辛烯基琥珀酸菊粉酯的乳化及抑霉性能研究

张晓云，张红印，董英，杨其亚，王海英，董曼佳，郑漓玻，丁文慧
（江苏大学食品与生物工程学院，江苏镇江 212013）

摘要：以菊粉为参照，研究了取代度、添加量、冻融等因素对辛烯基琥珀酸菊粉酯乳化能力的影响，考察了辛烯基琥珀酸菊粉酯对扩展青霉、黑曲霉和黑根霉菌丝生长、孢子萌发和芽管伸长的抑制作用。试验结果表明：菊粉经辛烯基琥珀酸酐改性后具有良好的乳化性，其乳化能力随取代度（DS）和添加量的增加而增大。当辛烯基琥珀酸菊粉酯（DS=3.17×10^{-2}）浓度为 2.50%时,乳化液乳化效果和冻融稳定性良好，乳液颗粒大小一致、不聚集。抑菌实验表明辛烯基琥珀酸菊粉酯对扩展青霉、黑曲霉和黑根霉三种霉菌的最小抑菌浓度（MIC）分别为 1.00%、4.00%和 2.00%（*m/V*），其对扩展青霉、黑曲霉和黑根霉菌丝生长、孢子萌发和芽管伸长抑制作用随辛烯基琥珀酸菊粉酯浓度增加而增强。低于 MIC 浓度时，辛烯基琥珀酸菊粉酯对扩展青霉菌丝生长、孢子萌发和芽管伸长的抑制作用最强，其次是黑曲霉，对黑根霉的抑制作用较弱。

关键词：菊粉；辛烯基琥珀酸酐；化学修饰；乳化稳定性；抑霉性

文章篇号：1673-9078(2016)8-64-69 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.8.010

Study on the Emulsifying and Antifungal Properties of Octenyl Succinic Anhydride Modified Inulin

ZHANG Xiao-yun, ZHANG Hong-yin, DONG Ying, YANG Qi-ya, WANG Hai-ying, DONG Man-jia, ZHENG Li-bo, DING Wen-hui

(School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: The effect of degree of substitution (DS), concentration, and freeze-thaw on the emulsifying properties of inulin and octenyl succnic anhydride modified inulin (OSA-In) were studied. Furthermore, the inhibitory effects of OSA on the growth of hyphae, spore germination, and germ tube elongation of *Penicillium expansum*, *Aspergillus niger*, and *Rhizopus nigricans* were investigated. The results showed that OSA-In improved emulsifying properties compared to inulin, and its emulsifying ability increased with the increasing concentrations of DS. OSA-In (DS = 3.17 × 10^{-2}) at a concentration of 2.5% exhibited good emulsification and freeze-thaw stability. The minimum inhibitory concentrations (MIC) of OSA-In were one, four, and two percent (*m/V*) for *Penicillium expansum*, *Aspergillus niger*, and *Rhizopus nigricans,* respectively. OSA-In inhibited the hyphal growth, spore germination, and germ-tube elongation of *Penicillium expansum*, *Aspergillus niger*, and *Rhizopus nigricans* in a dose-dependent manner. At sub-MIC levels of OSA-In, the inhibitory effect was highest on *Penicillium expansum* followed by *Aspergillus niger* and *Rhizopus nigrican*s.

Key words: inulin; octenyl succinic anhydride; chemical modification; emulsion stability; fungus resistance

菊粉(Inulin)又称菊糖，它是一种由 D-果糖经 β（1→2）糖苷键连接且末端常含一个葡萄糖残基的果聚糖，主要从菊芋、菊苣、大丽菊和雪莲果等根和块茎中提取。菊粉较易溶于水，具有低热量、降血脂、改善肠道菌群和促进矿物质吸收等多种生理功能，已成为继淀粉、小麦精粉之后的又一重要食品及食品配料，已被我国和欧美多个国家批准作为一种新资源食品和安全级食品配料、营养增补剂而广泛应用于食品工业中[1]。近年来，为进一步改善菊粉的性能，满足现代食品工业的多样化需求，国内外部分学者先后对菊粉进行了多种修饰改性研究。Stevens 等[2]、Tadros 等[3]在有机溶剂中对菊苣菊粉进行氨甲酰化改性，研究发现中长链氨基甲酰菊粉在含有 NaCl 和 $MgSO_4$ 体系中均具有良好的乳化能力。栗衍华等[4]采用氯磺酸-吡啶法制备菊粉硫酸酯，试验结果表明菊粉硫酸酯对毛霉和辣椒疫霉有较好的抑菌活性。胡云霞等[5]通过 1,2,3-三氮唑桥连水杨醛类席夫碱于菊糖分子中得到新型三氮唑类菊糖衍生物，研究发现其抑菌活性相

