

德国洋甘菊精油纳米胶囊的制备及抗真菌性能研究

王紫薇, 袁艺*, 梁雪萍, 陈友慧 (安徽农业大学生命科学院, 安徽合肥 230036)

摘要 [目的]为拓宽德国洋甘菊精油在抑菌方面的应用,以德国洋甘菊精油为芯材,壳聚糖为壁材制备德国洋甘菊精油纳米胶囊。[方法]采用离子凝胶法制备德国洋甘菊精油纳米胶囊,并对所制备的德国洋甘菊精油纳米胶囊进行包埋率测定;同时采用菌丝生长速率法测定德国洋甘菊精油纳米胶囊对水稻纹枯病菌、小麦赤霉病菌、玉米弯孢病菌的抗菌性能。[结果]德国洋甘菊精油纳米胶囊的包埋率为36.33%,抑菌试验表明德国洋甘菊精油纳米胶囊对水稻纹枯病菌、小麦赤霉病菌、玉米弯孢病菌均有抑制作用,EC₅₀值分别为4.61、15.51、12.20 mg/mL。[结论]德国洋甘菊精油纳米胶囊对植物病原真菌有一定的抑制作用,具有开发为天然杀菌剂的潜力。

关键词 德国洋甘菊精油;纳米胶囊;制备;抑菌活性

中图分类号 R 285.5 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)10-0157-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.10.035

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on Preparation and Antifungal Properties of *Matricaria chamomilla* Essential Oil Nanocapsules

WANG Zi-wei, YUAN Yi, LIANG Xue-ping et al (School of Life Sciences, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036)

Abstract [Objective] In order to broaden the application of *Matricaria chamomilla* essential oil in antibacterial, *Matricaria chamomilla* essential oil nanocapsules were prepared with *Matricaria chamomilla* essential oil as the core material and chitosan as the wall material. [Method] The *Matricaria chamomilla* essential oil nanocapsules were prepared by ionic gelation method, and the encapsulation rate of the prepared *Matricaria chamomilla* essential oil nanocapsules was measured. At the same time, the mycelial growth rate method was used to determine the antibacterial properties of *Matricaria chamomilla* essential oil nanocapsules against *Rhizoctonia solani*, *Fusarium graminearum* and *Curvularia lunata*. [Result] The encapsulation rate of *Matricaria chamomilla* essential oil nanocapsules was 36.33%, and the inhibition experiments showed that *Matricaria chamomilla* essential oil had the inhibitory effect on *Rhizoctonia solani*, *Fusarium graminearum* and *Curvularia lunata* with the EC₅₀ values of 4.61, 15.51 and 12.20 mg/mL, respectively. [Conclusion] *Matricaria chamomilla* essential oil nanocapsules have a certain inhibitory effect on phytopathogenic fungi and have the potential to be developed as natural fungicides.

Key words *Matricaria chamomilla* essential oil; Nanocapsules; Preparation; Antifungal activity

小麦、水稻和玉米是我国主要粮食作物,但由于各种病虫害的侵袭常造成3种农作物减产。赤霉病是大田里小麦容易感染的病菌之一^[1],担子类立枯丝核菌引发的小麦纹枯病是大田里危害最为严重的水稻真菌病害之一^[2-3],玉米弯孢菌叶斑病是我国玉米生产上重要的叶部病害,作物一旦感染上这几种病菌,就会导致产量和品质下降^[4]。目前对于这3种菌的防治主要采用化学农药,通过药剂喷洒、淋灌的方式进行防治。但是大量的使用化学试剂对环境造成很大的危害,甚至破坏了生态的平衡。随着化学药剂使用年限的增加,植物病原真菌对化学药剂的抗性变得越来越明显^[5],急需寻找环境友好型生物农药。

德国洋甘菊(*Matricaria chamomilla* L.),菊科母菊属植物,有很高的药用价值^[6]。洋甘菊精油含有多种抗炎抗菌的药效成分,具有复合抗菌作用^[7]。由于精油安全无污染、无毒副作用,故是一种极具开发潜力的植物源杀菌剂^[8-10]。但由于德国洋甘菊精油具有易挥发的特性,在储存和使用过程中容易造成损失,限制了它在抗菌方面的应用^[11]。

