

薰衣草精油的制备及其微胶囊化工艺研究

林玉环¹, 高昆¹, 吕鑫华², 况鹏群^{1*}, 井文华¹, 王敏敏¹, 赵玉萍¹

(1. 临沂大学 山东省鲁南中药材工程技术研究中心, 山东临沂 276000; 2. 山东省费县食品药品监督管理局, 山东费县 273400)

摘要 [目的] 优选薰衣草精油的制备及其微胶囊化工艺。[方法] 采用水蒸气蒸馏法制备薰衣草精油, 通过单因素试验和正交试验, 以精油的提取率为指标, 考察原料粒度、料液比、浸泡时间和提取时间对薰衣草精油制备工艺的影响; 采用气相色谱-质谱法(GC-MS)分析薰衣草精油的主体呈香成分及含量; 采用大豆分离蛋白、 β -环糊精和麦芽糊精包埋薰衣草精油。[结果] 水蒸气蒸馏法制备薰衣草精油的最优条件为原料粒度 60 目、料液比 1:15 (g:mL)、浸泡时间 1.5 h、提取时间 4.0 h, 精油的平均提取率为 2.34%; 经 GC-MS 分析, 薰衣草精油的主体呈香成分为萜类化合物及其衍生物, 主要有芳樟醇(34.81%)、乙酸芳樟酯(22.44%)等, 占精油中挥发性成分的 93.48%; 最优条件下, 大豆分离蛋白、 β -环糊精和麦芽糊精的薰衣草精油包埋率分别为 64.40%、43.95% 和 60.84%, 大豆分离蛋白的包埋效果最佳。[结论] 水蒸气蒸馏法可用于薰衣草精油的制备, 大豆分离蛋白可作为薰衣草精油的天然包埋材料。

关键词 薰衣草精油; 水蒸气蒸馏法; 正交试验; 呈香成分; 微胶囊化

中图分类号 TQ654⁺.2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)13-0076-04

Study on the Preparation Process of Lavender Essential Oil and Its Microencapsulation Process

LIN Yu-huan¹, GAO Kun¹, LÜ Xin-hua², KUANG Peng-qun^{1*} et al (1. Shandong Provincial Engineering Technology Research Center for Lunan Chinese Herbal Medicine, Linyi University, Linyi, Shandong 276000; 2. Feixian Food and Drug Administration, Feixian, Shandong 273400)

Abstract [Objective] To optimize the preparation process for lavender essential oil and its microencapsulation process. [Method] Lavender essential oil was prepared with steam distillation method, extraction yield of essential oil was used as evaluation index to investigate the influences of the granularity of raw material, the ratio of material to liquid, the soaking time and the extraction time on the preparation process of lavender essential oil through single factor and orthogonal test. The composition and content of principal aroma components of the lavender essential oil were analyzed with GC-MS. Lavender essential oil was microencapsulated with soybean protein isolate, β -cyclodextrin and maltodextrin respectively. [Result] The optimum processing conditions for lavender essential oil prepared with steam distillation method were as follows: the granularity of raw material was 60 mesh, the ratio of material to liquid was 1:15 (g:mL), the soaking time was 1.5 h and the extraction time was 4.0 h, the average extraction yield of lavender essential oil was 2.34%. After analysis with GC-MS, the principal aroma components of the lavender essential oil were terpenoids and their derivatives, including linalool (34.81%) and linalyl acetate (22.44%), the total content of these compounds in volatile constituents of lavender essential oil was 93.48%. Under the optimum conditions, the embedding rates of lavender essential oil microencapsulated with soybean protein isolate, β -cyclodextrin and maltodextrin were 64.40%, 43.95% and 60.84% respectively, the embedding effect of soybean protein isolate was the best. [Conclusion] Steam distillation method can be used for the preparation of lavender essential oil, and soybean protein isolate can be used as natural embedding material for lavender essential oil.

Key words Lavender essential oil; Steam distillation method; Orthogonal test; Aroma components; Microencapsulation

薰衣草为唇形科薰衣草属半耐热性植物, 喜凉爽, 分布在大西洋群岛及地中海地区至索马里、巴基斯坦及印度^[1]。薰衣草株型优美, 花色淡雅, 香气清香肃爽, 故有“百草之王”的美誉^[2]。薰衣草精油含多种芳香族化合物, 具有较强的挥发性, 是一种重要的天然香料^[3], 同时还具有杀菌、镇定、松弛平滑肌^[4]、抗凝血、抗狂躁、抗氧化、驱虫等生物活性^[5]。因具有独特的香韵和多种药理活性, 薰衣草精油已被广泛应用于化妆品、医药、洗涤和食品等工业^[6]。作为香料和调味剂, 薰衣草精油有着悠久的历史, 其多种的生物活性也日益引起人们的高度关注。薰衣草精油存在于花穗中, 提取方法有溶剂萃取法、水蒸气蒸馏法和超临界流体萃取法等, 其中, 水蒸气蒸馏法操作简单、设备要求低、投资小^[7], 在国内被广泛采用^[8-9]。