收稿日期：2015-09-11

基金项目：国家自然科学基金资助项目（31271967）；江苏省高校优势学科（PAPD）资助项目；镇江市农业科技支撑计划项目（NY2013004）；江苏大学高级专业人才科研启动基金项目（08JDG004）

作者简介：张晓云（1975-），女，博士，副教授，研究方向：食品资源开发与利用

比于菊糖有明显提高。Ren 等[6]研究表明 6-氨基-6-脱氧-菊粉对黄瓜黑星病菌和尖孢镰孢霉具有抑制作用。辛烯基琥珀酸菊粉酯是利用辛烯基琥珀酸酐(OSA)与菊粉呋喃果糖单元上的醇羟基发生酯化反应制备的一种改性菊粉，目前国内外对其公开研究报道比较少。本文在前期对辛烯基琥珀酸菊粉酯结构分析及其对常见有害细菌金黄色葡萄球菌和大肠杆菌抑制作用的研究基础上[7]，进一步对辛烯基琥珀酸菊粉酯的乳化性能进行了研究，并以食品中常见腐败真菌扩展青霉(*Penicillium expansum*)、黑根霉(*Rhizopus nigricans*)和黑曲霉(*Aspergillus niger*)为对象，从菌丝生长的抑制率、孢子的萌发率和萌发抑制率以及芽管伸长抑制率等指标进一步考察了辛烯基琥珀酸菊粉酯对扩展青霉、黑根霉和黑曲霉的抑制效果，为今后菊粉在食品及相关行业中的进一步应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

菊粉：产地兰州，食品级，平均聚合度 20，平均分子量 3248；辛烯基琥珀酸菊粉酯：本实验室按照文献[7]自制，经 HPLC 测定无 OSA 残留；一级大豆油：市购，中粮食品营销有限公司；span 80（化学纯）。

扩展青霉（*Penicillium expansum*）、黑根霉（*Rhizopus nigricans*）和黑曲霉（*Aspergillus niger*）本实验室保存。

马铃薯葡萄糖琼脂培养基（PDA，g/L）：马铃薯（去皮）200 g，葡萄糖 20 g，琼脂 15~20 g，自然 pH，121 ℃ 灭菌处理。

马铃薯葡萄糖液体培养基（g/L）：马铃薯（去皮）200 g，葡萄糖 20 g，自然 pH，121 ℃ 灭菌处理。

1.2 主要仪器设备

HH-S 型数显恒温水浴锅：金坛市富华仪器有限公司；IKA ETS-D6 磁力加热定时搅拌器：上海理达仪器厂；IKA ULTRA-TURRAX 分散仪：德国艾卡仪器设备有限公司；PHS-3BW 微机型精密 pH/mV 计：上海理达仪器厂；TGL-16M 高速台式冷冻离心机：长沙湘仪离心机仪器有限公司；NR-B23S6-S 松下冰箱：无锡松下冷机有限公司；JA 2003 电子分析天平：赛多利斯科学仪器（北京）有限公司；生物显微镜：上海光学仪器一厂；徕卡倒置荧光显微镜 DMI 4000B：德国徕卡仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 乳化性测定