壳聚糖是一种天然高分子物质,成本低廉,来源广泛,常用来作为增稠剂和被膜剂,同时它还具有抗菌、可降解性、无毒无害等一系列优良的生物学特性^[12-13]。将壳聚糖作为壁材包裹精油可以提高精油的稳定性和流动性,控制有效成分的挥发速率,使其更有效地发挥生物学活性。

该研究采用离子凝胶法^[14]制备德国洋甘菊精油纳米胶囊,并对其进行了包埋率测定,同时探究德国洋甘菊精油纳米胶囊对水稻纹枯病菌、小麦赤霉病菌、玉米弯孢病菌的抗菌性能,为植物精油类新型杀菌物质的开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试材。德国洋甘菊干燥花序购买于宣城市跃平生态科技开发有限责任公司;水稻纹枯病菌(*Rhizoctonia solani*)、小麦赤霉病菌(*Fusarium graminearum*)由安徽农业大学植物保护学院提供,玉米弯孢病菌(*Curvularia lunata*)由安徽农业大学生命科学院提供。

1.1.2 主要试剂。壳聚糖(脱乙酰度≥95%,MW≈70 000),酷尔化学科技(北京)有限公司;微孔滤膜(孔径0.45 μm),海宁市创伟过滤设备器材厂;吐温-80,无锡市亚泰联合化工有限公司;三聚磷酸钠,西陇科学股份有限公司。

1.1.3 主要仪器。85-2恒温磁力搅拌器,常州越新仪器制造有限公司;冰冻离心机,上海卢湘仪离心机仪器有限公司;UV-2102PCS型紫外可见分光光度计,尤尼柯(上海)仪器有限公司;紫外分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;立式压力蒸汽灭菌器,上海申安医疗器械厂。

1.2 试验方法

1.2.1 德国洋甘菊精油的提取。采用水蒸气蒸馏法^[15]提取德国洋甘菊精油。称取80 g粉碎后的德国洋甘菊干燥花序装入2 000 mL蒸馏瓶中,加入1 200 mL蒸馏水。搭好蒸馏装置,持续蒸馏约7 h后,收集精油,放入4℃冰箱保存备用。

1.2.2 德国洋甘菊精油最大吸收波长的确定。配制1 mg/mL

基金项目 2020年国家级大学生创新创业训练计划项目(202010364053)。

作者简介 王紫薇(1999-),女,安徽萧县人,从事生物制药研究。*通信作者,教授,硕士,博士生导师,从事植物细胞工程、植物次生代谢、植物资源的开发与利用研究。

收稿日期 2021-11-24; **修回日期** 2022-03-14

的德国洋甘菊精油储备液,备用。用无水乙醇稀释储备液,配制某一浓度的德国洋甘菊精油溶液,并以无水乙醇作为空白对照,190~900 nm 进行扫描,确定最大吸收波长。

1.2.3 德国洋甘菊精油标准曲线绘制。从 1 mg/mL 德国洋甘菊精油储备液中分别吸取 1 250、2 500、3 750、5 000、6 250 μL 于 5 个 50 mL 容量瓶中,用无水乙醇定容,分别配制成浓度为 0.025、0.050、0.075、0.100、0.125 mg/mL 的德国洋甘菊精油溶液,测定吸光度。

1.2.4 德国洋甘菊精油纳米胶囊的制备。参照文献[16-18]的方法。将 0.18 g 壳聚糖加至 60 mL 体积分数为 1% 的冰醋酸中,60 $^{\circ}\text{C}$ 恒温磁力搅拌 60 min,形成壳聚糖溶液,并用 0.45 μm 微孔滤膜过滤。取 50 mL 滤液,加入 3~4 滴吐温-80,60 $^{\circ}\text{C}$ 搅拌 30 min,冷却。称取 80 mg 德国洋甘菊精油,用 4 mL 无水乙醇溶解,并逐滴加至壳聚糖/吐温-80 溶液中,常温搅拌 30 min。称取 0.06 g 三聚磷酸钠,加入 10 mL 蒸馏水溶解,调节 pH 约为 4.5,并逐滴加至上述溶液中,常温搅拌 1 h,得到纳米胶囊分散液。纳米胶囊分散液在 4 $^{\circ}\text{C}$, 12 000 r/min 离心 5 min 后倒去上清液,沉淀置于冷冻干燥机中,冷冻干燥 12 h 后拿出,收集冻干粉。

