

# 腰果全粉微胶囊化工艺及其性质结构的表征

## Preparation and characterization of the powder microcapsules of cashew nut

陈思达 梁 露 李雨婷 颜小燕

CHEN Si-da LIANG Lu LI Yu-ting YAN Xiao-yan

刘成梅 钟业俊 钟俊桢 熊 洋

LIU Cheng-mei ZHONG Ye-jun ZHONG Jun-zhen XIONG Yang

(南昌大学国家食品科学重点实验室, 江西 南昌 330047)

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang, Jiangxi 330047, China)

**摘要:**以腰果为主要原料研制微胶囊化腰果全粉, 优化生产工艺, 并对产品的理化性质进行表征。结果显示, 乳化剂配比单双甘脂: 蔗糖酯(质量比)为 1:2 时乳化稳定性最好, 乳化剂添加量 1.5% 最为合适, 芯壁比(质量比)以 1:1 为最佳, 最佳固形物含量为 25%。微胶囊基本成分为蛋白质 12.94%、水分 2.38%、碳水化合物 61.57%、灰分 2.45%、脂肪 20.66%。微胶囊包埋率为 94.23%、密度为 0.68 g/cm<sup>3</sup>、自转角为 35.45°、溶解度为 92.91%、吸湿性为 0.77%。复原乳乳化效果好, 溶液较为稳定, 粒径主要在 353.3 nm 左右。扫描电镜测定结果显示: 腰果微胶囊颗粒为饱满的球形, 分布均匀, 多数直径处于 25 μm 左右, 包埋效果良好。

**关键词:**腰果粉; 微胶囊化; 乳化

**Abstract:** Cashew was used to explore its powder microcapsule, and the production methods were optimized as well as its properties and structures represented. The results showed that the emulsion stability was the best, when emulsifier ratio of single and double fat gump to sucrose ester was 1:2. Moreover, the best emulsifier content was found to be 1.5%, and the best core wall proportion was 1:1, with the best solid content of 25%. Basic ingredients of microcapsules consisted of proteins (12.94%), water (2.38%), carbohydrate (61.57%), ash (2.45%), and fat (20.66%). Consequently, the rate of microcapsule embedding rate 94.10%, with density 0.68 g/cm<sup>3</sup>, their Angle 35.45 degrees, solubility 92.91%, and hygroscopicity 0.77%. It was also confirmed that the effect of reconstituted milk emulsifying was good, with relatively stable solution, and the main particle size was about 353.3 nm. Additionally, the results of scanning electron microscopy (SEM) measurement showed that

the cashew microcapsule particle was full spherical and uniform distribution, and the diameter of most of them was about 25 nm, showing good embedding effect.

**Keywords:** Cashew nut powder; microcapsule; emulsification

腰果主要生长于热带及亚热带, 果实美味、营养丰富<sup>[1]</sup>。腰果中蛋白质含量高达 22%, 超过一般谷物的 2 倍, 脂肪含量为 40%~57%, 其中人体所不能合成的不饱和脂肪酸含量达到 33%, 有很高的食用价值<sup>[2-3]</sup>。含有的脂肪酸、蛋白质和某些矿物质, 对人体的润肠润肤有着一定效用, 在某种程度上可以起到美容、抗衰老等作用<sup>[4]</sup>。

国内外对于腰果的研究<sup>[4-5]</sup>主要集中在腰果壳中腰果酚在材料学上的应用, 对腰果果肉的研究较少。黄宗兰等<sup>[6]</sup>对腰果蛋白的提取进行了优化, 确定碱提酸沉法效果最佳; 王芳等<sup>[7]</sup>对其蛋白的功能特性及氨基酸组成进行了分析, 结果表明, 腰果蛋白中含有 17 种氨基酸, 其中 7 种是人体必需氨基酸, 含量皆高于 FAO/WHO/UNO 成人推荐标准。腰果具有良好的功能性, 但含量较高的不饱和脂肪酸极易氧化变质, 微胶囊化可以良好地解决这一问题, 并可将其制成一种高蛋白含量的饮料产品。薛文通等<sup>[8]</sup>已通过微胶囊技术生产出核桃仁全粉微胶囊, 黑龙江商学院食品工程系<sup>[9]</sup>成功制备出偃松仁全粉和乳珍微胶囊。

