

# 壁材对高载量南瓜籽油微胶囊理化性质的影响

## Effect of different wall materials on physicochemical properties of microcapsules with high loading pumpkin seed oil

张存存<sup>1</sup> 袁继凤<sup>1</sup> 谭志超<sup>1</sup> 许洪高<sup>2,3,4</sup>

ZHANG Cun-cun<sup>1</sup> YUAN Ji-feng<sup>1</sup> TAN Zhi-chao<sup>1</sup> XU Hong-gao<sup>2,3,4</sup>

(1. 北京宝得瑞生物科技有限公司, 北京 101117; 2. 北京市科学技术研究院生物医药与营养健康协同创新中心, 北京 100089; 3. 北京市营养源研究所, 北京 100069; 4. 北京市系统营养工程技术研究中心, 北京 100069)

(1. Beijing Powdery Bio-Tech Co., Ltd., Beijing 101117, China; 2. Biomedicine Nutrition and Health Collaborative Innovation Centre, Beijing Academy of Science and Technology, Beijing 100089, China; 3. Beijing Institute of Nutritional Resources, Beijing 100069, China; 4. Beijing Systematic Nutrition Engineering Technology Research Centre, Beijing 100069, China)

**摘要:**运用喷雾干燥技术,以货架期加速试验周期内微胶囊表面油、分散相的过氧化值等参数为稳定性评价指标,研究食品原料(蛋白、多糖)和食品添加剂(乳化剂、抗氧化剂等)对 50% 载油量南瓜籽油微胶囊芯材包埋率(以产品表面油为指标)和理化性质(酸价、过氧化值)的影响。确定了以酪蛋白酸钠和以辛烯基琥珀酸淀粉钠为主要壁材的配方,同时用聚葡萄糖代替麦芽糊精确定了一则以酪蛋白酸钠为主壁材、聚葡萄糖为填充剂的无糖南瓜籽油微胶囊配方。50% 载油量南瓜籽油微胶囊表面油 $\leq 2.5\%$ , 过氧化值 $\leq 0.13\%$ , 酸价 $\leq 1.0$  mg KOH/g, 常温货架期 24 个月。

**关键词:**南瓜籽油;微胶囊粉;酪蛋白酸钠;辛烯基琥珀酸淀粉钠;货架期

**Abstract:** To develop 50% loaded pumpkin seed oil microcapsules, using spray drying technology, with higher stabilities, the amount of surface oil and peroxide value of dispersion oil, during accelerated shelf life test, were selected as criteria for optimizing the composition of wall materials. The sodium caseinate and sodium starch octenyl succinate were tested as the main components of wall materials. Other antioxidants (sodium ascorbate, ascorbic acid and D-sodium erythorbate) and

emulsifiers (soybean phospholipid, mono- and diglycerides of fatty acids) were also applied and tested for the stability of pumpkin seed oil microcapsules. Polydextrose, a stuffing bulking agent, was also tested for substituting corn maltodextrin. As a result, the developed 50% loaded pumpkin seed oil microcapsules could be stored at ambient temperature for 24 months, and the surface oil was less than 2.5%, with the peroxide value less than 0.13% and the acid value below 1.0 mg KOH/g.

**Keywords:** pumpkin seed oil; microcapsule powders; sodium caseinate; sodium starch octenyl succinate; shelf life

南瓜籽油(尤其是超临界 CO<sub>2</sub> 萃取工艺制成的南瓜籽油)含有大量的亚油酸、类胡萝卜素和谷甾醇<sup>[1-3]</sup>。谷甾醇作为一种循环系统药物的功能成分,对调整血脂、降低血清胆固醇具有独到的好处;此外,谷甾醇还具有抑制前列腺肥大,改善膀胱收缩,对尿频、膀胱压迫、排尿障碍有明显改善效果<sup>[4]</sup>。

微胶囊化技术是一种应用广泛的包埋技术,通过制备水包油型(O/W 型)乳液、固体微囊实现功能性成分的靶向传送和释放是营养健康领域的重要课题。目前主要集中于功能性壁材的开发,如蛋白-多酚复合壁材的开发<sup>[5-6]</sup>,在提高微胶囊芯材装载量和包埋率的前提下,开发品质稳定、货架期长的微胶囊产品成为产业化的要点。

牛广财等<sup>[7-8]</sup>研制的南瓜籽油微胶囊载油量 20% 左右,包埋率分别为 90.20%, 81.05%。韩丽丽等<sup>[9]</sup>研究了 50% 载油量的紫苏子油微胶囊粉,当选用变性淀粉为壁材时,最高包埋率为 93.86%,但未对货架期内芯材紫苏子油质量的变化进行研究。徐江波等<sup>[10]</sup>选用亚麻籽胶作