1.2.5 德国洋甘菊精油纳米胶囊包埋率的测定。纳米胶囊分散液在 4 $^{\circ}\text{C}$ 、12 000 r/min 离心 5 min 后,测量上清液体积,取上清液 200 μL 用无水乙醇稀释 50 倍后在最大吸收波长处测量吸光度,计算出未包埋的德国洋甘菊精油质量。包埋率计算公式如下:

$$\text{包埋率} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中, m_1 为德国洋甘菊精油添加量(mg); m_2 为未包埋精油质量(mg)。

1.2.6 德国洋甘菊精油纳米胶囊的抗菌性能评价。用不同量的德国洋甘菊精油纳米胶囊和德国洋甘菊精油与灭菌后的马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基混合均匀,分别取直径为 5 mm 的水稻纹枯病菌、小麦赤霉病菌、玉米弯孢病菌的菌块接种,3 组平行。在 28 $^{\circ}\text{C}$ 下,分别培养至对照组组长满后,采用十字交叉法测量菌丝体直径^[19]。根据公式(2)计算菌丝生长的抑制率,并根据概率值分析法求毒力回归方程和半数有效浓度 EC_{50} 。

$$\text{抑制率} = \frac{(D_1 - 5) - (D_2 - 5)}{D_1 - 5} \times 100\% \quad (2)$$

式中,5 为接种的菌块直径(mm), D_1 为空白对照菌落直径(mm), D_2 为药剂处理的菌落直径(mm)。

2 结果与分析

2.1 德国洋甘菊精油最大吸收波长 由图 1 可知,德国洋甘菊精油的最大吸收波长为 289 nm。

2.2 德国洋甘菊精油标准曲线 以德国洋甘菊精油浓度为 X 轴、吸光度为 Y 轴绘制的标准曲线如图 2 所示,德国洋甘菊精油标准曲线方程为 $y = 7.86x + 0.0163$ ($R^2 = 0.9983$),表明在 0.025~0.125 mg/mL,德国洋甘菊精油浓度与吸光度的线性关系良好。