本研究拟采用喷雾干燥法对腰果全粉的微胶囊化进行探究, 确定腰果加工过程中的必要参数, 并对其性质结构进行表征, 为腰果的深加工提供新途径。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料与仪器

腰果: 品种为 W240, 产地越南, 放置于 0~4 °C 密闭避光贮藏;

玉米葡萄糖浆、白砂糖、酪蛋白酸钠、单双甘酯、蔗糖酯

**基金项目:**公益性行业(农业)科研专项(编号:201303077)

**作者简介:**陈思达, 男, 南昌大学在读硕士研究生。

**通信作者:**刘成梅(1963—), 男, 南昌大学教授, 博士。

E-mail: chengmeiliu@yahoo.com.cn

**收稿日期:**2016-10-08

(HLB 值 15)、磷酸氢二钾、三聚磷酸钠、六偏磷酸钠等均为食用级食品添加剂；

其余均为分析纯试剂；

紫外分光光度计:UV-1600PC 型,上海天美科学仪器有限公司；

激光纳米粒度仪:Nicomp 380/ZLS 型,Santa Barbara, CA, USA；

环境扫描显微镜:Quanta200F 型,美国 FEI 公司；

高速离心机:LXJ-IIBB 型,上海安亭科学仪器厂；

自动凯氏定氮仪:K9840 型,济南海能仪器有限公司；

离心、压力喷雾干燥机:MDR.P-5 型,锡山市现代喷雾干燥机厂；

高压均质机:GYB50-6S 型,上海东华高压均质机厂；

胶体磨:JTM-608 型,上海东华高压均质机厂；

旋转蒸发器:RE-2000A 型,上海亚荣生化仪器厂；

循环水式真空泵:SHZ-D 型,巩义市子华仪器有限公司；

喷雾干燥机:MDRP-50 型,上海华东电器集团。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 腰果全粉微胶囊化工艺流程

生腰果仁→去生→磨浆→腰果仁乳液 $\xrightarrow{\text{玉米葡萄糖浆}}$ 选定芯壁比(干基) $\xrightarrow{\text{稳定剂、乳化剂、水}}$ 搅拌混合→过胶体磨→均质→喷雾干燥→微胶囊产品

根据前期试验,得到较为成熟的工艺条件,制备腰果全粉微胶囊产品,主要操作步骤如下(以下原辅料质量都为总干基百分比)：

(1) 称量 2% 的酪蛋白酸钠不断搅拌溶解于 60 ℃ 左右的水,称量好乳化剂(单双甘酯、蔗糖酯)、1% 磷酸氢二钾、0.2% 六偏磷酸钠、0.3% 三聚磷酸钠以及 5% 白砂糖,备用。

(2) 称量 45% 的腰果仁进行预处理(烘烤),加水并磨浆,加入步骤(1)中已溶解的酪蛋白酸钠溶液和称量好的单双甘酯,在 60 ℃ 左右下搅拌。

(3) 称量 45% 的玉米葡萄糖浆,溶于适量水中,添加蔗糖酯、三聚磷酸钠、磷酸氢二钾、六偏磷酸钠及白砂糖,在 60 ℃ 左右下搅拌。

(4) 将上述步骤(2)中配好的溶液加入到(3)中,加水在,60 ℃ 左右下搅拌,完成料液的配置。

(5) 将(4)所得料液过 3 次胶体磨(先过)和均质机(3 次压力分别设置为 35~40,65~70,30~35 MPa)。

(6) 喷雾干燥时,喷雾干燥塔进风温度为 180~200 ℃,出风温度 80~90 ℃,制备出产品。

其中干乳化剂的配比、乳化剂的添加量、基料所占比例以及芯壁比为影响产品品质的关键因素,故而选其做单因素试验,以确定最佳的工艺条件。

#### 1.2.2 单因素实验

(1) 乳化剂配比的选择:依照 1.2.1 的(1)到(5)步制备乳液其中设计单双甘脂与蔗糖酯总量为干料的 2%,干基料含量设为 25%,芯壁比 1:1(质量比)的条件下,并设置单双甘脂与蔗糖酯的不同比值,以获得不同的 HLB 值:6.8,7.7,