参照文献[8]略作修改。量取一定浓度的菊粉和辛烯基琥珀酸菊粉酯水溶液 20 mL 放入沸水浴中搅拌 20 min，取出冷却至室温。用 IKA ULTRA-TURRAX 分散仪以 11000 r/min 的速度搅拌，将 20 mL 大豆油以细射流方式缓慢加入其中，乳化 5 min。将乳状液倒入 50 mL 离心管，在 1500 r/min 下离心 5 min，记录总体积（V）、乳化层体积（V_1）。重复测定 3 次，同时以 20 mL 蒸馏水进行同样的操作，乳化层体积（V_0）作为对照。计算辛烯基琥珀酸菊粉酯的乳化能力（EC）。

$$EC(\%) = \frac{V_1 - V_0}{V} \times 100\%$$

1.3.2 冻融稳定性测定[9]

分别配制 2.50%菊粉和辛烯基琥珀酸菊粉酯（DS 分别为 1.59×10^{-2}、2.75×10^{-2}、3.17×10^{-2}）水溶液 20 mL，向其中加入 20 mL 大豆油，转移到 50 mL 离心管中，以 11000 r/min 的剪切速率乳化 5 min。在-4 ℃冰箱中放置 18 h，取出后常温下解冻 6 h，重复冻融 5 次，观察记录乳化液的分层情况。

1.3.3 乳液表观形态观察

分别配制浓度为 2.50%（*m/V*）的菊粉、辛烯基琥珀酸菊粉酯（DS3.17×10^{-2}）、span 80 溶液 20 mL，加入相同体积的植物油，以 11000 r/min 的转速均质 2 min 处理后，取少量乳液在显微镜下观察拍照。

1.3.4 抑制霉菌性能测定

1.3.4.1 最小抑菌浓度（MIC）的测定[10]

将扩展青霉、黑曲霉和黑根霉分别接种PDA斜面上，28 ℃培养。扩展青霉培养120 h，黑曲霉和黑根霉培养72 h后，用无菌生理盐水将孢子浓度稀释至10^4个/mL, 作为初始孢子悬液。将一定量的辛烯基琥珀酸菊粉酯添加到马铃薯液体培养基中制成浓度为8.00%、4.00%、2.00%、1.00%、0.50%和0.25%（*m/V*）的平板，每平板接种100 μL的孢子悬液，28 ℃培养72 h，无菌落生长的最低浓度即为最小抑菌浓度（MIC）。

1.3.4.2 辛烯基琥珀酸菊粉酯对菌丝生长的抑制作用

扩展青霉、黑曲霉和黑根霉分别接种 PDA 斜面上，28 ℃培养。扩展青霉培养 120 h，黑曲霉和黑根霉培养 72 h 后，用无菌生理盐水将孢子浓度分别稀释至 10^6 个/mL、5×10^5 个/mL 和 10^5 个/mL，作为初始孢子悬液。

将 0.25%、0.50%、1.00%、2.00%和 4.00%（*m/V*）菊粉和辛烯基琥珀酸菊粉酯添加到马铃薯液体培养基中，接种 1 mL 孢子悬液至 30 mL 上述培养基中，扩展青霉、黑曲霉和黑根霉分别于 28 ℃，120 r/min 培

养 72 h，抽滤收集菌体，50 ℃烘干，称重。重复三次，同时以不添加菊粉和辛烯基琥珀酸菊粉酯的培养进行对照。根据下列公式计算抑菌率：

$$抑菌率(\%)=\frac{W_0-W}{W_0}\times 100\%$$

式中，W_0：对照试验中菌丝重量（g）；W：添加菊粉或辛烯基琥珀酸菊粉酯的试验中菌丝重量（g）。

1.3.4.3 辛烯基琥珀酸菊粉酯对孢子萌发和芽管伸长的影响

按照 1.3.4.2 方法制备初始孢子悬液（5×10^6 个/mL）和马铃薯液体培养基。接种 1 mL 孢子悬液到 30 mL 上述培养基中，28 ℃，75 r/min，培养 10 h 左右。取样在显微镜下观察孢子萌发情况和芽管长度。每个样品随机观察孢子总数不少于 100 个，分别记录萌发数量、孢子总数和芽管长度（芽管长度大于孢子的短半径视为萌发）。同时以不添加菊粉和辛烯基琥珀酸菊粉酯的培养进行对照，分别计算孢子萌发率、孢子萌发抑制率和芽管伸长抑制率。