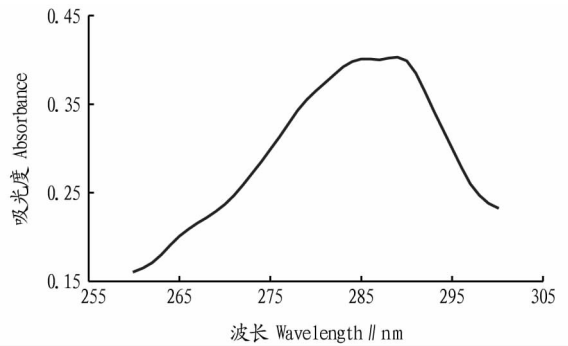


图 1 德国洋甘菊精油吸收波长曲线

Fig.1 Absorption wavelength curve of *Matricaria chamomilla* essential oil

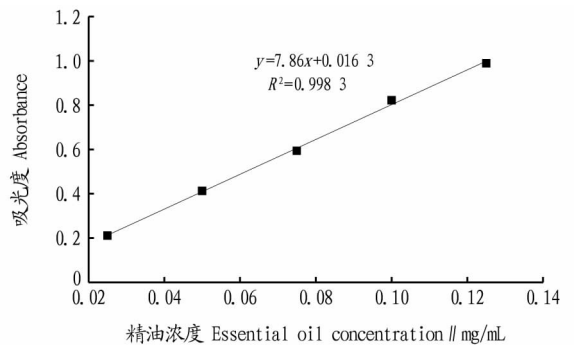


图 2 德国洋甘菊精油标准曲线

Fig.2 Standard curve of *Matricaria chamomilla* essential oil

2.3 德国洋甘菊精油纳米胶囊包埋率 通过包埋率计算公式(1)可得,德国洋甘菊精油纳米胶囊的包埋率为 36.33%。梁英等^[20]通过 Box-Behnken 和响应面优化,在得出的最佳制备条件下制得的龙蒿精油纳米胶囊的包埋率为 43.67%,高于该试验纳米胶囊的包埋率。在后续试验中,可以通过改进制备条件来提高纳米胶囊的包埋率。

2.4 德国洋甘菊精油纳米胶囊的抗菌性能

2.4.1 德国洋甘菊精油抗真菌性能。由图 3 和表 1 可知,同一处理浓度对不同植物病原真菌的抑制作用差异显著,对同种植物病原真菌的抑制率随着德国洋甘菊精油浓度的增加而增加。各处理浓度间对水稻纹枯病菌的抑制作用差异显

表 1 德国洋甘菊精油对 3 种植物病原真菌的抑菌率

Table 1 The antibacterial rate of *Matricaria chamomilla* essential oil against three plant pathogenic fungi %

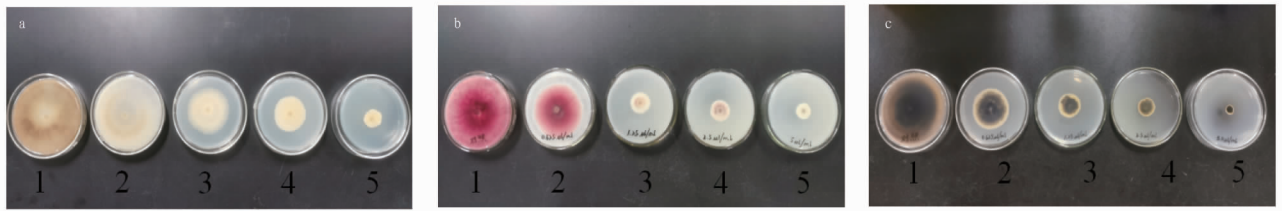
处理浓度 Treatment concentration mg/mL	水稻纹枯病菌 <i>Rhizoctonia solani</i>	小麦赤霉病菌 <i>Fusarium graminearum</i>	玉米弯孢病菌 <i>Curvularia lunata</i>
0	0 cA	0 dA	0 dA
0.625	47.98±1.30 dA	33.33±3.61 cC	40.41±0.68 cB
1.250	84.31±0.87 cA	68.54±2.82 bC	74.19±1.70 bB
2.500	92.54±1.08 bA	83.02±1.10 aB	76.87±0.44 bC
5.000	95.63±0.44 aA	86.25±0.31 aC	89.79±0.44 aB

注:同列不同小写字母表示不同浓度间差异显著,同行不同大写字母表示相同浓度处理对不同病原菌抑制率差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between different concentrations, and different uppercase letters in the same row indicate significant differences in the inhibition rates of different pathogens treated with the same concentration ($P < 0.05$)

著;处理浓度 2.500 mg/mL 与 5.000 mg/mL 对小麦赤霉病菌的抑制作用无明显差异,其余浓度间对小麦赤霉病菌的抑制作用差异显著;处理浓度 1.250 mg/mL 与 2.500 mg/mL 对玉

米弯孢病菌的抑制作用无显著差异,其余各处理浓度间对玉米弯孢病菌的抑制作用差异显著。



注:1~5 分别表示 0、0.625、1.250、2.500、5.000 mg/mL 的处理

Note: 1-5 represent treatments of 0, 0.625, 1.250, 2.500, and 5.000 mg/mL, respectively

图 3 德国洋甘菊精油对水稻纹枯病菌 (a)、小麦赤霉病菌 (b) 和玉米弯孢病菌 (c) 的抑制效果

Fig.3 Inhibitory effect of *Matricaria chamomilla* essential oil on *Rhizoctonia solani* (a), *Fusarium graminearum* (b) and *Curvularia lunata* (c)