薰衣草精油具有较强的挥发性, 对温度、水分、氧气等敏感, 有效成分极易氧化和分解而导致香气变差, 并逐渐丧失药理活性^[10]。微胶囊化是一种微型包埋的保护技术。采用

成膜材料或具有内腔的包合材料通过物理方法将薰衣草精油微胶囊化, 可显著提高薰衣草精油的稳定性, 降低其氧化、分解和挥发速率, 有效延长其留香时间; 还可将液态精油转变为固态粉末, 水溶性更高, 使用更加方便, 可拓宽薰衣草精油的应用领域^[11-13]。

笔者采用水蒸气蒸馏法制备薰衣草精油, 通过单因素试验和正交试验优化制备工艺, 并采用气相色谱-质谱(GC-MS)分析薰衣草精油成分和含量; 以大豆分离蛋白、 β -环糊精和麦芽糊精为天然包埋材料, 采用微胶囊化技术将薰衣草精油制备成微胶囊, 以提高稳定性并使其固态化, 可延长其留香时间, 拓宽其应用领域。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 原料与主要试剂。薰衣草, 购自新疆伊利; 无水硫酸钠、乙醇、 β -环糊精, 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 硫酸镁, 分析纯, 天津博迪化工股份有限公司; 甲醇, 色谱纯, 北京迪马科技有限公司; 大豆分离蛋白, 食品级, 临沂山松生物制品有限公司; 麦芽糊精, 食品级, 山东西王糖业有限公司; 其他试剂均为分析纯。

1.1.2 仪器设备。QW-10 粉碎机, 永康市敏业工贸有限公司;

基金项目 大学生创新创业训练计划项目(201510452026); 山东省重点研发计划项目(2015GNC110036)。

作者简介 林玉环(1993—), 女, 山东临沂人, 本科生, 专业: 制药工程。
* 通讯作者, 讲师, 博士, 从事天然活性成分的分离精制与微胶囊化技术研究。

收稿日期 2017-03-15

司;KDM 控温加热套,山东鄄城华鲁电热器有限公司;1 L 挥发油提取器,江苏省泰兴市三爱思实验仪器厂;AD-200 匀质机,上海昂尼仪器仪表有限公司;BCD-218L 冰箱,中科美菱低温科技有限责任公司;SHZ-D 真空泵,江苏省义乌市英峪予华仪器厂;FD8-3aB 冷冻干燥机,美国金西盟国际集团公司;ME-T 电子天平,Mettler Toledo 公司。

1.2 方法

1.2.1 薰衣草精油的制备。流程:花蕾→粉碎→过筛→称量→浸泡→提取→收集精油→称量→记录。称取一定量的薰衣草粉末,置于 1 L 的圆底烧瓶中,加入去离子水,浸泡;采用挥发油提取器,水蒸气蒸馏法提取薰衣草精油,收集精油,无水硫酸钠干燥处理,得薰衣草精油,采用以下公式计算薰衣草精油提取率。

$$\text{精油提取率} = \frac{\text{精油质量(g)}}{\text{原料质量(g)}} \times 100\%$$

1.2.2 制备工艺的优化。单因素试验分别考察原料粒度(目)、料液比(g:mL)、硫酸镁质量浓度(g/L)、浸泡时间(h)和提取时间(h)对薰衣草精油提取率的影响,选定各个因素的水平范围,再采用正交试验优化制备工艺。

1.2.2.1 单因素试验。原料粒度的考察:料液比为 1:15,硫酸镁浓度为 10 g/L,浸泡时间为 2.0 h,提取时间为 3.0 h,研究不同原料粒度对精油提取率的影响。

