

桉叶精油微胶囊工艺优化及缓释性能研究

任小玲, 岳淑丽, 向红, 陈讷敏, 陈洁莹, 陈嘉宜, 周敏容
(华南农业大学, 广州 510642)

摘要: **目的** 研究桉叶精油微胶囊的最佳包埋工艺。**方法** 以 β -环糊精为壁材制备桉叶精油微胶囊, 通过单因素和正交试验研究微胶囊包埋工艺, 确定最优包埋工艺条件。**结果** 最佳包埋工艺中包埋温度为 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, 包埋时间为 1.5 h , β -环糊精质量浓度为 8 g/mL 。在该条件下制得的微胶囊包埋率为 70.33% , 微胶囊收率为 86.27% 。缓释试验结果表明, 微胶囊化可以明显降低桉叶精油的挥发速率, Avrami's方程也可以对桉叶精油微胶囊释放过程进行较好拟合。**结论** 试验达到了预期目的, 微胶囊化提高了精油利用率, 延长了桉叶精油的使用寿命。

关键词: 桉叶精油; β -环糊精; 微胶囊; 缓释

中图分类号: TB484.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2017)09-0107-06

Process Optimization of Microencapsulation and Controlled-Release Properties on the Eucalyptus Essential Oil

REN Xiao-ling, YUE Shu-li, XIANG Hong, CHEN Ne-min, CHEN Jie-ying,
CHEN Jia-yi, ZHOU Min-rong
(South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

ABSTRACT: The work aims to study the best inclusion technology of microcapsules of eucalyptus essential oil. β -Cyclodextrin was taken as wall material for preparing microcapsules of eucalyptus essential oil. The optimal inclusion technology was determined by single factor and orthogonal test. The most appropriate conditions were: inclusion temperature $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, inclusion time 1.5 h , mass concentration of β -Cyclodextrin 8 g/mL , under which, the inclusion efficiency was 70.33% and microcapsule yield was 86.27% . The controlled release test results showed that microcapsules could greatly reduce the releasing rate of eucalyptus essential oil. The release course of microcapsules could fit well to the Avrami's equation. The experiment has achieved its intended purpose. Microencapsulation helps improve the utilization of eucalyptus essential oil and meanwhile prolong its service life.

KEY WORDS: eucalyptus oil; β -cyclodextrin; microcapsule; controlled-release

桉树^[1]属桃金娘科, 速生树种, 适应性强, 在我国广泛种植。桉叶精油(以下简称桉油)由桉树叶油腺细胞分泌, 具有芳香性和挥发性, 含有大量具有强烈生物活性的有效成分, 如酚类、黄酮类、皂甙、甾体、氨基酸、萜类等^[2]。桉油具有抗菌、抗氧化、消炎、抗病毒、防腐及杀虫驱蚊等作用, 在食品、日用化工及医药方面已被广泛应用^[3-5]。桉油稳定性差, 易氧化, 香气成分易挥发, 功效作用持续时间短, 不耐储藏保存, 因此限制了其在食品、药品等领域的应用。

用, 为克服以上缺点, 可采用微胶囊技术。

微胶囊技术是指将微量物质包裹在具有聚合物壁壳的微型容器或包装物中, 是一种储存气体、液体和固体的微型包装技术^[6]。具有聚合物壁壳的材料有多种, 如蛋白、淀粉和壳聚糖等, 作为通过淀粉生物降解得到的低聚糖(α -环糊精, β -环糊精, γ -环糊精), 其中 β -环糊精(β -CD)应用得最广泛, β -CD安全无毒, 热稳定性好^[7-8], 口服后在肠道中参与机体代谢, 无蓄积作用, 生产成本低^[9-10]。目前, 精油微胶囊在水

收稿日期: 2016-07-29

基金项目: 航天营养与食品工程重点实验室开放基金(h2015631)