由表 2 可知,德国洋甘菊精油对水稻纹枯病菌、小麦赤霉病菌和玉米弯孢病菌的 EC_{50} 分别为 0.16、0.37、0.35 mg/mL,说明德国洋甘菊精油对水稻纹枯病菌的毒力最强。毒力方程中斜率与德国洋甘菊精油作用于病原真菌的敏感度相关,两者呈正比。3 种病原真菌的斜率从大到小依次为水稻纹枯病菌、玉米弯孢病菌、小麦赤霉病菌,表明水稻纹枯病对德国洋甘菊精油最敏感。由此可见,敏感度与它们的 EC_{50} 值结果是相一致的。

表 2 德国洋甘菊精油对 3 种植物病原真菌的 EC_{50} 值

Table 2 EC_{50} values of *Matricaria chamomilla* essential oil against three phytopathogenic fungi

植物病原真菌 Phytopathogenic fungi	毒力回归方程 Virulence regression equation	相关系数 Correlation coefficient (r)	EC_{50} mg/mL
水稻纹枯病菌 <i>Rhizoctonia solani</i>	$y = 1.1649x + 5.9226$	0.9905	0.16
小麦赤霉病菌 <i>Fusarium graminearum</i>	$y = 1.0111x + 5.4408$	0.9529	0.37
玉米弯孢病菌 <i>Curvularia lunata</i>	$y = 1.0308x + 5.4744$	0.9225	0.35

2.4.2 德国洋甘菊精油纳米胶囊抗真菌性能。由图 4 和表 3 可知,当精油纳米胶囊浓度为 0.625 mg/mL 时,药剂浓度低,

德国洋甘菊精油纳米胶囊对 3 种真菌均无抑制作用。当处理浓度为 1.250 mg/mL 时,对不同植物病原真菌的抑制作用无显著差异。德国洋甘菊精油纳米胶囊对同一植物病原真菌的抑制率随着纳米胶囊浓度的增大而增大。各处理浓度间对水稻纹枯病菌、小麦赤霉病菌、玉米弯孢病菌的抑制作用差异显著。

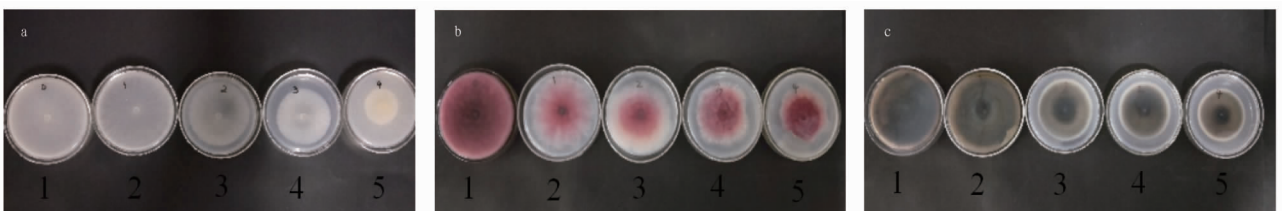
表 3 德国洋甘菊精油纳米胶囊对 3 种植物病原真菌的抑菌率

Table 3 The antibacterial rate of *Matricaria chamomilla* essential oil nanocapsules against three phytopathogenic fungi %

处理浓度 Treatment concentration // mg/mL	水稻纹枯病菌 <i>Rhizoctonia solani</i>	小麦赤霉病菌 <i>Fusarium graminearum</i>	玉米弯孢病菌 <i>Curvularia lunata</i>
0	0 dA	0 dA	0 dA
0.625	0 dA	0 dA	0 dA
1.250	15.56±0.02 cA	15.24±0.02 cA	17.24±0.02 cA
2.500	28.37±0.01 bA	21.25±0.01 bB	23.12±0.03 bB
5.000	54.26±0.02 aA	32.63±0.00 aB	36.25±0.00 aB

注:同列不同小写字母表示不同浓度间差异显著,同行不同大写字母表示相同浓度处理对不同病原菌抑制率差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between different concentrations, and different uppercase letters in the same row indicate significant differences in the inhibition rates of different pathogens treated with the same concentration ($P < 0.05$)