**基金项目:**首都科技创新券项目(编号:20181114241189);湖北省荆门市科技计划项目(编号:2018YFZD028)

**作者简介:**张存存,女,北京宝得瑞生物科技有限公司工程师,硕士。

**通信作者:**许洪高(1978—),男,北京市营养源研究所研究员,博士。E-mail: zgndxhg@163.com

**收稿日期:**2019-08-13

为壁材,制备了载油量高达 55.45% 的紫苏子油微胶囊,包埋率仅为 92.36%。QB/T 4791—2015 规定植物油脂粉末表面油含量占脂肪的比例须 ≤5.0%,即微胶囊化油脂粉末包埋率 >95%。上述研究的包埋率相对较低,且未对微胶囊所包埋芯材在货架周期内的稳定性进行研究,不具备工业化应用价值。在前期试验的基础上,试验拟选择酪蛋白酸钠和辛烯基琥珀酸淀粉钠两种壁材为研究对象,以麦芽糊精、超临界 CO<sub>2</sub> 南瓜籽油、乳化剂(单双甘油脂肪酸酯、大豆磷脂等)为基础配方,载油量控制在 50%~51%,研究不同壁材包埋的南瓜籽油微胶囊的性质,尤其是芯材在货架期内理化指标的变化,旨在开发高载量(50%)长货架期的微胶囊包埋技术,为油溶性功能成分在健康产业领域的工业化应用提供指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

南瓜籽油:超临界 CO<sub>2</sub> 萃取工艺,北京宝得瑞健康产业有限公司;

精炼南瓜籽油(不添加抗氧化剂):市售;

酪蛋白酸钠:≥90%,新西兰恒天然集团;

抗坏血酸、抗坏血酸钠:食品级,石药集团维生素药业(石家庄)有限公司;

D-异抗坏血酸钠:食品级,江西省德兴市百勤异 VC 钠有限公司;

六偏磷酸钠和磷酸氢二钾:食品级,徐州振华食品有限公司;

大豆磷脂:10%,美国 ADM 公司;

单双甘油脂肪酸酯:食品级,爱尔兰 Kerry 集团;

辛烯基琥珀酸淀粉钠:CREAMER 46,宜瑞安食品配料有限公司;

正己烷、浓盐酸、氢氧化钾、甲醇、乙醚、石油醚(沸程 30~60 °C)、三氯甲烷、冰醋酸、无水乙醇、硫代硫酸钠、碘化钾、三氟化硼-乙醚溶液(30%)等:分析纯,国药集团化学试剂北京有限公司。

### 1.2 仪器与设备

旋转蒸发仪:RE-52A 型,上海亚荣生化仪器厂;

超声波细胞破碎仪:Scientz-IIID 型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

恒温恒湿培养箱:LHS-250SC 型,上海一恒科学仪器有限公司;

分光光度计:UV-VIS1800 型,东京岛津株式会社;

喷雾干燥机:QZR-5 型,无锡市林洲干燥设备有限公司;

高压均质机:Panda Plus 2000 型,德国 GEA 集团。

### 1.3 微胶囊粉工艺

喷雾干燥技术制备微胶囊粉的基本工艺包括:① 将

连续相(水相)的物料进行溶解;② 将分散相(油相)的物料预先溶解;③ 向高速剪切搅拌下的连续相溶液中加入分散相物料,剪切乳化制成粗乳液,再进一步采用高压均质乳化包埋;④ 乳化后的物料进行杀菌和喷雾干燥成型。

### 1.4 试验方法

#### 1.4.1 酪蛋白酸钠、辛烯基琥珀酸淀粉钠添加量的确定

(1) 以酪蛋白酸钠为主壁材,麦芽糊精为填充剂,制备载油量为 50% 的南瓜籽油微胶囊粉,酪蛋白酸钠添加量分别为 6.0%,8.2%,10.0%,14.0%。

(2) 以辛烯基琥珀酸淀粉钠为主壁材,麦芽糊精为填充剂,制备载油量为 50% 的南瓜籽油微胶囊粉,辛烯基琥珀酸淀粉钠添加量分别为 17%,20%,22%,27%,32%。

1.4.2 抗氧化体系的确定 辛烯基琥珀酸淀粉钠为主壁材的南瓜籽油微胶囊使用抗坏血酸作为抗氧化剂体系,酪蛋白酸钠为主壁材的南瓜籽油微胶囊使用抗坏血酸钠配伍乳化剂和缓冲剂作为抗氧化体系,具体试验配方见表 1。