作者简介: 任小玲(1993—), 女, 华南农业大学硕士生, 主攻食品包装。

通讯作者: 向红(1964—), 男, 华南农业大学教授, 主要研究方向为食品包装与运输包装。

果保鲜方面应用广泛,如牛至精油微胶囊可以明显抑制草莓的腐烂^[11],丁香植物精油微胶囊在储藏期间对樱桃番茄和葡萄自然腐烂的抑制效果较好^[12],肉桂精油对芒果的保鲜效果较好^[13],但桉油微胶囊在水果保鲜方面的应用却少见报道。文中试验采用饱和水溶液法,以 β -CD为壁材,包埋制备桉油微胶囊,利用正交试验优化其工艺条件,并对其缓释性能进行初探,以为桉油微胶囊的制备及其在水果保鲜方面的研究提供理论依据。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料:桉油,广州市帕塞佳香精香料有限公司; β -CD,上海博奥生物科技有限公司;无水乙醇,国药集团化学试剂有限公司。主要仪器:DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器、SHZ-D(III)循环水式真空泵,巩义市予华仪器有限责任公司;电脑温控电冰箱,博西华家用电器有限公司;101-3型电热鼓风干燥箱,上海锦屏仪器仪表有限公司通州分公司;SB-100DT超声波清洗机,宁波新芝生物科技股份有限公司;调温电热器,上海苏进仪器设备厂;NOVA NANO SEM 430超高分辨率场发射扫描电子显微镜,美国FEI公司。

1.2 方法

1.2.1 桉油微胶囊的制备

采用饱和水溶液法^[14]制备 β -CD-桉油微胶囊。精确称取一定量的 β -CD于250 mL锥形瓶中,加入10倍 β -CD质量的去离子水,在70℃下加热搅拌,形成 β -CD过饱和溶液,然后降至一定的包埋温度。取一定量的桉油,按桉油与乙醇体积比为1:20来配置桉油乙醇溶液,在包埋温度下逐滴加入 β -CD饱和水溶液中,搅拌包埋一定时间后取出,待溶液冷却至室温后放入4℃冰箱静置24 h。抽滤,滤渣用去离子水和无水乙醇各润洗抽滤1次,以洗去微胶囊表面未被包埋的桉油。然后将滤渣于50℃下干燥至质量不变即得微胶囊产物。

1.2.2 微胶囊包埋效果的测定

微胶囊的包埋效果用收率和包埋率来衡量^[15-16]。精密称取按1.2.1节方法制备的桉油微胶囊于200 mL烧杯中,加入约100 mL去离子水,加盖密封,用超声波清洗机于40℃,40 kHz下超声30 min,再用约300 mL去离子水转移至装有沸石的圆底烧瓶中,连接挥发油测定器与回流冷凝管。加热至微沸,保持微沸约1 h,至挥发油测定器中油量不再增加时停止加热,放置1 h,读取的油量即桉油微胶囊中包埋的桉油量。收率和包埋率的计算公式为:

$$Y_1 = m_1 / (m_2 + m_3) \times 100\%$$

$$Y_2 = V_1 / V_2 \times 100\%$$

式中: Y_1 为收率(%); m_1 为微胶囊质量(g); m_2 为加入精油的质量(g); m_3 为 β -CD质量(g); Y_2 为包埋率(%),即精油利用率; V_1 为微胶囊中精油的体积(mL); V_2 为加入精油的总体积(mL)。微胶囊收率在工业生产上具有经济意义,包埋率是考察包埋效果的主要指标,2项指标均越高越好。

1.2.3 单因素试验

采用单因素控制法时选择包埋时间为2.0 h,包埋温度为40℃, β -CD质量浓度为8 g/mL。考察包埋时间分别为0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 h,包埋温度分别为20, 30, 40, 50, 60, 70℃, β -CD质量浓度分别为2, 4, 6, 8, 10, 12 g/mL时,对微胶囊收率和包埋率的影响。

1.2.4 正交试验设计

以单因素试验为基础,采用三因素三水平正交试验设计,以桉油微胶囊的收率和包埋率作为指标,以包埋温度(A)、包埋时间(B)和 β -CD质量浓度(C)为试验因素,优化桉油微胶囊的包埋工艺参数。正交试验因素水平见表1。

表1 正交试验因素水平
Tab.1 Factors and levels of orthogonal tests

| 水平 | 因素 | | |
|----|-----|-----|-------------------------|
| | A/℃ | B/h | C/(g·mL ⁻¹) |
| 1 | 30 | 1.0 | 6 |
| 2 | 40 | 1.5 | 8 |
| 3 | 50 | 2.0 | 10 |

1.2.5 桉油微胶囊的表征

采用扫描电子显微镜(SEM)观察桉油微胶囊的表面结构和包埋情况。先在样品台上贴上双面胶,将桉油与 β -CD的物理混合物、 β -CD、桉油微胶囊分别分散在双面胶上,吹去多余粉末,真空喷金,置于扫描电镜下(加速电压为10 kV)观察样品结构。