注:1~5 分别表示 0、0.625、1.250、2.500、5.000 mg/mL 的处理

Note: 1-5 represent treatments of 0, 0.625, 1.250, 2.500, and 5.000 mg/mL, respectively

图 4 德国洋甘菊精油纳米胶囊对水稻纹枯病菌 (a)、小麦赤霉病菌 (b) 和玉米弯孢病菌 (c) 的抑制效果

Fig.4 Inhibitory effect of *Matricaria chamomilla* essential oil nanocapsules on *Rhizoctonia solani* (a), *Fusarium graminearum* (b) and *Curvularia lunata* (c)

由表 4 可知,德国洋甘菊精油纳米胶囊对水稻纹枯病菌、小麦赤霉病菌和玉米弯孢病菌的 EC_{50} 值分别为 4.61、15.51、12.20 mg/mL,说明德国洋甘菊精油纳米胶囊对水稻纹枯病菌的毒力最强,对小麦赤霉病菌的毒力最弱。3 种病原

真菌的斜率从大到小依次为水稻纹枯病菌、玉米弯孢病菌、小麦赤霉病菌,表明水稻纹枯病菌对洋甘菊精油纳米胶囊最敏感,其次为玉米弯孢病菌,小麦赤霉病菌敏感性最低。由此可见,敏感度与它们的 EC_{50} 值结果是相一致的。

表4 德国洋甘菊精油纳米胶囊对3种植物病原真菌的EC₅₀值Table 4 EC₅₀ value of *Matricaria chamomilla* essential oils nanocapsules against three plant pathogenic fungi

植物病原真菌 Phytopathogenic fungi	毒力回归方程 Virulence regression equation	相关系数 Correlation coefficient (r)	EC ₅₀ mg/mL
水稻纹枯病菌 <i>Rhizoctonia solani</i>	$y = 1.861 3x + 3.764 7$	0.985 2	4.61
小麦赤霉病菌 <i>Fusarium graminearum</i>	$y = 0.958 2x + 3.859 3$	0.985 8	15.51
玉米弯孢病菌 <i>Curvularia lunata</i>	$y = 0.985 2x + 3.929 6$	0.972 8	12.20

3 讨论

德国洋甘菊精油的密度在 0.90 g/mL 左右,因此试验中所设精油与纳米胶囊的浓度梯度相当。德国洋甘菊精油和德国洋甘菊精油纳米胶囊对3种植物病原真菌水稻纹枯病菌、小麦赤霉病菌、玉米弯孢病菌的 EC₅₀ 比较可知,纳米胶囊对3种植物病原真菌的 EC₅₀ 大于德国洋甘菊精油,原因可能:一是在制备德国洋甘菊精油纳米胶囊时,包埋率低,只有 36.33%,纳米胶囊中所包埋的精油质量少;二是其具有缓释性,在相同培养时间内精油没有完全释放出来。德国洋甘菊精油在被壳聚糖包裹制成纳米胶囊时,其稳定性大大提高,但是还要考虑其包埋率和缓释性的影响,这二者会使德国洋甘菊精油的有效释放量降低,从而会降低抑制率,但是尽管在精油含量已经降低的情况下,仍然对这3种植物病原真菌有一定的抑制作用,所以在未来的试验中,要不断优化试验方法,提高包埋率。

4 结论

该研究采用离子凝胶法制备德国洋甘菊精油纳米胶囊,测得其平均包埋率为 36.33%。抑菌试验表明德国洋甘菊精油和德国洋甘菊精油纳米胶囊对水稻纹枯病菌、小麦赤霉病菌、玉米弯孢病菌均有抑制作用。将冻干成粉的纳米胶囊与培养基混匀制备成含药培养基,观察测定其对3种植物病原真菌的抑菌效果,与德国洋甘菊精油对3种植物病原真菌的抑菌效果排序顺序一致,从强到弱依次为水稻纹枯病菌、玉米弯孢病菌、小麦赤霉病菌。