料液比的考察:原料粒度为 80 目,硫酸镁浓度为 10 g/L,浸泡时间为 2.0 h,提取时间为 3.0 h,研究不同料液比对精油提取率的影响。

硫酸镁质量浓度的考察:原料粒度为 80 目,料液比为 1:15,浸泡时间为 2.0 h,提取时间为 3.0 h,研究不同硫酸镁浓度对精油提取率的影响。

浸泡时间的考察:原料粒度为 80 目,料液比为 1:15,不添加硫酸镁,提取时间为 3.0 h,研究不同浸泡时间对精油提取率的影响。

提取时间的考察:原料粒度为 80 目,料液比为 1:15,不添加硫酸镁,浸泡时间为 2.0 h,研究不同提取时间对精油提取率的影响。

1.2.2.2 正交试验。综合评价单因素试验结果,选定原料粒度(A)、料液比(B)、浸泡时间(C)和提取时间(D)4 个因素,设定 4 个因素水平,进行 4 因素 4 水平的正交试验(表 1)。

表 1 水蒸气蒸馏法制备薰衣草精油的因素与水平

Table 1 Factors and levels for lavender essential oil prepared with steam distillation method

水平 Levels	因素 Factors			
	原料粒度(A) Granularity of raw material 目	料液比(B) Ratio of material to liquid	浸泡时间(C) Soaking time//h	提取时间(D) Extraction time//h
1	40	1:10	1.0	2.5
2	60	1:15	1.5	3.0
3	80	1:20	2.0	3.5
4	100	1:25	2.5	4.0

1.2.3 薰衣草精油成分的测定。色谱条件:HP-5MS 色谱柱(30 m×0.25 mm,0.25 μm);初始温度 80 ℃,停留 1 min,以 5 ℃/min 的速率升温至 200 ℃;载气为氦气,流速 1.0 mL/min,进样口温度 250 ℃;分流比 50:1,进样量 0.1 μL。质谱条件:EI 离子源,温度 230 ℃,电子能量 70 eV;扫描范围 25~500 m/z。

1.2.4 薰衣草精油微胶囊的制备。

1.2.4.1 大豆分离蛋白包埋工艺。称取 1.25 g 薰衣草精油,少量乙醇溶解,50 ℃保温,慢速滴入 100 mL 50 ℃的 10% 大豆分离蛋白溶液中,5 000 r/min 恒温匀质 15 min,取出,冷却至室温,-20 ℃静置 12 h,冷冻干燥,得微胶囊固体粉末,5 ℃保存待用。

1.2.4.2 β-环糊精包埋工艺。称取 1.32 g 薰衣草精油,少量乙醇溶解,50 ℃保温,慢速滴入 200 mL 50 ℃的 β-环糊精饱和溶液中,5 000 r/min 恒温匀质 15 min,取出,冷却至室温,5 ℃静置 12 h,过滤沉淀物,收集滤饼,-20 ℃静置 12 h,冷冻干燥,得微胶囊固体粉末,5 ℃保存待用。

1.2.4.3 麦芽糊精包埋工艺。称取 2.50 g 薰衣草精油,少量乙醇溶解,50 ℃保温,慢速滴入 100 mL 50 ℃的 20% 麦芽糊精溶液中,5 000 r/min 恒温匀质 15 min,取出,冷却至室温,-20 ℃静置 12 h,冷冻干燥,得微胶囊固体粉末,5 ℃保存待用。

1.2.4.4 薰衣草精油包埋率的测定。称取 10.00 g 的薰衣草精油微胶囊,置于 250 mL 的圆底烧瓶中,加入 150 mL 去离子水,连接挥发油提取器,水蒸气蒸馏法提取,至精油油量不再增加。冷却至室温,读取精油回收量,采用以下公式计算薰衣草精油的包埋率。

$$\text{包埋率} = \frac{\text{精油回收量(mL)}}{\text{精油加入量(mL)}} \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 薰衣草精油的制备工艺

2.1.1 单因素试验。

2.1.1.1 原料粒度对精油提取率的影响。从图 1 可知,随着原料粒度的增大,薰衣草精油提取率呈先快速增加,再降低的趋势,当原料粒度为 80 目时,精油提取率最高。表明原料粒度是影响精油提取率的一个重要因素,选择原料粒度为 40、60、80、100 目进行正交试验。

2.1.1.2 料液比对精油提取率的影响。从图 2 可知,当料液比为 1:15 时,薰衣草精油提取率最高,随着料液比的减小,提取率呈快速降低的趋势;料液比过小时,使溶解在水中的精油量也增多,降低了精油的提取率。表明料液比是影响精油提取率的一个重要因素;选择料液比为 1:10、1:15、1:20、1:25 进行正交试验。

2.1.1.3 硫酸镁质量浓度对精油提取率的影响。从图 3 可知,随着硫酸镁浓度的升高,薰衣草精油提取率呈大幅下降的趋势。因此,提取精油的过程中不应添加硫酸镁,正交试验不考虑这一因素对精油提取率的影响。