1.2.6 桉油微胶囊的缓释试验

1) 桉油保留率的测定。准确称取1 g桉油和桉油微胶囊,敞口贮存在26℃实验室内,每隔3 d称量样品质量(g),并用紫外分光光度法^[17]测量微胶囊中桉油的含量。桉油和桉油微胶囊保留率的计算为:

$$Y = V / V_0 \times 100\%$$

式中: Y 为桉油保留率(%); V 为贮藏一定时间后测得样品中的精油体积(mL); V_0 为样品中初始精油的体积(mL)。

2) 桉油微胶囊释放的分析方法。俞露^[18]、于筛

成^[19]等在其研究中成功利用了 Avrami's 方程对精油微胶囊的释放过程进行分析。Avrami's 公式为:

$$Y = \exp[-(kt)^n]$$

式中: t 为贮存时间(d); n 为释放机理参数; k 为释放速率常数。Avrami's 公式可以简单地理解为: 当 $n=1$ 时对应一级动力学反应; 当 $n=0.54$ 时对应扩散限制动力学。对式(4)两边取 2 次对数得到 $\ln(-\ln Y) = n \ln t + n \ln k$, 以 $\ln t$ 为横坐标, $\ln(-\ln Y)$ 为纵坐标作图, 进行线性回归分析。

1.3 数据统计与分析

文中试验数据均为 3 次平行试验的平均值, 结果以平均值 \pm 标准偏差表示。采用 SPSS 22 软件进行统计分析, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。采用 Excel 及 Origin 9.0 软件进行数据整理和回归分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 包埋时间

包埋时间对包埋效果的影响见图 1a, 可以看出随着包埋时间的延长, 微胶囊的收率和包埋率随之增加。包埋时间超过 1.5 h 后, 整体看来, 收率和包埋率的变化走势趋于平缓。从微胶囊收率和节约能源成本方面考虑, 1.5 h 应为较佳的包埋时间。理论上讲, β -CD 包埋反应是一种平衡反应, 包埋时间不够, 反应进行得不完全, 当反应接近平衡时延长包埋时间也不会提高包埋效果。

2.1.2 包埋温度

包埋温度对包埋效果的影响见图 1b, 可知, 在不同包埋温度下, 包埋效果不同。在 20~40 °C 内, 微胶囊的收率和包埋率呈上升或平稳趋势, 在 40 °C 时收率和包埋率均达到最大, 但温度继续上升, 微胶囊的收率和包埋率出现了下降趋势。温度的升高降低了精油的粘度, 加快了分子的运动速度, 使精油向 β -CD 内部渗透扩散能力增强, 增加了 β -CD 分子通

透性, 这些因素都会提高包埋效果^[20]。随着温度持续升高, 会引起 β -CD 分子运动的加剧, 使桉油不能很好地聚集在其周围, 无法形成稳定的微胶囊^[14], 导致包埋能力减弱, 收率和包埋率降低。

2.1.3 β -CD 的质量浓度

β -CD 质量浓度对包埋效果的影响见图 1c, 可以看出, 在一定条件下, 随着 β -CD 质量浓度的增大, 微胶囊的包埋率明显升高, 收率也呈上升趋势, 当 β -CD 质量浓度为 8 g/mL 时, 包埋率和收率达到最大值, 继续增大质量浓度, 包埋率和收率又呈现出下降趋势。从理论上讲, β -CD 质量的不足会导致桉油无法被包埋完全, 当 β -CD 的质量浓度达到平衡时, 此时包埋率和收率最大, 但当 β -CD 质量过多时, 由于 β -CD 本身具有溶解度低的特点, 较高浓度反会导致大量 β -CD 析出, 从而导致桉油微胶囊的包埋效果不理想^[21]。

2.2 正交试验结果

2.2.1 桉油微胶囊正交试验

根据表 1 进行正交试验优化包埋工艺试验, 通过极差分析, 得到较适宜的包埋工艺, 结果见表 2。通过方差分析, 见表 3, 得到影响包埋效果的显著因素。其中 K_i 和 k_i 分别是改列中因素水平 i 的收率和包埋率的平均值; R 和 r 分别为该列收率和包埋率平均值最大减去最小的差值。