$$孢子萌发率\eta(\%)=\frac{N_1}{N_0}\times 100\%$$

式中，N_1：萌发孢子数（个）；N_0：检查孢子总数（个）。

$$孢子萌发抑制率(\%)=\frac{\eta_0-\eta}{\eta_0}\times 100\%$$

式中，η_0：对照试验孢子萌发率（%）；η：添加菊粉或辛烯基琥珀酸菊粉酯的试验中孢子萌发率。

$$芽管伸长抑制率(\%)=\frac{L_0-L}{L_0}\times 100\%$$

式中，L_0：对照芽管长度（μm）；L：添加菊粉或辛烯基琥珀酸菊粉酯的试验中芽管长度（μm）。

1.3.5 数据统计分析

试验数据采用 Microsoft Excel 及 SPSS 16.0 进行分析处理。

2 结果与讨论

2.1 各因素对辛烯基琥珀酸菊粉酯乳化性能的影响

2.1.1 取代度（DS）对乳化能力的影响

分别配制 2.00%的菊粉和辛烯基琥珀酸菊粉酯（DS 分别为 1.59×10^{-2}、1.92×10^{-2}、2.48×10^{-2}、2.75×10^{-2}、3.17×10^{-2}）水溶液 20 mL，按照 1.3.1 方法考察取代度对其乳化能力的影响，结果如图 1。

添加 2.00%菊粉的混合液在离心后油水分层明显，不能形成稳定的乳状液。而在添加了辛烯基琥珀酸菊粉酯的油水混合液中，溶液的乳化能力随着 DS 增大逐渐增强（见图 1）。这表明在菊粉中引入辛烯基琥珀酸基团后，由于其同时含有亲油基团和大量的亲水基团，形成兼具亲油性和亲水性的双亲结构。在油-水乳液体系中，其亲水基受到水的亲和力伸向水端，亲油基受到水的排斥力伸向油端，从而在油-水界面形成界面膜阻止油水的相分离。DS 越大，亲油基团就越多，油相和水相能够更好地结合在一起；同时分子内的结构与空间位阻更大，乳化液的乳化能力和稳定性也更好。

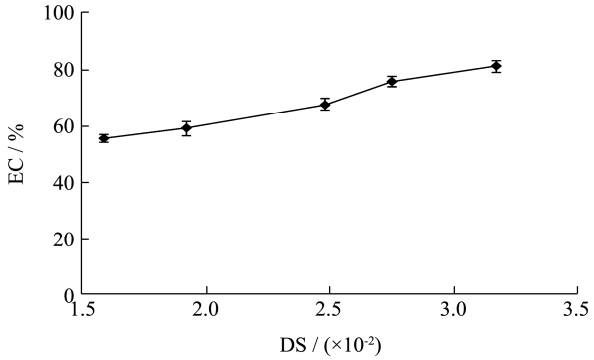


图 1 DS 对乳化能力的影响

Fig.1 Effect of DS on emulsifying property of OSA modified inulin

2.1.2 添加量对乳化能力的影响

分别配制 0.50%、1.00%、1.50%、2.00%、2.50%、3.00%（*m/V*）的菊粉和辛烯基琥珀酸菊粉酯（DS 为 3.17×10^{-2}）水溶液 20 mL，按照 1.3.1 方法考察浓度对辛烯基琥珀酸菊粉酯乳化能力的影响，结果如图 2。

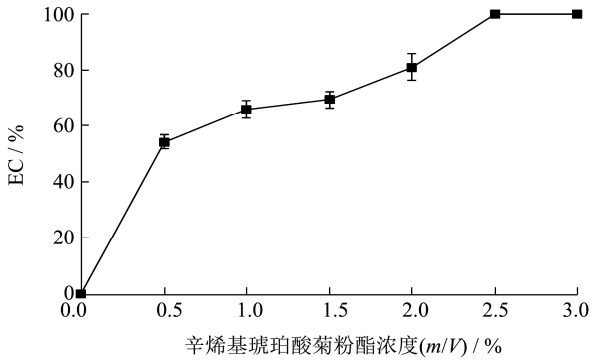


图 2 浓度对乳化能力的影响

Fig.2 Effect of concentrations of OSA-In on emulsifying property of OSA modified inulin