2.1.1.4 浸泡时间对精油提取率的影响。从图 4 可知,随

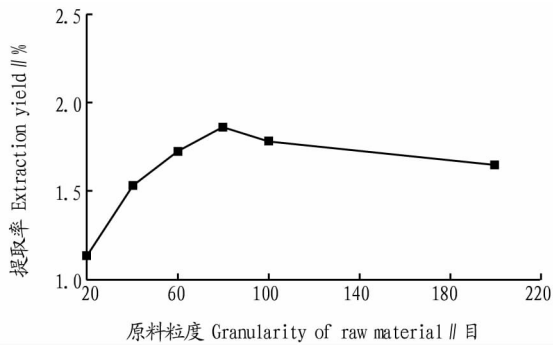


图1 原料粒度对薰衣草精油提取率的影响

Fig. 1 Effect of granularity of raw material on the extraction yield of lavender essential oil

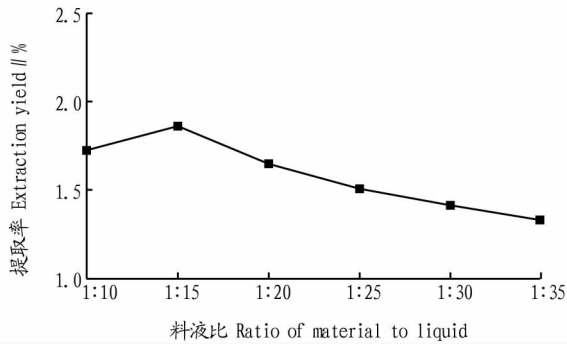


图2 料液比对薰衣草精油提取率的影响

Fig. 2 Effect of ratio of material to liquid on the extraction yield of lavender essential oil

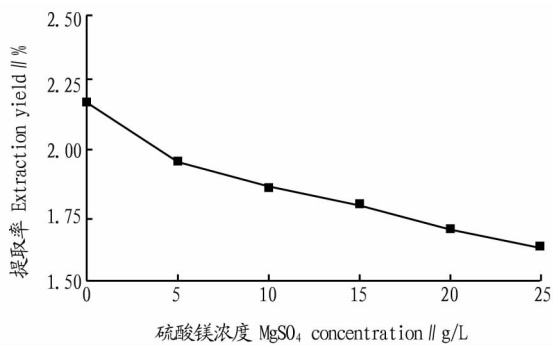


图3 硫酸镁浓度对薰衣草精油提取率的影响

Fig. 3 Effect of $MgSO_4$ concentration on the extraction yield of lavender essential oil

着浸泡时间的增加,薰衣草精油提取率呈先上升后下降的趋势,当浸泡时间为2.0 h时,精油提取率最高。表明浸泡时间是影响精油提取率的一个重要因素,选择浸泡时间为1.0、1.5、2.0、2.5 h进行正交试验。

2.1.1.5 提取时间对精油提取率的影响。从图5可知,随着提取时间的延长,薰衣草精油提取率呈先增加后减少的趋势,当提取时间为3.0 h时,精油提取率最高。表明提取时间是影响精油提取率的一个重要因素,选择提取时间为2.5、3.0、3.5、4.0 h进行正交试验。

2.1.2 正交试验结果。综合预试验结果,选择原料粒度(A)、料液比(B)、浸泡时间(C)和提取时间(D)为考察因素,以精油提取率为考察指标,通过 $L_{16}(4^4)$ 正交表设计正交试

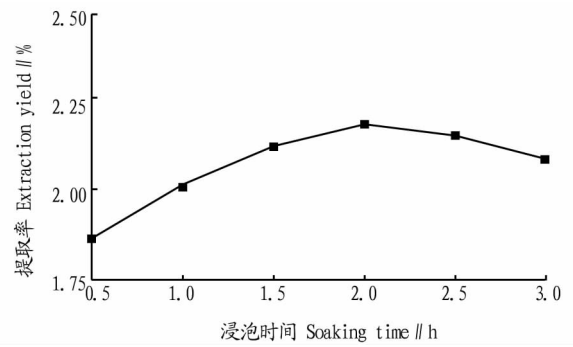


图4 浸泡时间对薰衣草精油提取率的影响

Fig. 4 Effect of soaking time on the extraction yield of lavender essential oil

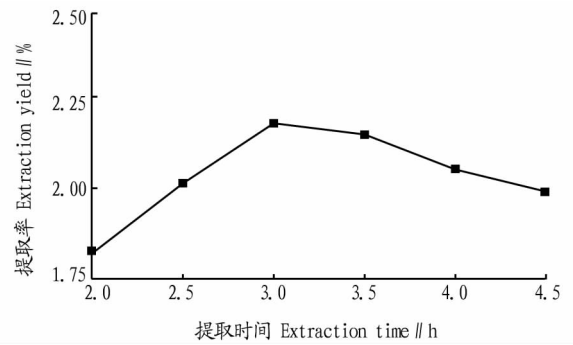


图5 提取时间对薰衣草精油提取率的影响

Fig. 5 Effect of extraction time on the extraction yield of lavender essential oil