参考文献

- [1] 王超杰.小麦赤霉病防治试验及防治措施[J].河南农业,2016(30):47-49.
- [2] 吴志明,李昆太.水稻纹枯病的危害及其微生物防治概述[J].生物灾害科学,2018,41(2):81-88.
- [3] 王珊.抑制水稻纹枯病菌植物源粗提物的筛选及作用机制初步研究[D].长沙:湖南农业大学,2014:11-13.
- [4] WU W, SHAH F, SHAH F, et al. Rice sheath blight evaluation as affected by fertilization rate and planting density[J]. Australasian plant pathology, 2015, 44(2):183-189.
- [5] 梁琪,付欲威,李云鹏,等.3种植物提取物对稻瘟病菌的抑菌活性及其抑菌机理研究[J].中国农学通报,2021,37(15):120-127.
- [6] 雷伏贵,曹奕鑫,李丽红,等.不同种植密度对大棚西洋甘菊发育及产量的影响[J].福建农业学报,2013,28(8):784-788.
- [7] 李玉平,冯俊涛,邵红军,等.25种菊科植物提取物对3种植物病原真菌的药效试验[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2003,31(4):123-126.
- [8] JUÁREZ Z N, HERNÁNDEZ L R, BACH H, et al. Antifungal activity of essential oils extracted from *Agastache mexicana* ssp. *xolocotziana* and *Porophyllum linaria* against post-harvest pathogens[J]. Industrial crops and products, 2015, 74:178-182.
- [9] 刘凡,李敏,顾爱星,等.薰衣草精油对几种植物病原真菌的抑菌作用[J].新疆农业科学,2017,54(5):938-944.
- [10] 贾会玲,黄晓德,钱骅,等.9种植物精油及精油单体成分对黄瓜枯萎病的抑菌活性[J].安徽农业科学,2017,45(31):160-162,181.
- [11] 邱夕兰,彭善丽,程磊,等.植物精油微胶囊的制备及在食品保鲜中的应用[J].食品研究与开发,2021,42(6):205-210.
- [12] 李鑫玲,张慧芸,康怀彬.壳聚糖与丁香精油复合涂膜对调理猪排冷藏期间品质的影响[J].食品与发酵工业,2018,44(10):103-109.
- [13] 纪蕾,刘天红,王颖,等.壳聚糖制备方法比较及其性能研究[J].食品安全质量检测学报,2021,12(3):951-959.
- [14] SOUZA P R, DE OLIVEIRA A C, VILSINSKI B H, et al. Polysaccharide-based materials created by physical processes: From preparation to biomedical applications[J]. Pharmaceutics, 2021, 13(5):1-47.
- [15] DUARTE J L, BEZERRA D C, DA CONCEIÇÃO E C, et al. Self-nano-emulsification of chamomile essential oil: A novel approach for a high value phytochemical[J/OL]. Colloid and interface science communications, 2020, 34[2021-05-27]. <https://doi.org/10.1016/j.colcom.2019.100225>.
- [16] MELO M N, PEREIRA F M, ROCHA M A, et al. Chitosan and chitosan/PEG nanoparticles loaded with indole-3-carbinol: Characterization, computational study and potential effect on human bladder cancer cells[J/OL]. Materials science and engineering C, 2021, 124[2021-05-27]. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2021.112089>.
- [17] LI Y, WU C H, WU T T, et al. Preparation and characterization of citrus essential oils loaded in chitosan microcapsules by using different emulsifiers[J]. Journal of food engineering, 2018, 217:108-114.
- [18] 何鹏,张慧芸,康怀彬,等.丁香精油—壳聚糖纳米胶囊的制备及表征[J].食品与机械,2019,35(6):36-42.
- [19] 徐太东,梁巧兰,吴琼,等.甜瓜叶斑病病原鉴定及室内药剂筛选[J].中国农学通报,2019,35(20):104-111.
- [20] 梁英,张慧芸,康怀彬.龙蒿精油纳米胶囊制备工艺优化及结构表征研究[J].食品与机械,2020,36(9):188-194.