9.5,10.6,11.3,12.3,13.2。以乳液的稳定系数确定最终乳化剂配比。

(2) 乳化剂添加量的选择:干基料含量为 25%,芯壁比 1:1(质量比)的条件下,乳化剂配比按上述试验最佳配比,设置 0.0%,0.5%,1.0%,1.5%,2.0%,2.5%,3.0%(所占干料的百分比)7 个乳化剂添加量,选择 1.2.3 中得到的最佳 HLB 值进行乳液配制,同样以稳定系数确定乳化剂最终配比,产业化成本设为参考条件。

(3) 腰果全粉微胶囊化芯壁比的确定:取上述试验所得最佳数据,干基料设为 25%,设计不同芯壁比 1:3,1:2,2:3,1:1,3:2,2:1(质量比),利用本课题组前期研究<sup>[10]</sup>所得较成熟的喷雾干燥工艺条件喷雾干燥,通过对比包埋率,得到最佳腰果全粉微胶囊的芯壁比。

(4) 总干基料含量的确定:选之前试验所获最佳数据,干基料设置为 10%,15%,20%,25%,30%,35% 6 个含量,观察其对包埋率的影响,取包埋率最高者为最佳固形物含量。

#### 1.2.3 腰果全粉微胶囊产品性质分析

(1) HLB 值的计算：

$$HLB_{ab} = HLB_a \times a + HLB_b \times b \quad (1)$$

式中：

$HLB_{ab}$ ——混合 HLB 值；

$HLB_a$ ——a 物质的 HLB 值；

$HLB_b$ ——b 物质 HLB 值；

$a$ ——a 物质在混合乳化剂中所占的比例，%；

$b$ ——b 物质在混合乳化剂中所占的比例，%。

(2) 稳定系数的测定:在刻度离心管中准确加入乳液 50 mL,然后以 3 000 r/min 离心 15 min,检测顶端脂肪层的体积,取上层清液稀释 100 倍后,用紫外分光光度计检测(检测波长 400 nm)吸光度  $A_2$ ,与离心前的吸光度  $A_1$  的比即为稳定性系数  $R$ ,公式：

$$R = \frac{A_1}{A_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$R$ ——稳定系数，%；

$A_1$ ——离心前乳液的吸光度；

$A_2$ ——离心后乳液的吸光度。

若  $R \geq 98\%$ ,则说明稳定性良好,根据此经验公式, $R$  值越大(上限为 100%),说明乳液越稳定,保存性越好。

(3) 总油含量:按制备微胶囊时加入芯材干基的含量乘于原料的含油量来计算;采用索氏抽提法<sup>[11]</sup>测定得出所用腰果含油量为 45.91%。

(4) 表面油含量:取约 3 g(精确到 0.000 1 g)腰果全粉微胶囊样品( $M$ )于 100 mL 的三角瓶中,添入石油醚 30 mL,摇晃 5 min,过滤,再用少量石油醚冲洗锥形瓶及滤纸上的微胶囊,过滤,将全部滤液转移至衡重( $M_0$ )的圆底烧瓶中,在 35~40 ℃ 温度下,进行旋蒸,再真空干燥至衡重,称量含油的圆底烧瓶质量( $M_1$ ),重复 2 次<sup>[12]</sup>。产品表面油含量按式(3)计算：

$$C = \frac{M_1 - M_0}{M} \times 100\%, \tag{3}$$

式中:

C——表面油含量,%;

M——样品质量,g;