验优化薰衣草精油的制备工艺,试验结果见表2。

表2 水蒸气蒸馏法制备薰衣草精油的正交试验结果

Table 2 Orthogonal test results for lavender essential oil prepared with steam distillation method

试验号 Test No.	因素 Factors				提取率 Extraction yield // %
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	1.75
2	1	2	2	2	2.08
3	1	3	3	3	2.15
4	1	4	4	4	2.10
5	2	1	2	3	2.31
6	2	2	1	4	2.19
7	2	3	4	1	1.86
8	2	4	3	2	1.82
9	3	1	3	4	2.13
10	3	2	4	3	2.20
11	3	3	1	2	2.02
12	3	4	2	1	1.78
13	4	1	4	2	1.91
14	4	2	3	1	1.75
15	4	3	2	4	2.17
16	4	4	1	3	1.82
k_1	2.02	2.02	1.94	1.78	
k_2	2.04	2.06	2.08	1.96	
k_3	2.03	2.05	1.96	2.12	
k_4	1.91	1.88	2.02	2.15	
R	0.13	0.18	0.14	0.37	

从表2可知, $R_D > R_B > R_C > R_A$, 表明影响薰衣草精油提取率的因素依次为 $D > B > C > A$, 即提取时间对精油提取率

影响最大,其次为料液比、浸泡时间,而原料粒度影响最小;因素 A, $k_2 > k_3 > k_1 > k_4$; 因素 B, $k_2 > k_3 > k_1 > k_4$; 因素 C, $k_2 > k_4 > k_3 > k_1$; 因素 D, $k_4 > k_3 > k_2 > k_1$; 表明最优制备工艺条件为 A₂B₂C₂D₄, 即原料粒度为 60 目、料液比为 1:15、浸泡时间为 1.5 h、提取时间为 4.0 h。

2.1.3 验证性试验结果。按照“2.1.2”中的最优制备工艺,制备得 6 批薰衣草精油,提取率分别为 2.34%、2.38%、2.36%、2.33%、2.29%、2.35%, RSD 值仅为 1.31%, 表明该制备工艺稳定性较高,薰衣草精油的平均提取率为 2.34%。所得精油为具有薰衣草特异香气的浅黄色油状液体,经储存稳定性考察,发现随着储存时间的延长,精油颜色逐渐变深,因此,薰衣草精油应尽快使用或制备成微胶囊,以提高其储存稳定性。李双明等^[14]采用超声强化水蒸气蒸馏法制备薰衣草精油,提取率为 0.83%。刘婷等^[3]采用水蒸气蒸馏法制备薰衣草精油,提取率为 0.70%~0.90%, 而采用超临界 CO₂ 萃取法制备薰衣草精油的提取率为 3.10%~4.20%。童红等^[15]采用微波辅助水蒸气蒸馏法制备薰衣草精油,提取率为 2.23%。杨海燕等^[8]分别采用超声波辅助溶剂萃取、超临界 CO₂ 萃取法和微波辅助溶剂萃取法制备薰衣草精油,提取率分别为 1.09%、4.50% 和 2.60%。童红等^[16]分别采用水蒸气蒸馏法和微波辅助溶剂萃取法制备薰衣草精油,提取率分别为 3.56% 和 2.40%。因此,溶剂萃取法、水蒸气蒸馏法和超临界 CO₂ 萃取法均可提取薰衣草精油,但由于超临界 CO₂ 萃取法对设备要求高,溶剂萃取法制备的精油中溶剂残留较多,水蒸气蒸馏法较多应用于薰衣草精油的制备,且较适合工业化生产。

2.2 薰衣草精油的成分 采用 GC-MS 对制备的薰衣草精油成分进行分析,通过峰面积归一化法计算得出各成分的对百分含量,结果见表 3。

通过 GC-MS 检测,水蒸气蒸馏法制备的薰衣草精油中含有 25 种化合物,采用数据库比对,鉴定出 23 种化合物,占总挥发性化合物的 95.94%。从表 3 可知,薰衣草精油主要含有芳樟醇(34.81%)、乙酸芳樟酯(22.44%)、香茅醇乙酸酯(16.03%)、 α -萜品醇(4.67%)、(Z)- β -法呢烯(4.15%)、香叶醇(2.23%)等化合物,其中,醇类化合物 6 种,酯类化合物 5 种,烯类化合物 9 种,酮类化合物 2 种,其他化合物 1 种;主要为萜类化合物及其衍生物,占精油中挥发性成分的 93.48%。