表 1 抗坏血酸钠、乳化剂和缓冲剂的添加比例

Table 1 Addition of sodium ascorbate, emulsifiers and buffers

| 配方 | 单双甘油脂肪酸酯 | 大豆磷脂 | 抗坏血酸钠 | 磷酸氢二钾 | % |
|----|----------|------|-------|-------|---|
| 1  | 0.40     | 0.20 | 0.00  | 0.00  |   |
| 2  | 0.40     | 0.20 | 0.20  | 0.00  |   |
| 3  | 0.40     | 0.20 | 0.20  | 0.30  |   |
| 4  | 0.40     | 0.20 | 0.20  | 0.50  |   |
| 5  | 0.35     | 0.25 | 0.20  | 0.30  |   |

1.4.3 水分的测定 参照张慧等<sup>[11]</sup>的方法。

1.4.4 表面油含量的测定 参照 SC/T 3505—2006。

1.4.5 过氧化值与酸价的测定 称量 50 g 油粉,加入 200 mL 正己烷,冰水浴中 190 W 超声提取 10 min,时间间隔(工作时间:间歇时间)9.9:3.0,有机试剂过无水硫酸钠;加入 150 mL 正己烷,285 W 超声提取 10 min,合并有机试剂,减压旋转蒸发后分别参照 GB 5009.227—2016、GB 5009.229—2016 对所提取芯材进行过氧化值和酸价测定。

1.4.6 货架期加速试验 参照食药监办食监三函[2013]500 号及 Taoukis 等<sup>[12]</sup>的方法,修改如下:将试验样品采用单层 PE 膜内包装和铝箔复合膜外包装封装后,于 38 °C、75% RH 贮藏,每 7 d 进行一次样品的理化和感官检测。

1.4.7 感官评定 挑选 5 名有经验的技术员组成感官品评小组进行感官评定,每次取 5 g 样品。

(1) 观察粉体的吸湿性和流动性,样品应疏松且具有

较好的流动性,无吸潮结块现象。

(2) 嗅闻样品,样品应具有南瓜籽油微胶囊粉自身所特有的典型香气,无油脂哈败味或异味。

(3) 用 100 mL、80 °C 蒸馏水溶解,样品应具有产品原有的气味和滋味,无可察觉的不良异味且溶解性良好。

### 1.5 数据分析

所有检测样品进行 2 个平行,选用 OriginPro 7.5 软件对数据进行单边方差分析(ANOVA),部分数据选用平均值进行表示,显著性分析采用 Turkey 检验,显著性水平 0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同壁材对南瓜籽油微胶囊表面油含量的影响

2.1.1 酪蛋白酸钠 由图 1 可知,酪蛋白酸钠添加量对产品表面油含量影响较大,当添加量为 8.2%~10.0% 时,产品表面油含量为 1.1%~1.2%,与张海玲<sup>[13]</sup>的研究结果类似。说明过低或过高的酪蛋白酸钠对乳液体系的稳定性均存在不利影响。

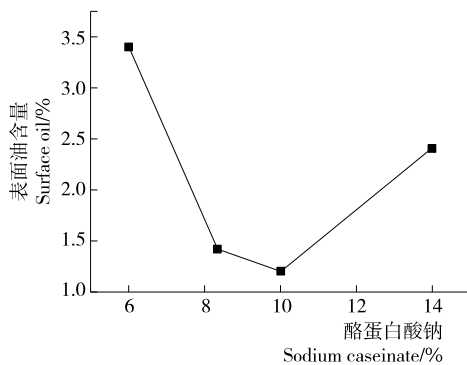


图 1 酪蛋白酸钠添加量对南瓜籽油微胶囊粉表面油含量的影响

Figure 1 Effect of sodium caseinate addition on the surface oil of pumpkin seed oil microcapsule powders

2.1.2 辛烯基琥珀酸淀粉钠 由图 2 可知,辛烯基琥珀酸淀粉钠添加量对产品表面油含量影响较大,当添加量为 20%~32% 时,产品表面油含量稳定且较低,为 1.6%~1.8%;当添加量为 17% 时,产品表面油含量为 3.5%。根据 50% 载油量的微胶囊粉表面油判定标准,结合辛烯基琥珀酸淀粉钠的成本因素,选择 20% 的添加量。韩丽丽等<sup>[9]</sup>使用辛烯基琥珀酸淀粉钠制备 50% 载油量的紫苏子油微胶囊时,样品表面油含量为 3.31%,显著高于试验样品的,可能与均质乳化工艺参数不同有关。

### 2.2 抗氧化体系对南瓜籽油微胶囊表面油含量的影响

2.2.1 以酪蛋白酸钠为壁材的微胶囊 水相中应用抗坏血酸、抗坏血酸钠、D-异抗坏血酸钠等水溶性抗氧化剂可以延长微胶囊中油溶性芯材在货架期的稳定性<sup>[14-15]</sup>。但酪蛋白酸钠壁材溶液中添加抗坏血酸后,会出现片状

絮凝物,无法进行下一步乳化包埋试验。由图 3 可知,酪蛋白酸钠壁材溶液中加入抗坏血酸钠和 D-异抗坏血酸钠,南瓜籽油微胶囊粉表面油含量升高,且均超出 2.5% 的上限标准,配方需要进一步优化。