M<sub>0</sub>——圆底烧瓶质量,g;

M<sub>1</sub>——含油的圆底烧瓶质量,g。

(5) 包埋率的测定:包埋率是评价产品微胶囊化效果的重要指标,能直观表达芯材被包裹的程度。腰果全粉微胶囊产品的包埋率按式(4)计算:

$$Er = \left(1 - \frac{C_1}{C}\right) \times 100\%, \tag{4}$$

式中:

Er——包埋率,%;

C<sub>1</sub>——表面油含量,%;

C——总油含量,%。

(6) 水分含量的测定:按 GB/T 50093—2003 执行。

(7) 灰分含量的测定:按 GB 5009.4—2010 执行。

(8) 微胶囊油脂含量的测定:取少量样品 m<sub>1</sub>,溶于水,加浓氨水破壁,再使用索氏提取法提取油脂[同 1.2.3(3)中步骤],其后旋蒸石油醚,得微胶囊总油量 m<sub>2</sub>。

$$C = \frac{m_2}{m_1} \times 100\%, \tag{5}$$

式中:

C——油脂含量,%;

m<sub>1</sub>——样品质量,g;

m<sub>2</sub>——微胶囊总油量,g。

(9) 蛋白含量的测定:按 GB 50095—2010 执行。

(10) 碳水化合物的测定:碳水化合物的含量由 1 减去蛋白、水分、灰分、脂肪含量得到。

(11) 密度测定:测定已知质量的腰果全粉微胶囊所占的空间,得出单位体积样品的重量即为密度<sup>[11]</sup>。

(12) 自流角测定:按 GB 11986—89 执行。

(13) 溶解度的测定:按 GB 5413.29—2010 执行。

(14) 吸湿性的测定:准确称取腰果全粉微胶囊样品 m<sub>1</sub>放进平衡的称量皿中,敞口置于温度为 15~25 ℃,湿度为 60%~70%避光环境中,12 h 后,称量所得样品质量为 m<sub>2</sub>,并做平行样<sup>[13]</sup>。

$$MA = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%, \tag{6}$$

式中:

MA——吸湿性,%;

m<sub>1</sub>——样品质量,g;

m<sub>2</sub>——处理后样品的质量,g。

(15) 复原乳状液粒径测定:称取 10 mg 腰果微胶囊样品溶于 10 mL 常温的蒸馏水中,磁力搅拌(400 r/min)30 min,使其分散并最大程度溶解,离心(4 000 r/min,10 min),过后,取少量清液待测,用激光纳米粒度分析仪测定其粒径大小。

(16) 腰果全粉微胶囊复原乳性状观察:取适量腰果微

胶囊样品于烧杯中,加入热水(80 ℃)进行搅拌,让其最大程度溶解,过程中观察乳状液的色泽,以及是否有结膜变化等性状,并进行感官评定。

(17) 腰果全粉微胶囊产品微结构的研究:取少量腰果全粉粉末置于扫描电镜样品台上,剔除多余粉末,选择×250、×500、×1 500、×3 000 等 4 个放大倍数测定观察产品微结构<sup>[14]</sup>。

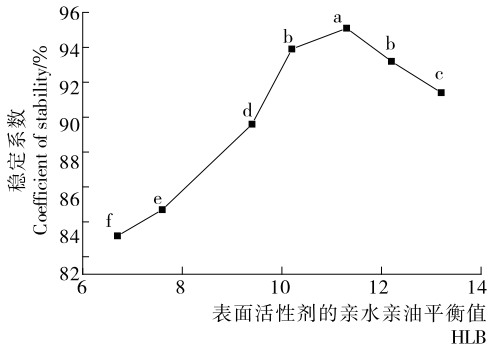
2 结果与分析

2.1 最佳 HLB 值的确定

图 1 展示的是复合乳化剂 HLB 值对腰果全粉乳液稳定系数的影响。由图 1 可知,稳定系数随 HLB 值的增加,先增加后降低,HLB 值在 9.4~12.2 时稳定系数较高,基本超过 90%,HLB 值在 11.3 时达到稳定最大值(95.1%),之后随着 HLB 值增加而下降,这是由于随着 HLB 值的增加,乳液的亲水性增强,随之稳定性增强,当 HLB 值到达 11.3 后得到一个较为稳定的油水体系,随着 HLB 值的再度增加这个体系被破坏,并伴随着稳定性降低,所以造成这种现象,故而选择 HLB 值为 11.3 时的乳化剂配比。乳化剂的配比为 1:2(单双甘脂:蔗糖酯)。