2.3 薰衣草精油微胶囊的制备工艺 薰衣草精油微胶囊制备过程中,5 000 r/min 匀质 15 min,恒温静置 10 min 后,观察发现以 β -环糊精为包埋材料制备的混合溶液表面漂浮的精油最多,以大豆分离蛋白为包埋材料制备的混合溶液表面漂浮的精油最少,初步表明大豆分离蛋白包埋薰衣草精油的效果最佳。进一步测定 3 种包埋材料的精油包埋率,最优条件下,大豆分离蛋白、 β -环糊精和麦芽糊精的精油包埋率分别为 64.40%、43.95% 和 60.84%, 进一步表明大豆分离蛋白包埋薰衣草精油的效果最佳,其可作为薰衣草精油的天然包埋材料。

表 3 水蒸气蒸馏法制备的薰衣草精油的化学成分及其含量

Table 3 Chemical composition and its content of lavender essential oil prepared with steam distillation method

编号 No.	化合物名称 Compounds	分子式 Molecular formula	保留时间 Retention time//min	含量 Content %
1	β -月桂烯 β -myrcene	C ₁₀ H ₁₆	12.092	0.53
2	D-柠檬烯 D-Limonene	C ₁₀ H ₁₆	13.821	0.14
3	1,8-桉树脑 1,8-cineole	C ₁₀ H ₁₈ O	13.918	0.12
4	反式- β -罗勒烯 trans- β -Ocimenene	C ₁₀ H ₁₆	14.415	0.24
5	顺式-罗勒烯 cis-ocimene	C ₁₀ H ₁₆	14.912	0.43
6	芳樟醇 linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	17.472	34.81
7	芳樟醇氧化物 linalool oxide	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	17.651	1.36
8	n-辛醇醋酸酯 n-octenyl acetate	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	18.131	0.80
9	樟脑 camphor	C ₁₀ H ₁₆ O	19.439	0.16
10	香叶醇 geraniol	C ₁₀ H ₁₈ O	20.697	2.23
11	萜品烯-4-醇 terpinen-4-ol	C ₁₀ H ₁₈ O	21.081	0.90
12	蒎品酮 cryptone	C ₉ H ₁₄ O	21.508	0.44
13	α -萜品醇 alpha-terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	21.740	4.67
14	橙花醇 nerol	C ₁₀ H ₁₈ O	23.598	0.20
15	乙酸芳樟酯 linalyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	24.933	22.44
16	香茅醇乙酸酯 geraniol acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	26.548	16.03
17	乙酸异龙脑酯 pichtosin	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	29.762	0.94
18	乙酸香叶酯 geranyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	30.599	1.80
19	(Z)- β -法呢烯 (Z)-beta-farnesene	C ₁₅ H ₂₄	31.955	4.15
20	α -蛇麻烯 alpha-Humulene	C ₁₅ H ₂₄	32.701	0.15
21	大根香叶烯 germacrene	C ₁₅ H ₂₄	33.624	1.07
22	α -檀香烯 alpha-santalene	C ₁₅ H ₂₄	34.510	0.43
23	石竹烯氧化物 caryophyllene oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	38.502	1.90

3 结论

该研究采用水蒸气蒸馏法制备薰衣草精油,单因素和正交试验优化制备工艺。最优制备条件为原料粒度 60 目、料液比 1:15(g:mL)、浸泡时间 1.5 h、提取时间 4.0 h, 平均提取率为 2.34%。GC-MS 从薰衣草精油中鉴定出 23 种化合物,其中,醇类化合物 6 种,酯类化合物 5 种,烯类化合物 9 种,酮类化合物 2 种,其他化合物 1 种;薰衣草精油的主体呈香成分为萜类化合物及其衍生物,主要有芳樟醇(34.81%)、乙酸芳樟酯(22.44%)等化合物,占精油中挥发性成分的 93.48%。采用大豆分离蛋白、 β -环糊精和麦芽糊精包埋薰衣草精油,最优条件下,大豆分离蛋白、 β -环糊精和麦芽糊精的精油包埋率分别为 64.40%、43.95% 和 60.84%, 表明大豆分离蛋白包埋薰衣草精油的效果最佳,其可作为薰衣草精油的天然包埋材料。