由表 2 可知, 试验范围内所考查的 3 个因素对桉油微胶囊收率和包埋率的影响主次顺序为: β -CD 质量浓度 > 包埋温度 > 包埋时间。以收率为指标, 微胶囊包埋效果最好的一组为 $A_2B_2C_2$; 以包埋率为指标, 最优组为 $A_2B_1C_3$ 。从节约原料的角度考虑, $A_2B_2C_2$ 为较适宜的组合。用该组条件进行进一步的验证试验, 即包埋温度 40 °C, 包埋时间 1.5 h, β -CD 的质量浓度为 8 g/mL, 所得微胶囊的包埋率可达 70.33%, 收率可达 86.27%。

由表 3 可知, 试验范围内所考查的 3 个因素中, 包埋温度对包埋效果的影响是显著的($P < 0.05$), 包埋时间的影响不显著, β -CD 质量浓度对包埋效果影响极显著($P < 0.01$)。

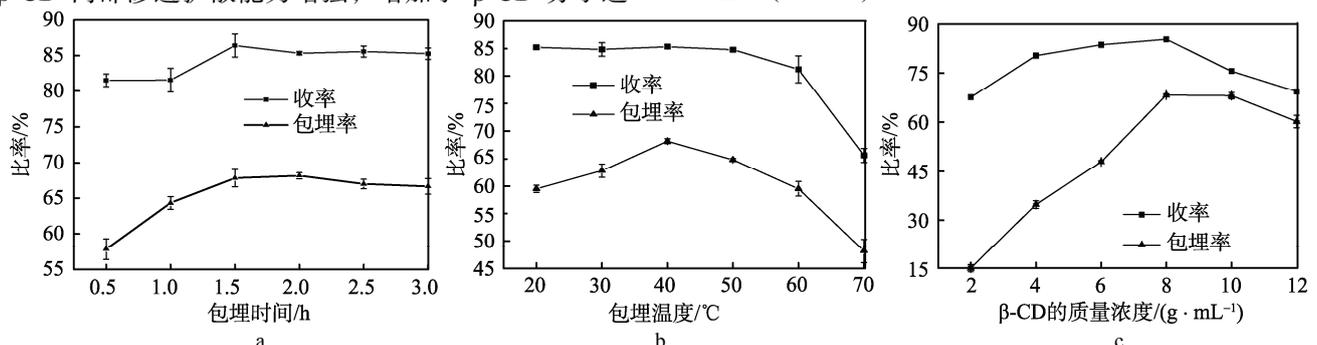


图 1 各因素对包埋效果的影响

Fig.1 Effect of various factors on microcapsules embedding

表2 正交试验设计与结果
Tab.2 Design and results of orthogonal tests

| 序号 | 因素水平 | | | 收率/% | 包埋率/% |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | A | B | C | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 78.65 | 48.33 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 84.95 | 62.83 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 70.26 | 64.00 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 86.88 | 69.03 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 78.58 | 68.00 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 83.21 | 52.83 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 68.93 | 67.17 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 83.55 | 51.17 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 82.72 | 66.17 |
| K_1 | 77.95 | 78.15 | 81.80 | | |
| K_2 | 82.89 | 82.36 | 84.85 | | |
| K_3 | 78.40 | 78.73 | 72.59 | | |
| 极差 R | 4.94 | 4.21 | 12.26 | | |
| k_1 | 58.39 | 61.51 | 50.78 | | |
| k_2 | 63.29 | 60.67 | 66.01 | | |
| k_3 | 61.50 | 61.00 | 66.39 | | |
| 极差 r | 4.90 | 0.84 | 15.61 | | |

2.2.2 桉油微胶囊产物验证

在扫描电子显微镜下观察 β -CD 与桉油物理混合

表3 正交试验结果方差分析
Tab.3 Variance analysis of orthogonal tests

| 因变数 | 变异来源 | 自由度 | 平方和 | 均方 | F 值 | P |
|-----------------|------------------|---------|-----|---------|---------|-------|
| 收率 | 包埋温度 | 44.730 | 2 | 22.365 | 18.563 | 0.049 |
| | 包埋时间 | 31.205 | 2 | 15.603 | 12.950 | 0.072 |
| | β -CD 质量浓度 | 244.475 | 2 | 122.238 | 101.455 | 0.009 |
| | 误差 | 2.410 | 2 | 1.205 | | |
| | 总和 | 322.82 | 8 | | | |
| $R_1^2 = 0.999$ | | | | | | |
| 包埋率 | 包埋温度 | 36.904 | 2 | 18.452 | 68.119 | 0.014 |
| | 包埋时间 | 1.082 | 2 | 0.541 | 1.998 | 0.334 |
| | β -CD 质量浓度 | 475.975 | 2 | 237.988 | 878.579 | 0.001 |
| | 误差 | 0.542 | 2 | 0.271 | | |
| | 总和 | 517.503 | 8 | | | |
| $R_2^2 = 0.994$ | | | | | | |