不同浓度的菊粉溶液与大豆油等体积混合，在高速搅拌下形成乳状液稳定性很差，离心后均完全分离。而添加不同量的辛烯基琥珀酸菊粉酯溶液（DS3.17×10^{-2}）与大豆油等体积混合后，乳液的乳化性随着添加量增加显著改善（见图 2），当辛烯基琥珀酸菊粉酯浓度大于 2.50%时，在乳液体系中形成的油

水界面膜强度可以阻止大豆油与水之间的相分离，乳状液的稳定性大大提高，离心后水层和油层不分离。

2.1.3 冻融对乳化液稳定性的影响

由于食品中常含有大量水分，当其处在低温条件时会发生冻结，而冻结和融化会影响乳液的稳定性，从而影响食品质构。为了考察辛烯基琥珀酸菊粉酯乳化体系在反复冻融下的稳定性，分别对加入菊粉和辛烯基琥珀酸菊粉酯的乳液进行冻融稳定性测试。

试验发现加入了菊粉的油、水混合物在高速搅拌下形成乳状液稳定性差，冻融 1 次析出大量清水，油水分层清晰。加入了辛烯基琥珀酸菊粉酯的油水混合物形成的乳化液均匀稳定，呈乳白色。取代度为 1.59×10^{-2} 的菊粉酯混合液经 2 次冻融后分为油层和乳化层，但下层仍呈冻融前的乳白色；而取代度为 2.75×10^{-2}、3.17×10^{-2} 的辛烯基琥珀酸菊粉酯混合液经 5 次冻融后仍未有水析出，表现出良好的冻融稳定性，结果见表 1 和图 3。

表 1 不同 DS 乳液的冻融稳定性

Table 1 The freeze-thaw stability of the prepared emulsions

乳液	冻融次数	乳化液分离情况
菊粉	1	油水分层清晰
菊粉酯 1（DS1.59×10^{-2}）	2	油水分层，不明显
菊粉酯 2（DS2.75×10^{-2}）	5	未分层、无水析出
菊粉酯 3（DS3.17×10^{-2}）	5	未分层、无水析出

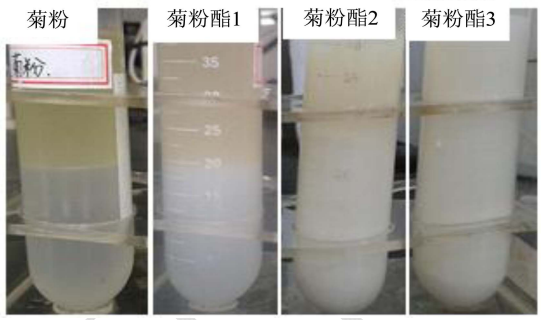


图 3 不同 DS 乳液的冻融稳定性

Fig.3 The freeze-thaw stability of the prepared emulsions

2.1.4 乳液形态显微观察

将菊粉、辛烯基琥珀酸菊粉酯（DS3.17×10^{-2}）和span80的乳状液在显微镜下观察（见图4）。发现加入菊粉的油水混合物经旋涡混合器乳化后不能形成均一稳定的乳状液，观察时视野内出现很多油状液滴，液滴不断聚集形成更大的液滴。加入辛烯基琥珀酸菊粉酯的油水混合物形成的乳化效果良好，乳液颗粒在乳液中呈现出较好的分散性，乳液颗粒大小基本一致，没有发生聚集。而span80乳状液分散性好，乳液颗粒略小于辛烯基琥珀酸菊粉酯的乳液颗粒，但视野内可见聚集的大颗粒团。