2.2 最佳乳化剂添加量的确定

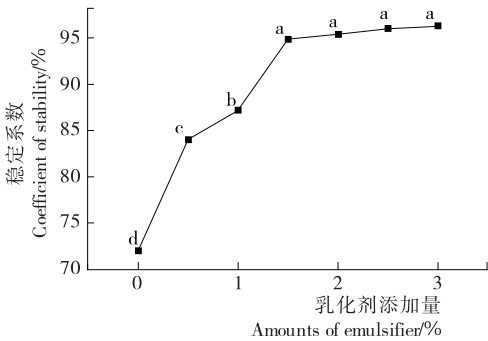
由图 2 可知,稳定系数随着乳化剂添加量从 0.0%到 1.5%大幅上升(达到 94.9%),从 1.5%~3.0%上升缓慢,所



字母不同表示差异显著,P<0.05

图 1 HLB 值对腰果乳液稳定性的影响

Figure 1 Effect of HLB value on cashew emulsion stability (n=3)



字母不同表示差异显著,P<0.05

图 2 乳化剂添加量对腰果乳液稳定性的影响

Figure 2 Effect of amount of emulsifier to cashew emulsion stability (n=3)

以在所得数据的基础上综合实际生产成本考虑选择乳化剂添加量为1.5%为最佳。

2.3 最佳芯壁比的确定

由图3可知,腰果全粉微胶囊的包埋率随着芯材所占比例提高,先增加再快速下降,芯壁比1:1(质量比)时达到最大值(94.23%)。造成这种现象的原因是芯材所占比例低时,壁材量大在喷雾干燥过程中使囊壁形成较为缓慢,芯材易外泄,故随芯材增加包埋率提升,当芯材大于壁材时,由于壁材量少,形成的囊壁较薄易破裂使芯材外漏,使包埋率降低<sup>[15]</sup>。还有一部分原因是腰果中蛋白含量较高,由于蛋白相对其他原料不易溶于水,故随着蛋白含量提高,包埋率下降。从提高微胶囊中腰果成分的角度考虑选择1:1(质量比)为最佳芯壁比。

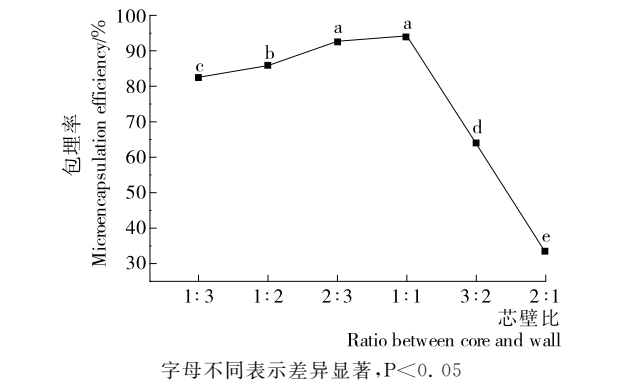


Figure 3 Effect of ratio between core and wall on the microencapsulation efficiency (n=3)

2.4 总干基料含量的确定

由图4可知,包埋率随着固形物含量的增加先增高后降低,当总干基料含量为25%时包埋率达到最高为94.23%,随后随着固形物含量的增加而减少,这是由于乳液随着固形物含量的增加,乳液含水量减少,加速了微胶囊的成膜,随着固形物含量的进一步上升,乳液逐渐黏稠,黏壁逐渐严重,使得其在喷雾干燥过程中不易形成均匀的球体,随着成膜速度的进一步加快,水分不能在微胶囊中完全排除,并增加微胶囊内部的压强,使得微胶囊结构稳定性降低,随之包埋率降