水蒸气蒸馏法制备薰衣草精油简便、易行,适合工业化生产,制备的精油颜色为微黄色,澄清,透亮,具有薰衣草特异的花香气味,是适合用于中药制剂、食品、卷烟、香氛和日用化妆品中的天然香精。以大豆分离蛋白为包埋材料,采用微胶囊化技术可有效制备薰衣草精油微胶囊,该固体粉末具有淡淡的薰衣草精油香气,精油的包埋率可达 64.40%。通过该微胶囊制备工艺,可降低薰衣草精油的氧化、分解和挥

2 286.8 kg/hm², N₂P₂K₁ 水平籽粒产量为 2 933.5 kg/hm²。

P: 在 N 和 K 不变的情况下, 随着 P 的增加, 籽粒产量呈增加趋势, N₁P₁K₂ 水平籽粒产量为 2 186.8 kg/hm², N₁P₂K₂ 水平籽粒产量为 2 640.1 kg/hm²。

K: 在 N、P 不变的情况下, 随着 K 的增加, 籽粒产量呈增加趋势, N₁P₂K₁ 水平籽粒产量为 2 286.8 kg/hm², N₁P₂K₂ 水平籽粒产量 2 640.1 kg/hm²。

2.3 干花产量 由表 1 可知, N: 在 P 和 K 不变的情况下, 随着 N 的增加, 干花产量呈增加趋势, N₁P₂K₁ 水平干花产量为 178.7 kg/hm², N₂P₂K₁ 水平干花产量为 483.1 kg/hm²。

P: 在 N、K 水平不变的情况下, 随着 P 的增加, 干花产量呈增加趋势, N₁P₁K₂ 水平干花产量为 272.3 kg/hm², N₁P₂K₂ 水平干花产量为 366.6 kg/hm²。

K: 在 N、P 不变的情况下随着 K 的增加, 干花产量呈增加趋势, N₁P₂K₁ 水平干花产量为 178.7 kg/hm², N₁P₂K₂ 水平干花产量 366.6 kg/hm²。

2.4 经济效益分析 尿素按照 1.9 元/kg, 过磷酸钙按照 3.0 元/kg, 硫酸钾按照 3.0 元/kg 计算, N₃P₂K₂ 的施肥效果最好, 经济效益最高, 为 63 453.8 元/hm²; 其次为 N₂P₂K₁; 经济效益最差的为 N₁P₂K₁, 为 27 043.2 元/hm² (表 2)。

表 2 不同施肥水平红花经济效益

Table 2 Economic benefits of red flower under different fertilizer levels

序号 Code	施肥水平 Fertilizer level	投入 Input 元/hm ²	籽粒产量 Grain yield kg/hm ²	籽粒效益 Grain benefits 元/hm ²	干花产量 Dried flower yield//kg/hm ²	干花效益 Dried flower benefit//元/hm ²	合计效益 Total benefit 元/hm ²	纯效益 Pure benefit 元/hm ²
1	N ₂ P ₂ K ₀	1 189.4	1 933.4	8 700.4	417.0	41 702.1	50 402.5	49 213.1
2	N ₁ P ₂ K ₂	1 261.5	2 640.1	11 880.6	366.6	36 655.2	48 535.8	47 274.2
3	N ₂ P ₁ K ₂	1 121.4	1 413.4	6 360.3	264.3	26 434.7	32 795.0	31 673.6
4	N ₀ P ₀ K ₀	0	3 066.8	13 800.7	288.9	28 894.8	42 695.5	42 695.5
5	N ₂ P ₁ K ₂	1 857.4	2 586.8	11 640.6	369.4	36 941.8	48 582.4	46 725.0
6	N ₂ P ₀ K ₂	753.4	2 660.1	11 967.3	314.0	31 401.6	43 368.8	42 615.5
7	N ₃ P ₂ K ₂	1 716.1	2 926.8	13 167.3	520.0	52 002.6	65 169.9	63 453.8
8	N ₂ P ₁ K ₁	971.4	1 486.7	6 687.0	350.4	35 041.8	41 728.8	40 757.4
9	N ₁ P ₁ K ₂	893.5	2 186.8	9 840.5	272.3	27 228.0	37 068.5	36 175.0
10	N ₂ P ₂ K ₁	1 339.4	2 933.5	13 200.7	483.1	48 309.1	61 509.7	60 170.3
11	N ₁ P ₂ K ₁	1 111.5	2 286.8	10 287.2	178.7	17 867.6	28 154.7	27 043.2
12	N ₀ P ₂ K ₂	1 036.1	3 113.5	14 007.4	335.8	33 581.7	47 589.0	46 553.0
13	N ₂ P ₂ K ₃	1 642.7	1 860.1	8 367.1	520.0	52 002.6	60 369.7	58 726.9
14	N ₂ P ₂ K ₂	1 489.4	3 013.5	13 560.7	402.3	40 228.7	53 789.4	52 299.9