物、 β -CD 及桉油微胶囊的微观形态, 结果见图 2, 可以看出, β -CD 与桉油物理混合物表面被一层物质覆盖, 可能是桉油覆盖在了 β -CD 表面。 β -CD 是表面不光滑的无定形固体, 从图 2c 可以看出这种无定形固体发生了明显变化, 生成了一种表面几近光滑的晶形颗粒, 其结构与物理混合物和 β -CD 相比发生了显著变化, 表明桉油与 β -CD 产生了包埋反应, 形成了微胶囊。

2.3 桉油微胶囊缓释性能

桉油和桉油微胶囊中精油的保留率随时间的变化趋势见图 3, 桉油微胶囊的 Avrami's 回归分析见图 4。由图 3 可知, 随着储存时间的延长, 桉油和桉油微胶囊的保留率逐渐减小, 桉油的挥发速率大于桉油微胶囊。第 0~6 天微胶囊的释放速率较快, 这可能是因为释放初期主要以挥发微胶囊表面残留的桉油为主。储存 24 d 后, 桉油微胶囊保留率为 76.61%, 而桉油保留率只有 19.63%。由图 4 桉油微胶囊的 Avrami's 回归分析可知, R^2 为 0.9743, 说明 Avrami's 方程可以对桉油微胶囊的释放过程进行较好的拟合。释放的机理参数为 0.8848, 释放速率常数为 0.011 22, 桉油微胶囊在 26 °C 条件下的释放反应介于一级反应动力学与扩散限制动力学之间。由此可见, 微胶囊可以明显降低桉油的挥发速率。

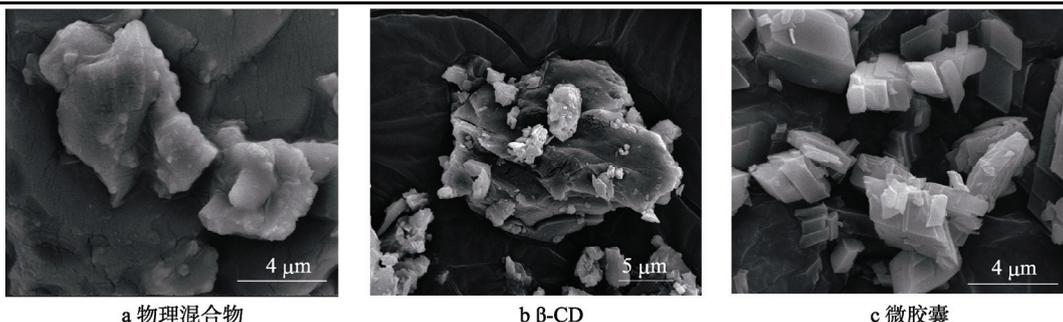


图2 物理混合物、 β -CD 和微胶囊的扫描电镜图
Fig.2 SEM of physical mixture, β -CD and microcapsules

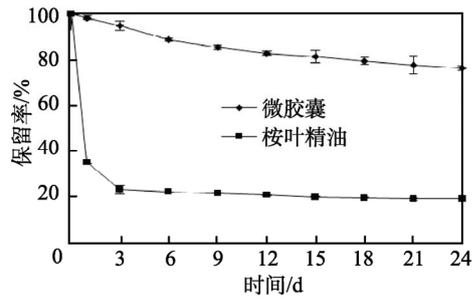


图 3 微胶囊化对桉油保留率的影响

Fig.3 Effect of microencapsulation on reserving rate of eucalyptus essential oil

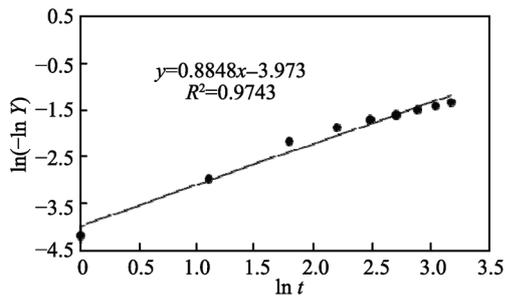


图 4 桉油微胶囊的 Avrami's 回归分析

Fig.4 Avrami's regression analysis of release on the microcapsules of eucalyptus essential oil

