 000 r/min 下制备的乳液,体系中的液滴分布不均匀。28 000 r/min 下制备的乳液粒径分布均匀,且粒径大小之间无显著性差异,比 24 000 r/min 下制备的乳液更加稳定。由图 9 可看出,在 60 min 到 120 min 期间,28 000 r/min 乳液的表观变化不明显,乳液的体系未受较大影响,16 000~24 000 r/min 下制备的 W/O

乳液在 120 min 时体系均受到影响,下方析出花色苷,乳液体系失稳。

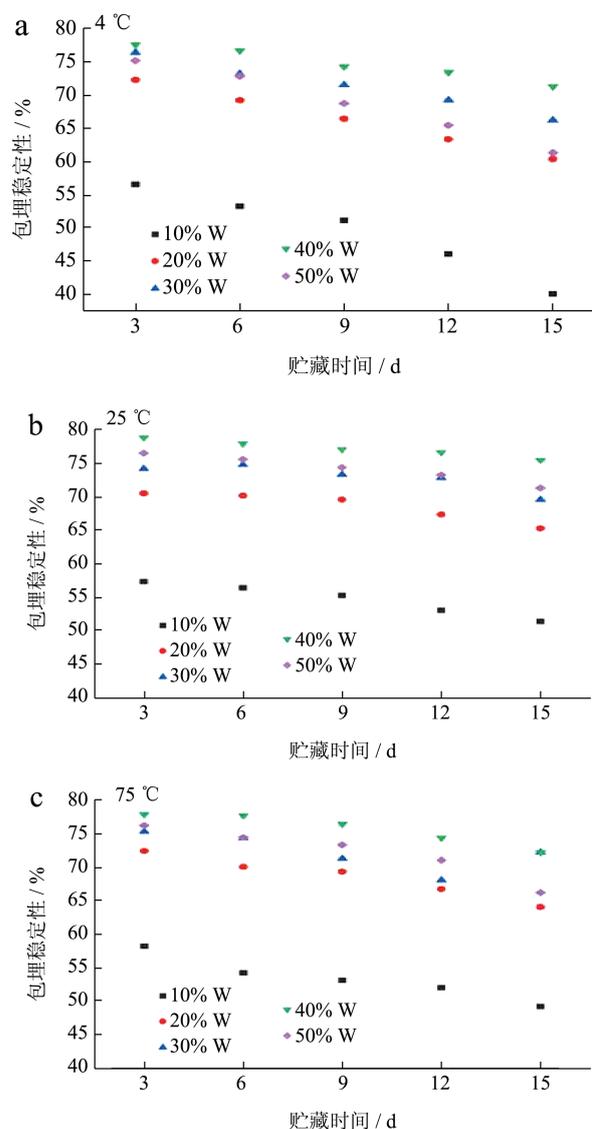


图 7 W/O 乳液在三个温度下贮藏 15 d 对花色苷的包埋稳定性

Fig.7 Encapsulation stability of W/O emulsions for anthocyanins stored at three temperatures for 15 d

注: a、b、c 分别代表各水相体积分数的乳液在 4、25、45 °C 下的包埋稳定性。

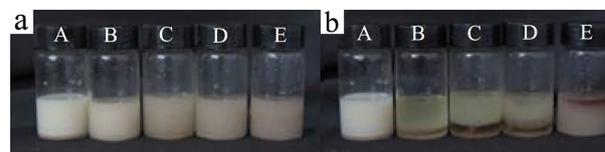


图 8 不同剪切速率制备的 W/O 乳液在 60 min~120 min 的表观变化

Fig.8 The apparent changes of W/O emulsions prepared at different shear rates from 60 min to 120 min

注: a 为室温下 60 min, b 为室温下 120 min。A、B、C、D、E 分别代表了 28 000、24 000、20 000、16 000、12 000 r/min。

表 1 剪切速率不同对W/O乳液离心保留率的影响 (%)

时间	剪切速率/(r/min)				
	12 000	16 000	20 000	24 000	28 000
60 min	85.21±0.33 <sup>a</sup>	84.03±1.24 <sup>b</sup>	87.33±0.43 <sup>c</sup>	92.14±1.02 <sup>d</sup>	98.23±0.04 <sup>e</sup>
120 min	66.31±0.41 <sup>A</sup>	56.22±1.22 <sup>B</sup>	52.30±1.33 <sup>C</sup>	60.42±1.44 <sup>D</sup>	97.40±0.33 <sup>E</sup>