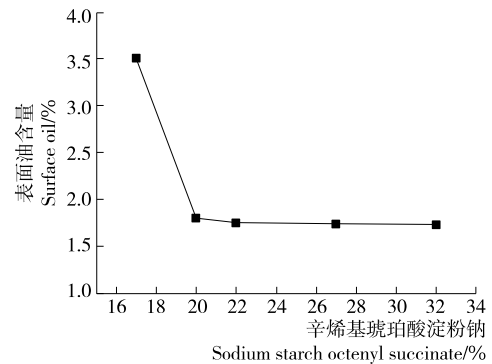


图 2 辛烯基琥珀酸淀粉钠对南瓜籽油微胶囊粉表面油含量的影响

Figure 2 Effect of sodium starch octenyl succinate on the surface oil of pumpkin seed oil microcapsule powders

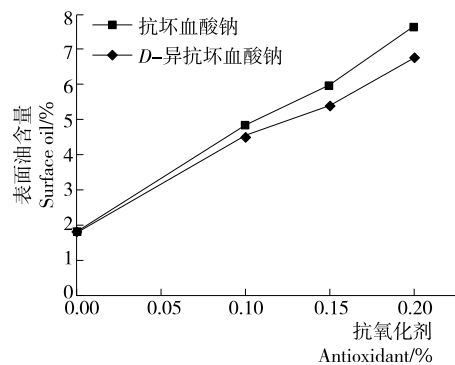


图 3 抗氧化剂对蛋白壁材南瓜籽油微胶囊粉表面油含量的影响

Figure 3 Effect of antioxidants on the surface oil of pumpkin seed oil microcapsule powders used sodium caseinate as wall material

在酪蛋白酸钠壁材溶液中加入缓冲剂和乳化剂,如磷酸氢二钾、单双甘油脂肪酸酯、大豆磷脂等,可一定程度地减轻单独应用抗坏血酸钠对蛋白壁材南瓜籽油微胶囊包埋效果的负面影响。单双甘油脂肪酸酯 HLB 值为 3~4<sup>[16]</sup>,大豆磷脂 HLB 值为 7~10<sup>[17]</sup>,选择单双甘油脂肪酸酯和 大豆磷脂配伍作为蛋白壁材配方中的乳化剂。由表 2 可知,加入抗坏血酸钠能使蛋白壁材南瓜籽油微胶囊表面油含量升高,由配方 1 的 1.70% 升高至配方 2 的 3.00%;添加 0.30% 磷酸氢二钾缓冲盐,可使表面油由 3.00% 降低至 2.10%,说明缓冲盐的加入有利于蛋白壁材的包埋;当磷酸氢二钾添加量为 0.50% 时,产品表面油含量回升,说明适量的缓冲盐可以整合体系中可能存在的自由基或金属离子<sup>[18]</sup>,从而对包埋起正作用;将单双甘

表 2 乳化剂和缓冲剂的添加比例对蛋白壁材南瓜籽油微胶囊表面油含量的影响

Table 2 Effect of emulsifiers and buffers on the surface oil of pumpkin seed oil microcapsule powders, used sodium caseinate as wall material

| 配方      | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
|---------|------|------|------|------|------|
| 表面油含量/% | 1.70 | 3.00 | 2.10 | 3.60 | 1.50 |

油脂肪酸酯和大豆磷脂质量比从 2:1 调整为 7:5,即升高复合乳化剂 HLB 值,可使产品表面油含量从 2.10%下降至 1.50%。故蛋白壁材南瓜籽油微胶囊抗氧化体系为单双甘油脂肪酸酯 0.35%、大豆磷脂 0.25%、抗坏血酸钠 0.20%及磷酸氢二钾 0.30%。

2.2.2 以辛烯基琥珀酸淀粉钠为壁材的微胶囊 在水相体系中加入 0.20% 抗坏血酸后不会出现片状絮凝物,乳液体积稳定,产品表面油含量为 1.80%,而未添加组为 1.00%,加入 0.20% 抗坏血酸后表面油略升高,且均达到表面油含量≤2.50%的指标要求,可见抗坏血酸的添加对产品表面油含量无显著影响,与抗坏血酸对以酪蛋白酸钠为壁材的南瓜籽油微胶囊表面油含量影响不同,可能是由于抗坏血酸加入水相后使其呈弱酸性,而辛烯基琥珀酸淀粉钠与酪蛋白酸钠对 pH 的敏感度不同,故以辛烯