3 结语

研究通过单因素和正交试验得出桉油微胶囊化适宜的工艺条件:包埋温度为 40 °C,包埋时间为 1.5 h, β -CD 的质量浓度为 8 g/mL,在此条件下微胶囊包埋率为 70.33%,收率为 86.27%。极差与方差分析表明,3 个因素对包埋效果的影响顺序为 β -CD 的质量浓度 > 包埋温度 > 包埋时间,其中 β -CD 质量浓度对包埋效果影响极显著($P < 0.01$)。采用 SEM 观察 β -CD 与桉油物理混合物、 β -CD 及桉油微胶囊的微观形态,结果表明桉油微胶囊的结构与物理混合物和 β -CD 的无定形结构相比发生了显著变化,生成了一种表面几近光滑的晶形颗粒。表明桉油与 β -CD 产生了包埋反应,形成了微胶囊。缓释性能的研究结果表明,储存 24 d,桉油微胶囊的保留率 76.61%,远高于桉油的保留率 19.63%。利用 β -CD 包埋桉油制成微胶囊的壁材,不但提高了桉油的稳定性,还可调节微胶囊中桉油的释放速度,达到缓释的目的,应用于水果保鲜中,可发挥持续的功效。

参考文献:

[1] 陈默,余永莉. 桉叶油的化学成分及其生物活性研究进展[J]. 中国现代医药杂志, 2014(4): 97—100.
CHEN Mo, YU Yong-li. Study on the Chemical Composition and Its Biological Activity of Eucalyptus Oil[J]. Modern Medicine Journal of China, 2014(4):

97—100.

- [2] 田玉红,刘雄民,周永红,等. 圆角桉油的化学成分[J]. 食品科学, 2007(1): 36—38.
TIAN Yu-hong, LIU Xiong-min, ZHOU Yong-hong, et al. Chemical Compositions of Essential Oil of Eucalyptus umbellata Growing in Guangxi[J]. Food Science, 2007(1): 36—38.
- [3] BATISH D R, SINGH H P, KOHLI R K. Eucalyptus Essential Oil as a Natural Pesticide[J]. Forest Ecology and Management, 2008, 256(12): 2166—2174.
- [4] GOLDBECK J C, NASCIMENTO J E, JACOB R G, et al. Bioactivity of Essential Oils from Eucalyptus Globulus and Eucalyptus Urograndis against Planktonic Cells and Biofilms of Streptococcus Mutans Malik A[J]. Industrial Crops and Products, 2014(6): 304—309.
- [5] 周汉军,王挥,龚吉军,等. 蓝桉油对砂糖橘的保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2016, 37(10): 56—60.
ZHOU Han-jun, WANG Hui, GONG Ji-jun, et al. Effects of Oil of Eucalyptus Globulus Labill Leaf on Fresh-keeping of Shatangju Mandarin[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(10): 56—60.
- [6] 林书乐,王坤,程江,等. 微胶囊技术新进展[J]. 高分子材料科学与工程, 2012(5): 179—182.
LIN Shu-le, WANG Kun, CHENG Jiang, et al. New Research Progress on Microencapsulation Technology[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2012(5): 179—182.
- [7] 郝晶晶,李海亮,龚慕辛. 挥发油环糊精包合技术的研究进展及存在问题分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2013(2): 352—356.
HAO Jing-jing, LI Hai-liang, GONG Mu-xin. Review on Volatile Oil-cyclodextrin Inclusion Technology[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2013(2): 352—356.
- [8] LIZUNDIA E, GÓMEZ-GALVANA F, PÉREZ-ÁLVAREZ L, et al. Poly(L-lactide)/Branched-cyclodextrin Blends: Thermal, Morphological and Mechanical Properties[J]. Carbohydrate Polymers, 2016(4): 25—32.
- [9] NEDOVIC V, KALUSEVIC A, MANOJLOVIC V. An Overview of Encapsulation Technologies for Food Applications[J]. Procedia Food Science, 2011(1): 1806—1815.
- [10] WANG Jing, CAO Yan-ping, SUN Bao-guo, et al. Physicochemical and Release Characterization of Garlic Oil- β -cyclodextrin Inclusion Complexes[J]. Food Chemistry, 2011, 127(4): 1680—1685.
- [11] 刘光发,王建清,赵亚珠. 牛至精油微胶囊对草莓保鲜效果的研究[C]// 颜色科学与技术——2012 第二届中国印刷与包装学术会议, 2012: 194—195.
LIU Guang-fa, WANG Jian-qing, ZHAO Ya-zhu. Use of Microcapsules of Oregano Essential Oil to Extend the Shelf Life of Strawberries[C]// Color Science and Technology: Abstracts of CACPP 2012, 2012: 194—195.
- [12] 孙旭,陈连连,刘勇斌,等. 丁香精油微胶囊工艺优化及其对水果采后保鲜效果的研究[J]. 上海应用技术