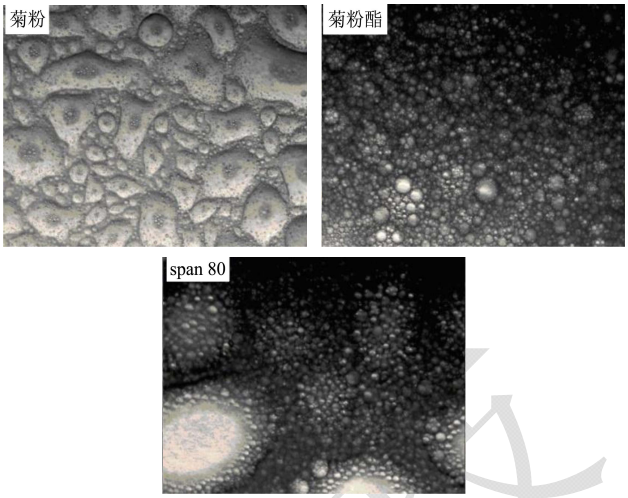


图 4 不同乳状液的显微镜图片（×100 倍）

Fig.4 Microscope images of different emulsifier emulsions

2.2 抑制霉菌性能测定

2.2.1 最小抑菌浓度（MIC）

经试验测定，辛烯基琥珀酸菊粉酯对扩展青霉、黑曲霉和黑根霉的 MIC 分别为 1.00%、4.00%和 2.00%。

2.2.2 不同浓度辛烯基琥珀酸菊粉酯对霉菌菌丝生长的抑制作用

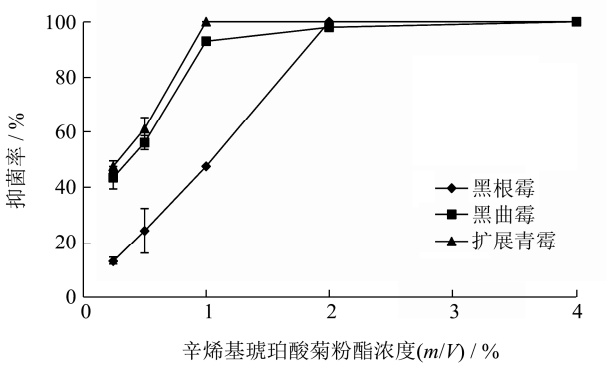


图 5 浓度对菌丝生长抑制作用的影响

Fig.5 Effect of concentrations of OSA-In on the inhibition of hyphae growth

试验结果表明不同浓度的菊粉对扩展青霉、黑曲霉和黑根霉均无抑制作用，这与 Ren 等[6]、Guo 等[11]试验结果一致。辛烯基琥珀酸菊粉酯对这三种霉菌有抑制作用，且抑制作用随浓度的增加而增大（见图 5）。在低于 MIC 浓度时，相同浓度的辛烯基琥珀酸菊粉酯对扩展青霉的抑制作用最强，其次是黑曲霉，对黑根霉的抑制作用最弱；0.5%的辛烯基琥珀酸菊粉酯对这三种霉菌的抑菌率分别为 61.4%、56.1%和 24.1%。辛烯基琥珀酸菊粉酯对这三种霉菌的抑制作用可能是由于菊粉经改性后引入的辛烯基琥珀酸基团中的羧基能够与这三种霉菌细胞壁相互作用，从而在细胞周围形

成阻隔层，阻碍营养物质向胞内运输[6]；而其亲脂性侧链在细胞中作用的靶目标是细胞膜，主要引起细胞膜流动性和透性增加，导致细胞内容物溢出，从而抑制其生长[7,12]。