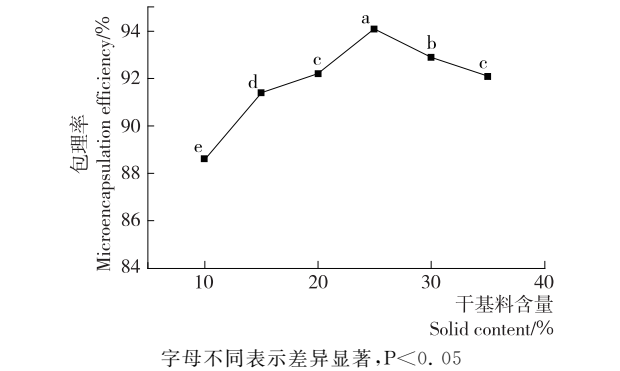


Figure 4 Effect of solid content on microencapsulation yield (n=3)

低<sup>[15-16]</sup>。故取最佳固形物含量为25%。

2.5 腰果全粉微胶囊产品基本成分及其物理性质分析

由表1、2可知,样品中的水分含量为2.38%,相对较低,有利于产品的储藏;产品蛋白质含量较高,达到12.94%,是一种高蛋白营养的产品,远高于市场上大部分蛋白速溶饮料;产品中的脂肪含量为20.66%,主要来源于芯材,对人体有一定益处;微胶囊碳水化合物占61.57%,主要来自于壁材的玉米葡萄糖浆以及原腰果果实中的碳水化合物,因其含量较高,不适宜血糖较高及肥胖人群食用。

| 表 1 腰果微胶囊产品的物理性质分析                                       |                              |             |           |           |              |
|----------------------------------------------------------|------------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| Table 1 The physics property of cashew nut microcapsules |                              |             |           |           |              |
| 包埋率/<br>%                                                | 密度/<br>(g·cm <sup>-3</sup> ) | 自流角/<br>(°) | 溶解度/<br>% | 吸湿性/<br>% | 复原乳<br>粒径/nm |
| 94.23                                                    | 0.68                         | 35.45       | 92.91     | 0.77      | 356.30       |

| 表 2 腰果微胶囊产品基本成分分析                                            |       |       |       |      |
|--------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|------|
| Table 2 Thecomponent percentages of cashew nut microcapsules |       |       |       |      |
| 水分                                                           | 蛋白质   | 碳水化合物 | 脂肪    | 灰分   |
| 2.38                                                         | 12.94 | 61.57 | 20.66 | 2.45 |

由此可得出,腰果全粉微胶囊有着较高的营养成分,能使腰果蛋白和腰果油得到较好的应用,微胶囊蛋白含量高,绿色健康,能在提供能量的同时,满足口感,并提供人体所需的高质量蛋白及不饱和脂肪酸。

产品包埋率高达94.23%,说明微胶囊转化效率高,绝大部分芯材被严密包裹,腰果全粉的微胶囊化得到了较好的实现,并验证了2.2中的最佳芯壁比1:1(94.23%);微胶囊密度为0.68 g/cm<sup>3</sup>,与腰果全粉微胶囊颗粒的形态有关联;微胶囊自流角(休止角)测定时,笔者对其进行了造粒,其自流角为35.45°,流动性较为一般;微胶囊溶解度达到92.91%,溶解性较为优秀;吸湿性为0.77%,吸湿性与含水量是有反相关关系的,随着含水量降低吸湿性会增大。测定出腰果全粉微胶囊复原乳状液的平均粒径为353.30 nm,分散系数为0.244,分散系数较小,说明乳液中粒子大小比较相近,乳液性质比较均一,乳液稳定性较好。