- 术学院学报, 2014(2): 118—122.
SUN Xu, CHEN Lian-lian, LIU Yong-bin, et al. Study on the Optimization of Clove Oil Microcapsule and Its Effect on the Preservation of Post-harvested Fruits[J]. Journal of Shanghai Institute of Technology, 2014(2): 118—122.
- [13] 薛琼, 刘跃军, 向贤伟, 等. 肉桂精油微囊化及其在果蔬保鲜中的应用[J]. 包装工程, 2016, 37(5): 50—54.
XUE Qiong, LIU Yue-jun, XIANG Xian-wei, et al. Microcapsulation of Cinnamon Essential Oil and Its Application in Preservation of Fruits and Vegetables[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(5): 50—54.
- [14] 卢燕霞, 田永强, 刘惠琴, 等. 牛至精油 β 环糊精微胶囊的制备及其抑菌效果研究[J]. 包装工程, 2016, 37(5): 84—88.
LU Yan-xia, TIAN Yong-qiang, LIU Hui-qin, et al. Preparation of Oregano Essential Oil/Beta-cyclodextrin Microcapsule and Its Antimicrobial Activity[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(5): 84—88.
- [15] 田永强, 卢燕霞, 张维, 等. 牛至精油微胶囊包埋工艺及抑菌效果的测定[J]. 包装工程, 2016, 37(17): 102—107.
TIAN Yong-qiang, LU Yan-xia, ZHANG Wei, et al. Microencapsulation of Oregano Oil and Its Antibacterial Effects[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(17): 102—107.
- [16] CHAO Jian-bin, ZHANG Bing-tai. Preparation and Study on the Solid Inclusion Complex of Cloxacillin Sodium with β -cyclodextrin[J]. Spectrochimica Acta, 2007, 68(1): 108—112.
- [17] 岳淑丽, 任小玲, 向红, 等. 桉油微胶囊包埋油含量测定方法的比较[J]. 包装工程, 2016, 37(15): 67—71.
YUE Shu-li, REN Xiao-ling, XIANG Hong, et al. Comparative Study on Determination Methods of Oil Encapsulated in Eucalyptus Essential Oil Microcapsules[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(15): 67—71.
- [18] 俞露, 谭书明, 王贝贝, 等. 复合精油微胶囊化及释放动力学研究[J]. 食品工业科技, 2013(6): 275—279.
YU Lu, TAN Shu-ming, WANG Bei-bei, et al. Microencapsulation and Release Kinetic Equation of Compound Oil[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013(6): 275—279.
- [19] 于筛成, 康改娟, 李小鹏, 等. 薰衣草精油微胶囊释放性能的测定[J]. 香料香精化妆品, 2008(4): 17—20.
YU Shai-cheng, KANG Gai-juan, LI Xiao-peng, et al. Study on the Release Performance of Encapsulated Lavender Oil[J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2008(4): 17—20.
- [20] 张添菊, 徐晶, 刘欢, 等. β -环糊精包埋柠檬醛微胶囊工艺优化及其缓释性能研究[J]. 食品科学, 2014, 35(14): 82—86.
ZHANG Tian-ju, XU Jing, LIU Huan, et al. Process Optimization of Microencapsulation and Controlled-Release Properties on the Citra Oil by β -cyclodextrin[J]. Food Science, 2014, 35(14): 82—86.
- [21] 徐宁, 谭兴和, 王锋, 等. 椴柑皮精油微胶囊的制备方法研究[J]. 食品工业科技, 2014(14): 321—325.
XU Ning, TAN Xing-he, WANG Feng, et al. Study on the Preparation Method of Citrus Peels Essential Oil Microcapsules[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014(14): 321—325.