基琥珀酸淀粉钠为主要壁材的南瓜籽油微胶囊可以用抗坏血酸作抗氧化剂。

2.3 南瓜籽油微胶囊粉稳定性

2.3.1 以酪蛋白酸钠为壁材的微胶囊 南瓜籽油中不饱和脂肪酸占总脂肪酸含量的 81%,亚油酸接近 53%<sup>[19]</sup>,还富含植物甾醇和角鲨烯<sup>[1]</sup>,故南瓜籽油微胶囊粉容易氧化变质。由表 3 可知,以 8.2%,10.0% 酪蛋白酸钠为壁材的 50% 载油量的南瓜籽油微胶囊粉过氧化值分别在货架期加速试验的第 35 和第 42 天超标。

由表 4 可知,添加抗氧化体系后,产品酸价、过氧化值在货架期加速试验 90 d 内均无显著性变化(P>0.05),感官及表面油指标也无显著性差异(P>0.05)。以酪蛋白酸钠为壁材配方制备的南瓜籽油微胶囊粉,在包装形式为内袋采用单层 PE 膜,外袋采用铝箔复合膜时,常温货架期可推断为 24 个月。

2.3.2 以辛烯基琥珀酸淀粉钠为壁材的微胶囊 由表 5 可知,未加抗氧化剂的淀粉壁材所制备的南瓜籽油微胶囊粉样品过氧化值在货架期加速试验的第 49 天超标,且粉体有轻微的哈败味。添加 0.20% 抗坏血酸的淀粉壁材配方,产品酸价、过氧化值、表面油含量等指标在货架期加速试验 91 d 内均无显著变化(P>0.05),感官合格。此淀粉壁材(以辛烯基琥珀酸淀粉钠为主)配方制备的南瓜

表 3 酪蛋白酸钠壁材(不含抗氧化体系)南瓜籽油微胶囊粉的货架期加速试验数据<sup>†</sup>

Table 3 The physicochemical properties of pumpkin seed oil microcapsule powders, used sodium caseinate as wall material, during accelerated shelf life test

| 试验天数/d | 8.2%   |                                  |          |             |    | 10.0%  |                                  |          |             |    |
|--------|--|----------------------------------|----------|-------------|----|--|----------------------------------|----------|-------------|----|
|        | 过氧化值/<br>(10 <sup>-2</sup> g·g <sup>-1</sup> ) | 酸价/<br>(mg KOH·g <sup>-1</sup> ) | 水分/<br>% | 表面油<br>含量/% | 感官 | 过氧化值/<br>(10 <sup>-2</sup> g·g <sup>-1</sup> ) | 酸价/<br>(mg KOH·g <sup>-1</sup> ) | 水分/<br>% | 表面油<br>含量/% | 感官 |
| 0      | 0.030  | 0.55                             | 0.87     | 1.00        | 合格 | 0.037  | 0.46                             | 0.71     | 1.20        | 合格 |
| 7      | 0.059  | 0.71                             | 0.66     | 1.07        | 合格 | 0.024  | 0.53                             | 0.67     | 1.08        | 合格 |
| 14     | 0.065  | 0.64                             | 0.80     | 1.12        | 合格 | 0.093  | 0.67                             | 0.78     | 1.05        | 合格 |
| 21     | —  | 0.69                             | 0.68     | 1.04        | 合格 | 0.094  | 0.56                             | 1.07     | 1.07        | 合格 |
| 28     | 0.110  | 0.53                             | 0.74     | 1.02        | 合格 | —  | —                                | —        | —           | —  |
| 35     | 0.157  | 0.87                             | 1.13     | 1.00        | 合格 | 0.126  | —                                | 0.79     | 1.11        | 合格 |
| 42     | —  | —                                | —        | —           | —  | 0.152  | —                                | —        | —           | 合格 |
| 49     | 0.156  | 0.97                             | 0.79     | 0.98        | 合格 | 0.156  | 0.57                             | 0.85     | 1.02        | 合格 |
| 56     | 0.153  | 0.69                             | 0.83     | 1.10        | 合格 | 0.169  | 0.66                             | 0.87     | 1.09        | 合格 |
| 63     | 0.200  | 0.61                             | 1.03     | 1.10        | 哈败 | —  | —                                | —        | —           | 哈败 |

† 标准:过氧化值≤0.130 g/100 g,酸价≤1.00 mg KOH/g,水分≤5.00%,表面油含量≤2.50%,无哈败味,流动性好。

表 4 酪蛋白酸钠壁材(含抗氧化体系)对南瓜籽油微胶囊粉稳定性的影响<sup>†</sup>

Table 4 The stability of pumpkin seed oil microcapsule powders added antioxidants, used sodium caseinate as wall material, during accelerated shelf life test

| 试验天数/d | 过氧化值/(10 <sup>-2</sup> g·g <sup>-1</sup> ) | 酸价/(mg KOH·g <sup>-1</sup> ) | 水分/% | 表面油含量/% | 感官 |
|--------|--|------------------------------|------|---------|----|
| 0      | 0.046                                      | 0.24                         | 0.97 | 1.60    | 合格 |
| 90     | 0.050                                      | 0.25                         | 1.11 | 1.60    | 合格 |