注: 大写字母代表组间有极显著性差异 ( $P<0.01$ ), 小写字母代表组间有显著性差异 ( $P<0.05$ )。

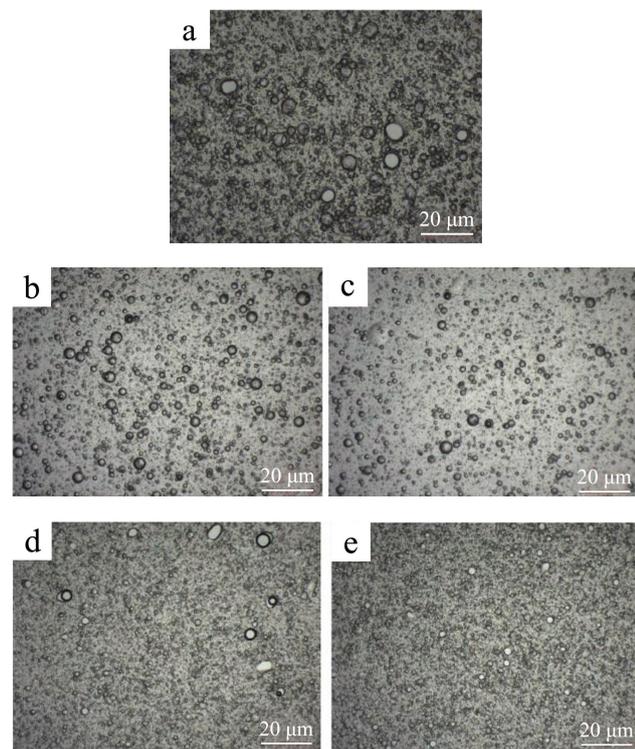


图 9 不同剪切速率下制备的 W/O 乳液的显微镜图片

Fig.9 Microscopic pictures of W/O emulsions prepared at different shear rates

注: 图中比例尺为 20 μm, a、b、c、d、e 代表剪切速率分别为: 12 000、16 000、20 000、24 000、28 000 r/min。

### 3 结论

本研究探索睡莲花色苷的 W/O 皮克林乳液的制备及稳定性, 以 PGPR 作为乳化剂成功制备 W/O 乳液对花色苷进行包埋。水相体积分数 10% W~20% W 的 W/O 乳液, 随着贮藏时间的增加, 乳化分层明显, 体系稳定性下降, 水相体积分数 30% W~50% W 的 W/O 乳液较为稳定, 其中水相体积分数为 30% 的 W/O 乳液 15 d 前后对花色苷的包埋效果突出, 稳定性较好。在 60 min 到 120 min 期间, 剪切速率为 28 000 r/min 乳液表现变化不明显, 乳液体系相对稳定。

### 参考文献

- [1] 王嘉伟.水生植物在水环境生态修复中的净化作用与配置原则[J].绿色科技,2020,10:28-32,35.
- [2] VIEIRA M R D, PESSOA L G M, JUNIOR W S E, et al. The effects of two preservatives on peroxidase activity and total protein content in *Strelitzia reginae* during cold storage [J]. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2016, 57(3): 309-309.
- [3] ZHANG L S, CHEN F, ZHANG X T, et al. The water lily genome and the early evolution of flowering plants [J]. Nature, 2020, 577(7788): 79-84.
- [4] VALLS J, MILLAN S, PILAR M M, et al. Advanced separation methods of food anthocyanins, isoflavones and flavanols [J]. Journal of Chromatography A, 2009, 1216(43): 7143-7172.
- [5] HE J, GIUSTI M M. Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties [J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2010, 1(1): 163-187.
- [6] 易疆莺,滕文顶,王芳,等.抗氧化物原花青素对人未成熟卵母细胞体外成熟的影响[J].中国计划生育和妇产科,2021,13(10):82-86.
- [7] 刘云海,刘瑛,曹小红,等.天然食用色素花青素的微胶囊化[J].食品工业科技,2004,5(12):109-110.
- [8] LU M L, LI Z J, LIANG H, et al. Controlled release of anthocyanins from oxidized konjac glucomannan microspheres stabilized by chitosan oligosaccharides [J]. Food Hydrocolloids, 2015, 51: 476-485.
- [9] MAHDAVI S A, JAFARI S M, ASSADPOOR E, et al. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 85(7): 379-385.
- [10] BON S A F, CHEN T. Pickering stabilization as a tool in the fabrication of complex nanopatterned silica microcapsules [J]. Langmuir, 2007, 23(19): 9527-9530.
- [11] ILKE A, ANDRÉ R S, ELENA T, et al. Macroporous ceramics from particle-stabilized emulsions [J]. Advanced Materials, 2008, 20(24): 4714-4718.
- [12] FRELICHOWSKA J, BOLZINGER M A, VALOUR J P, et al. Pickering W/O emulsions: drug release and topical delivery [J]. International Journal of Pharmaceutics, 2009, 368(1-2): 7-15.
- [13] LAREDJ-BOUREZG F, BOLZINGER M A, PELLETIER J,

- et al. Pickering emulsions stabilized by biodegradable block copolymer micelles for controlled topical drug delivery [J]. *International Journal of Pharmaceutics*, 2017, 531(1): 134-142.
- [14] GE S J, XIONG L, LI M, et al. Characterizations of pickering emulsions stabilized by starch nanoparticles: Influence of starch variety and particle size [J]. *Food Chemistry*, 2017, 234(1): 339-347.
- [15] LAREDJ-BOUREZG F, BOLZINGER M A, PELLETIER J, et al. Pickering emulsions stabilized by biodegradable block copolymer micelles for controlled topical drug delivery [J]. *International Journal of Pharmaceutics*, 2017, 531(1): 134-142.
- [16] 林晓瑛. 花色苷双重皮克林乳液的制备及其稳定性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- [17] BHATTI H S, KHALID N, UEMURA K, et al. Formulation and characterization of food grade water-in-oil emulsions encapsulating mixture of essential amino acids [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2017, 119(6): 1600202.
- [18] YINGNGAM B, TANTIRAKSAROJ K, TAWEETAO T, et al. Modeling and stability study of the anthocyanin-rich maoberry fruit extract in the fast-dissolving spray-dried microparticles [J]. *Powder Technology*, 2018, 325: 261-270.
- [19] 袁丽, 孙楚楚, 党庆玲, 等. W/O/W型复乳的制备优化及包埋矢车菊素-3-葡萄糖苷效果分析 [J]. *食品科学*, 2019, 40(6): 272-280.
- [20] MATOS M, TIMGREN A, SJOO M L, et al. Preparation and encapsulation properties of double pickering emulsions stabilized by quinoa starch granules [J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2013, 423: 147-153.