3 结论

该试验结果表明, 伊犁河谷红花试验地最佳施氮量为尿素 355.50 kg/hm², 最佳施磷量为过磷酸钙 245.25 kg/hm², 最佳施钾量为硫酸钾 99.90 kg/hm²。此氮磷钾的配合经济效益可达最大化。如果折合成施磷酸二铵、尿素和硫酸钾, 则磷酸二铵为 225.0 kg/hm², 尿素为 240.0 kg/hm², 硫酸钾为 99.9 kg/hm²。

参考文献

[1] 王兆木. 世界红花种质资源评价与利用[M]. 北京: 中国科学技术出版

社, 2003: 14.

[2] 袁国弼, 韩孕周, 黎大爵, 等. 红花种质资源及其开发利用[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 322-326.

[3] 彭云承. 伊犁河谷红花生产现状及发展对策[J]. 新疆农垦科技, 2015(2): 13-14.

[4] 宋朝玉, 高峻岭, 张清霞, 等. “3414”肥料试验结果统计分析方法的探讨[J]. 山东农业科学, 2009(9): 93-96.

[5] 戢林, 张锡洲, 李廷轩. 基于“3414”试验的川中丘陵区水稻测土配方施肥指标体系构建[J]. 中国农业科学, 2011, 44(1): 84-92.

[6] 应武, 戈长水, 俞祥群, 等. 连作晚稻秀水 134 秧苗喷施多效唑对机插产量的影响[J]. 中国种业, 2012(12): 53-54, 55.

(上接第 79 页)

发速率, 提高稳定性, 并使液态的精油实现了固态化, 水溶性更高, 可拓宽薰衣草精油的应用领域。

参考文献

[1] 李亚涛, 白红彤, 石雷, 等. 新疆薰衣草规模化生产中的主要问题及应对策略[J]. 香料香精化妆品, 2011, 21(1): 33-35.

[2] 顾国海. 薰衣草在张家港地区冬季温棚育苗技术[J]. 中国园艺文摘, 2015, 7(1): 181.

[3] 刘婷, 庠文波, 王婷, 等. 水蒸气蒸馏和超临界萃取薰衣草精油抗氧化作用研究[J]. 时珍国医国药, 2009, 20(12): 3035-3037.

[4] 张群, 扎灵丽. 薰衣草的研究和应用[J]. 时珍国医国药, 2008, 19(6): 1312-1314.

[5] 程鹏, 潘勤, 许善初. 薰衣草精油的生物活性[J]. 现代药物与临床, 2008, 23(1): 7-10.

[6] 唐瑶, 曹婉鑫, 陈洋. 薰衣草精油的研究进展及在日用品中的应用[J]. 中国洗涤用品工业, 2014(10): 70-73.

[7] 谢捷, 施力瑕, 朱兴一, 等. 闪式辅助水蒸气蒸馏法提取生姜挥发油的研究[J]. 中成药, 2010, 32(11): 1882-1885.

[8] 杨海燕, 张照红, 雷俊, 等. 薰衣草精油萃取工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2008, 29(8): 202-204.

[9] 张秋霞, 陈计峦, 江英. 薰衣草精油的提取工艺研究[J]. 食品科技, 2007, 32(5): 123-125.

[10] 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.

[11] 王延圣, 苏平. 微胶囊技术在植物精油中的应用及研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(10): 453-456.

[12] 陈计峦, 宋丽军, 张云, 等. β-环糊精包合薰衣草精油工艺的研究[J]. 食品科技, 2009, 34(4): 105-108.

[13] 王伟, 薛智慧, 江英, 等. 喷雾干燥制备薰衣草精油微胶囊工艺的研究[J]. 农产品加工(综合刊), 2010(6): 74-76.

[14] 李双明, 顾雅玲, 解晓, 等. 超声强化水蒸气蒸馏法提取薰衣草精油[J]. 食品工业, 2013, 34(2): 41-44.

[15] 童红, 唐军, 张正方. 响应面法优化微波辅助水蒸气提取薰衣草挥发油的工艺研究[J]. 中国调味品, 2013, 38(10): 61-65.

[16] 童红, 唐军. 3 种不同方法提取薰衣草挥发油成分的比较[J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(16): 100-105.