† 标准:过氧化值≤0.130 g/100 g,酸价≤1.00 mg KOH/g,水分≤5.00%,表面油含量≤2.50%,无哈败味,流动性好。



籽油微囊粉,内包材为单层 PE 膜,外包材为铝箔复合膜时,常温货架期可推断为 24 个月。

2.3.3 配方和工艺普适性验证 采集市场上的 3 种精炼南瓜籽油,以表面油含量为指标验证配方和工艺的普适性。由表 6 可知,市售精炼南瓜籽油脂肪酸组成相似,自榨南瓜籽油毛油、超临界南瓜籽油毛油与精炼南瓜籽油在脂肪酸组成上有差异,可能与南瓜籽原料品种和工艺有关<sup>[20-21]</sup>,自产南瓜籽油毛油所用南瓜籽出自蜜本南瓜生产南瓜粉产生的南瓜籽下脚料。不同原料南瓜籽油所制微胶囊粉表面油含量最高为 1.80%(<2.50%),配方和工艺对于不同来源南瓜籽油均适用,且产品包埋率均高

于文献[7-10]所报道的。

## 2.4 无糖型南瓜籽油微囊粉的开发

如前所述,表 4 以酪蛋白酸钠为壁材的南瓜籽油微胶囊配方中的填充剂为麦芽糊精,通过将麦芽糊精换成水溶性膳食纤维——聚葡萄糖,南瓜籽油微胶囊粉表面油指标间无显著差异( $P>0.05$ )。由表 7 可知,产品酸价、过氧化值在货架期加速试验 90 d 内均无明显变化,感官、表面油指标无变化。此配方南瓜籽油微囊粉包材为内单层 PE 膜,外铝箔复合膜,常温货架期推断为 24 个月。蛋白-聚葡萄糖壁材的配方属于无糖型,适用于糖尿病人群。

表 5 抗坏血酸对以辛烯基琥珀酸淀粉钠为壁材的南瓜籽油微胶囊粉理化指标的影响<sup>†</sup>

Table 5 Effect of starch wall material, with or without ascorbic acid, on the stability of pumpkin seed oil microcapsule powders during accelerated shelf life test

| 试验天数/d | 0.00%  |  |          |             |    | 0.20%  |  |          |             |    |
|--------|--|--|----------|-------------|----|--|--|----------|-------------|----|
|        | 过氧化值/<br>( $10^{-2} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) | 酸价/<br>( $\text{mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$ ) | 水分/<br>% | 表面油<br>含量/% | 感官 | 过氧化值/<br>( $10^{-2} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) | 酸价/<br>( $\text{mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$ ) | 水分/<br>% | 表面油<br>含量/% | 感官 |
| 0      | 0.014  | 0.46   | 0.68     | 1.00        | 合格 | 0.066  | 0.04   | 0.62     | 1.80        | 合格 |
| 7      | 0.038  | 0.63   | 0.87     | 1.06        | 合格 | 0.037  | —  | 0.81     | 1.81        | 合格 |
| 11     | 0.110  | 0.64   | 0.87     | 1.03        | 合格 | —  | —  | 0.46     | 1.67        | 合格 |
| 21     | 0.083  | 0.82   | 0.80     | 1.04        | 合格 | 0.044  | —  | 0.69     | 1.70        | 合格 |
| 28     | —  | —  | —        | —           | —  | 0.039  | —  | 0.71     | 1.78        | 合格 |
| 35     | 0.125  | 0.90   | 0.78     | 1.01        | 合格 | 0.035  | —  | 0.85     | 1.79        | 合格 |
| 42     | 0.095  | 0.88   | 0.83     | 1.07        | 合格 | 0.035  | —  | 0.82     | 1.82        | 合格 |
| 49     | 0.138  | 0.55   | 0.89     | 0.99        | 合格 | 0.030  | 0.41   | 0.89     | 1.87        | 合格 |
| 56     | 0.158  | 0.70   | 1.03     | 1.10        | 合格 | 0.038  | 0.44   | 1.03     | 1.79        | 合格 |
| 63     | —  | —  | —        | —           | 哈败 | 0.049  | 0.51   | —        | 1.77        | 合格 |
| 70     | —  | —  | —        | —           | —  | —  | —  | 0.74     | —           | 合格 |
| 77     | —  | —  | —        | —           | —  | 0.029  | 0.49   | —        | —           | 合格 |
| 84     | —  | —  | —        | —           | —  | 0.056  | 0.39   | 0.50     | —           | 合格 |
| 91     | —  | —  | —        | —           | —  | 0.057  | 0.49   | 0.67     | 1.90        | 合格 |