用80℃左右的水以及室温水冲泡所得的腰果全粉微胶囊乳状液,有淡淡腰果香气,口感柔和,状态细腻均一,上层没脂肪膜,也没粒子挂壁。静置24 h后无明显性状变化,表明乳化效果良好。

由图5可知,腰果全粉微胶囊化后呈球形,几乎看不到干瘪残缺的现象,说明包埋效果优良;颗粒大小不一,直径处于2~70 μm,绝大部分直径处于25 μm左右,与复原乳粒径相差100倍左右,属正常范围。有部分不同大小的颗粒聚集在一起,这样有利于微胶囊的溶解。

3 结论

本试验结果表明,乳化剂HLB值为11.3时稳定性较好;乳化剂最佳添加量为干料的1.5%;最佳芯壁比为1:1

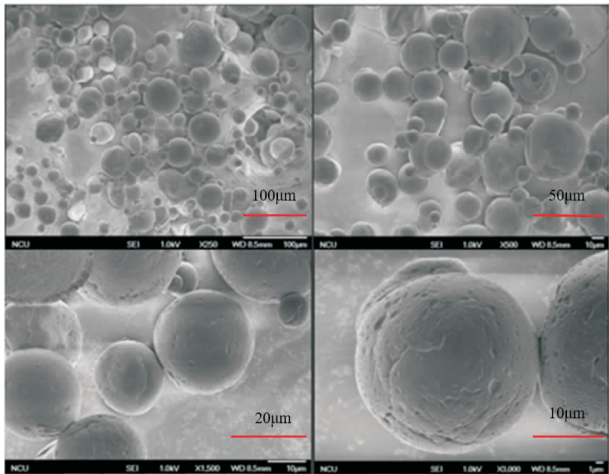


图 5 腰果及其微胶囊表面微观结构

Figure 5 Cashew nut microcapsules and Surface microstructure of it

(质量比);试验得出腰果全粉微胶囊产品基本成分为蛋白质 12.94%、水分 2.38%、碳水化合物 61.57%、灰分 2.45%、脂肪 20.66%。微胶囊包埋率为 94.23%、密度 0.68 g/cm<sup>3</sup>、自溶角 35.45°、溶解度 92.91%、吸湿性 0.77%,表明产品有较好的品质及营养价值,其中的腰果油也得到了较好的保护;电镜扫描得出微胶囊直径多数在 25 µm,包埋性较好,有利于产品的保藏。在此试验的基础上,制备出了腰果全粉微胶囊产品,产品色香味俱佳,缺陷是在存放过程中粉末易凝结,速溶效果不够好,未来对产品的优化可以考虑从改善粉末的结块现象与速溶性入手。

参考文献

[1] 赵丽, 黄海杰. 我国腰果研究概况[J]. 中国南方果树, 2012, 41 (2): 41-46, 77.  
[2] SOARES D J, VASCONCELOS P H M, CAMELOA L M, et

al. Prevalent fatty acids in cashew nuts obtained from conventional and organic cultivation in different stages of processing[J]. Food Science and Technology (Campinas), 2013, 33(2): 265-270.  
[3] 左亚文, 郭兴峰, 王雨辰, 等. 我国腰果生产加工工业发展现状与前景[J]. 中国果业信息, 2013(11): 13-18.  
[4] PURI S K, GUPTA A A, RAJESH M, et al. Process of preparation of novel mannich bases from hydrogenated and distilled cashew nut shell liquid (CNSL) for use as additive in liquid hydrocarbon fuels; U.S, 6 797 021[P]. 2004-09-28.  
[5] 刘义军, 朱德明, 黄茂芳. 腰果加工利用的研究进展[J]. 农产品加工: 学刊, 2013(22): 43-45.  
[6] 钟俊桢, 顿儒艳, 黄宗兰, 等. 腰果蛋白的提取工艺条件优化[J]. 食品科学, 2014(16): 18-22.  
[7] 刘成梅, 王芳, 钟俊桢, 等. 腰果蛋白的功能特性研究及其氨基酸组成分析[J]. 食品工业科技, 2016(2): 88-92.  
[8] 薛文通, 刘晓毅, 李寿佳. 微胶囊核桃粉加工工艺的研究[J]. 农业工程学报, 2004(1): 230-233.  
[9] 微胶囊化偃松仁全粉(乳珍)[J]. 食品与机械, 2001(2): 41-42.  
[10] 胡旭涛. 腰果, 澳洲坚果油的微胶囊化及腰果速溶粉产品开发[D]. 南昌: 南昌大学, 2015: 11-14.  
[11] 罗兰. 营养食品中脂肪测定方法探讨[J]. 江苏卫生保健, 2005 (5): 19-35.  
[12] 高媛媛, 郑为完, 杨婧, 等. 以雪莲果汁为壁材制备月见草油微胶囊粉末[J]. 食品科学, 2011(16): 136-140.  
[13] 李春莉, 郑为完, 张斌, 等. 耐酸型微胶囊粉末油脂的研制及其性能研究[J]. 中国油脂, 2007(10): 17-19.  
[14] JITNGARMKUSOL S, HONGSUWANKUL J, TANANUWONG K. Chemical compositions, functional properties, and microstructure of defatted macadamia flours[J]. Food Chemistry, 2008, 110(1): 23-30.  
[15] 魏巍, 李敏, 李春, 等. 1,3-二油酸-2-棕榈酸结构油脂微胶囊的研制[J]. 食品工业科技, 2013(20): 294-301.  
[16] 刘楠楠. 喷雾干燥法制备芝麻油微胶囊的研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 219-222.

(上接第 183 页)

[6] LESSARD M H, VIEL C, BOYLE B, et al. Metatranscriptome analysis of fungal strains *Penicillium camemberti* and *Geotrichum candidum* reveal cheese matrix breakdown and potential development of sensory properties of ripened Camembert-type cheese[J]. BMC Genomics, 2014, 15(235): 2-13.  
[7] 孙杨, 姜平, 孙东阳, 等. 右旋磷霉素手性转化菌株的筛选与鉴定[J]. 中国抗生素杂志, 2011, 36(6): 421-425.  
[8] BIZET C, DESOBRY S, FANNI J, et al. Composition and physical properties of the *Penicillium camemberti* mycelium[J]. Le Lait, 1997, 77(4): 461-466.  
[9] 李敏杰, 熊亚, 韩何波. 白灵菇多糖提取工艺优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(5): 225-228.  
[10] VIÑARTA S C, MOLINA O E, FIGUEROA L I C, et al. A further insight into the practical applications of exopolysaccharides from *Sclerotium rolfsii*[J]. Food Hydrocolloids, 2006, 20(5): 619-629.  
[11] YE Ming, LIU Dong, ZHANG Rong, et al. Effect of hawk tea (*Litsea coreana* L.) on the numbers of lactic acid bacteria and

flavour compounds of yoghurt[J]. International Dairy Journal, 2012, 23(1): 68-71.  
[12] ZHU Cai-ping, LIU Xiao-lin. Optimization of extraction process of crude polysaccharides from Pomegranate peel by response surface methodology[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 92 (2): 1 197-1 202.  
[13] MA Ting-ting, SUN Xiang-yu, TIAN Cheng-rui, et al. Polysaccharide extraction from *Sphallerocarpus gracilis* roots by response surface methodology[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 88: 162-170.  
[14] LIU Yong, GONG Gui-li, ZHANG Jiao, et al. Response surface optimization of ultrasound-assisted enzymatic extraction polysaccharides from *Lycium barbarum*[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 110(38): 278-284.  
[15] 任艳, 陈明, 邵玉宇, 等. 真空冷冻干燥过程中保护剂对乳酸菌的保护机理[J]. 中国乳品工业, 2013, 41(9): 41-45.  
[16] 李德斌, 赵敏. 双歧杆菌冻干菌粉制备过程中保护剂的研究[J]. 中国乳品工业, 2011, 39(11): 32-34.