† 标准:过氧化值 $\leq 0.130 \text{ g}/100 \text{ g}$ ,酸价 $\leq 1.00 \text{ mg KOH}/\text{g}$ ,水分 $\leq 5.00\%$ ,表面油含量 $\leq 2.50\%$ ,无哈败味,流动性好。

表 6 不同原料南瓜籽油对南瓜籽油微胶囊粉表面油含量的影响

Table 6 Effect of different pumpkin seed oil on the surface oil of pumpkin seed oil microcapsule powder %

| 南瓜籽油   | 棕榈酸  | 硬脂酸 | 油酸   | 亚油酸  | 蛋白壁材表面油含量 | 淀粉壁材表面油含量 |
|--------|------|-----|------|------|-----------|-----------|
| 南瓜籽油 1 | 12.8 | 5.9 | 22.1 | 56.9 | 0.90      | 1.13      |
| 南瓜籽油 2 | 12.5 | 5.4 | 23.2 | 56.3 | 1.70      | 1.80      |
| 南瓜籽油 3 | 14.2 | 5.8 | 23.2 | 55.0 | 0.90      | 1.25      |
| 自榨毛油   | 17.6 | 9.4 | 30.6 | 40.1 | 1.40      | 0.97      |
| 超临界毛油  | 20.7 | 7.8 | 13.3 | 57.9 | 1.00      | 1.69      |

表 7 聚葡萄糖对南瓜籽油微胶囊粉稳定性的影响<sup>†</sup>

Table 7 The stability of pumpkin seed oil microcapsule powders added polydextrose, used sodium caseinate as wall material, during accelerated shelf life test

| 试验天数/d | 过氧化值/( $10^{-2} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) | 酸价/( $\text{mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$ ) | 水分/% | 表面油含量/% | 感官 |
|--------|--|--|------|---------|----|
| 0      | 0.046  | 0.24                                       | 1.33 | 1.91    | 合格 |
| 90     | 0.045  | 0.33                                       | 1.54 | 1.93    | 合格 |

† 标准:过氧化值 $\leq 0.130 \text{ g}/100 \text{ g}$ ,酸价 $\leq 1.00 \text{ mg KOH}/\text{g}$ ,水分 $\leq 5.00\%$ ,表面油含量 $\leq 2.50\%$ ,无哈败味,流动性好。

### 3 结论

根据“清洁标签”原则,选择酪蛋白酸钠、辛烯基琥珀酸淀粉钠为壁材,糊精为填充剂的壁材均不能保证载油量 50% 南瓜籽油微囊粉在货架期加速试验周期的稳定性,需在壁材配方中添加抗氧化剂;蛋白型壁材中需通过添加乳化剂和磷酸盐调节体系 pH,而辛烯基琥珀酸淀粉钠可以直接添加抗坏血酸达到目的。通过货架期加速试验,可推断壁材中添加抗氧化剂可使产品在常温下的货架期达到 24 个月,过氧化值  $\leq 0.130$  g/100 g,酸价  $\leq 1.00$  mg KOH/g,表面油含量  $\leq 2.50\%$ 。酪蛋白酸钠为壁材的南瓜籽油微胶囊可将配方中的糊精填充剂替换为聚葡萄糖而成为无糖南瓜籽油微胶囊粉。蛋白壁材抗氧化体系中单双甘油脂肪酸酯、大豆磷脂、抗坏血酸钠及磷酸氢二钾的配伍比例可以通过试验设计进一步优化;抗坏血酸对淀粉壁材体系的抗氧化效果良好,其他抗氧化剂的适用性有待进一步论证;南瓜籽油微胶囊的常温货架期仍需进一步试验佐证。

#### 参考文献

[1] 陈田,戴思慧,沈鹏原,等. 裸仁南瓜籽油活性成分分析及抗氧化能力评价[J]. 食品与机械, 2018, 34(10): 152-157.  
 [2] 刘玉梅,高智明,王健,等. 裸仁南瓜籽及南瓜籽油的营养成分研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(6): 313-316.  
 [3] 朱琳,薛雅琳,张东,等. 特种植物油中甾醇总量及组成分析[J]. 粮油食品科技, 2015, 32(2): 49-52.  
 [4] 何雄伟. 植物甾醇治疗前列腺疾病研究进展[J]. 中国医药导报, 2010, 7(10): 17-18.  
 [5] LIU Fu-guo, MA Cui-cui, GAO Yan-xiang, et al. Food-Grade covalent complexes and their applications as nutraceutical delivery systems: A review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2017, 16(1): 76-95.  
 [6] MAO Like, MIAO Song. Structuring food emulsions to improve nutrient delivery during digestion [J]. Food Engineering Reviews, 2015, 7(4): 439-451.

(上接第 144 页)

[7] LI Yuan, WU Chun-hua, WU Tian-tian, et al. Antioxidant and antibacterial properties of coating with chitosan-citrus essential oil and effect on the quality of Pacific mackerel during chilled storage[J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(3): 1131-1142.  
 [8] 周强,刘蒙佳,丁立云,等. 基于栅栏因子协同作用的中国对虾保鲜效果研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(4): 140-145, 191.  
 [9] 赵艳芳,盛晓风,尚德荣,等. 复合抗氧化剂对鲱鱼背腹部肌肉脂肪的抗氧化研究[J]. 食品工业, 2019, 40(1): 18-20.  
 [10] 刘锋,谢晶. 流化冰结合臭氧在水产品保鲜中的应用[J]. 食品与机械, 2018, 34(5): 173-176.  
 [11] 施源德,蔡碧云,欧阳锐,等. 茶多酚流化冰对鲭鱼品质的影响[J]. 食品工业, 2018, 39(9): 53-57.

[7] 牛广财,朱丹,李志江,等. 南瓜籽油微胶囊化的研究[J]. 中国农学通报, 2007, 23(9): 181-185.  
 [8] 杨伊磊,黄晴,廖卢艳. 南瓜籽油的微胶囊化研究[J]. 粮油食品科技, 2015, 23(6): 40-43.  
 [9] 韩丽丽,侯占群,文剑,等. 壁材种类及浓度对高载量紫苏籽油微胶囊特性的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(8): 167-170.  
 [10] 徐江波,肖江,陈元涛,等. 喷雾干燥法制备紫苏籽油微胶囊的研究[J]. 中国调味品, 2013, 38(12): 9-13.  
 [11] 张慧,乙小娟,周璐. 用红外水分测定仪快速测定食品中的水分[J]. 食品科学, 2006, 27(6): 174-176.  
 [12] TAOUKIS P S, LABUZA T P, SAGUY A I S. 9 Kinetics of food deterioration and shelf-life prediction[M]// VALENTAS K J, ROTSTEIN E, SINGH R P. The handbook of food engineering practice. Boca Raton: CRC Press, 1997: 366-403.  
 [13] 张海玲. 微胶囊型低脂植物奶油粉的制备及其性能研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2011: 24-33.  
 [14] 丁俭,齐宝坤,毛惠婷,等. 抗坏血酸对大豆蛋白乳液抗氧化稳定性的研究[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(7): 67-73.  
 [15] 宁建琴. 水包油乳液体系油脂与蛋白质共氧化对乳液稳定性及蛋白质功能特性的影响研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2019: 42-48.  
 [16] 高彦祥. 食品添加剂[M]. 2 版. 北京: 中国轻工业出版社, 2019: 209.  
 [17] 安红,侯近龙,邓启刚,等. 大豆磷脂的 HLB 值测定和乳化力的研究[J]. 理化检验: 化学分册, 2003(12): 716-717, 720.  
 [18] 陈先鑫. 不同抗氧化剂对蛋白乳液稳定性及油脂体外消化特性影响的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2016: 55-67.  
 [19] 柳艳霞,刘兴华,汤高奇. 籽用南瓜籽的营养与籽油的特性分析[J]. 食品工业科技, 2005, 26(5): 157-158, 161.  
 [20] 魏照信,陈荣贤,殷晓燕,等. 中国籽用南瓜产业现状及发展趋势[J]. 中国蔬菜, 2013(9): 10-13.  
 [21] 来海中,阿合买提·吐尔逊,周婷婷,等. 不同提取方法对南瓜籽油脂肪酸组成含量影响的分析[J]. 新疆中医药, 2014, 32(1): 31-32.

[12] 赵艳芳,盛晓风,尚德荣,等. 复合抗氧化剂对鲱鱼背腹部肌肉脂肪的抗氧化研究[J]. 食品工业, 2019, 40(1): 18-20.  
 [13] 李玲,季慧,康大成,等. 氧化条件下茶多酚对猪肉肌原纤维蛋白理化和凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(2): 12-17.  
 [14] 吴春华. 壳聚糖衍生物分子修饰机理及其在银鲱鱼保鲜中的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017: 11-14.  
 [15] 余小亮. 复合生物保鲜剂保鲜机理及对鲈鱼冷藏过程中品质变化的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018: 20-22.  
 [16] 谢菁,卢立新,潘嘹,等. 基于  $\alpha$ -生育酚抗氧化膜的冷鲜猪肉保鲜包装研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(5): 132-136.  
 [17] 李婷婷,励建荣,赵威. 壳聚糖涂膜对冷藏美国红鱼品质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(10): 299-303.  
 [18] 孟玉霞. 天然植物精油对冷藏海水养殖鱼类特定腐败菌的抑制作用及保鲜效果研究[D]. 大连: 大连海洋大学, 2018: 48-57.