2.2.3 不同浓度辛烯基琥珀酸菊粉酯对孢子萌发的影响

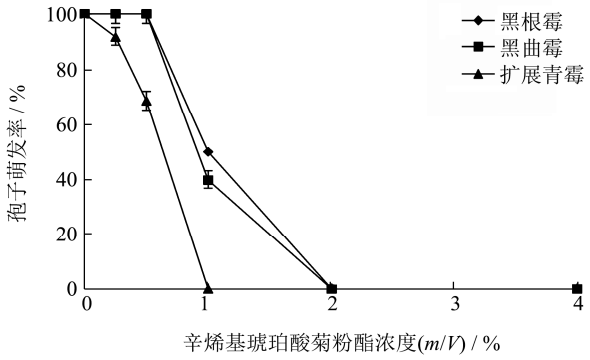


图 6 浓度对孢子萌发率的影响

Fig.6 Effect of concentrations of OSA-In on spore germination rate

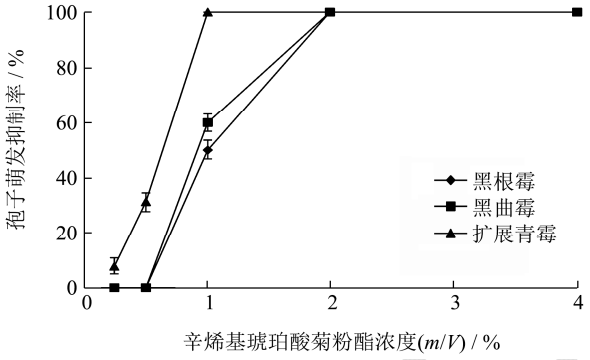


图 7 浓度对孢子萌发抑制率的影响

Fig.7 Effect of concentrations of OSA-In on inhibition rate of germination

添加不同浓度菊粉的对照试验中，扩展青霉、黑曲霉和黑根霉的孢子萌发率均为 100%。而添加辛烯基琥珀酸菊粉酯的试验中，扩展青霉、黑曲霉和黑根霉的孢子萌发率随着菊粉酯浓度增加均降低。当辛烯基琥珀酸菊粉酯浓度为 1.00%时，扩展青霉孢子萌发率为 0；而浓度为 2.00%时，黑曲霉和黑根霉孢子萌发率降为 0（见图 6）。

由图 7 可见，0.25%和 0.50%辛烯基琥珀酸菊粉酯对黑曲霉和黑根霉的孢子萌发没有抑制作用，其它浓度辛烯基琥珀酸菊粉酯对三种霉菌的孢子萌发均有抑制作用，且随着浓度的增加抑制率增大。这与辛烯基琥珀酸菊粉酯对菌丝生长的抑制是一致的，是由于菊粉酯上的亲脂性侧链使霉菌孢子细胞膜的透性增加，从而导致萌发率降低[12]。在低于 MIC 浓度时，由于三种霉菌自身孢子萌发的能力不同，相同浓度的辛烯基琥珀酸菊粉酯对扩展青霉孢子萌发的抑制作用最强，其次是黑曲霉，对黑根霉的抑制作用最弱。

2.2.4 不同浓度辛烯基琥珀酸菊粉酯对芽管伸长的影响

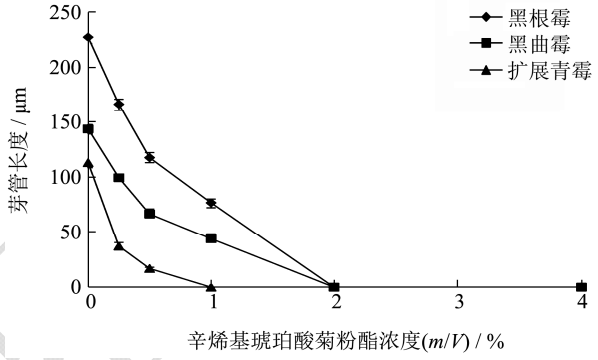


图 8 浓度对芽管长度的影响

Fig.8 Effect of concentrations of OSA-In on germ tube length

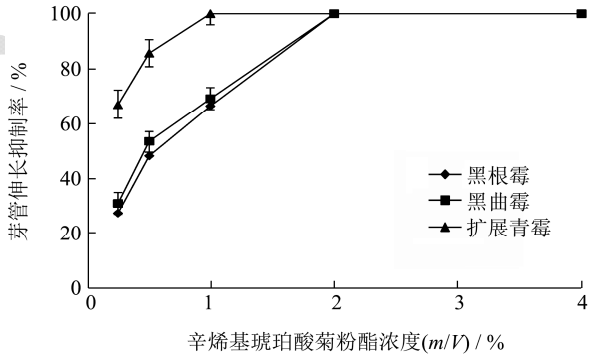


图 9 浓度对芽管伸长抑制率的影响

Fig.9 Effect of concentrations of OSA-In on the inhibition of germ tube elongation

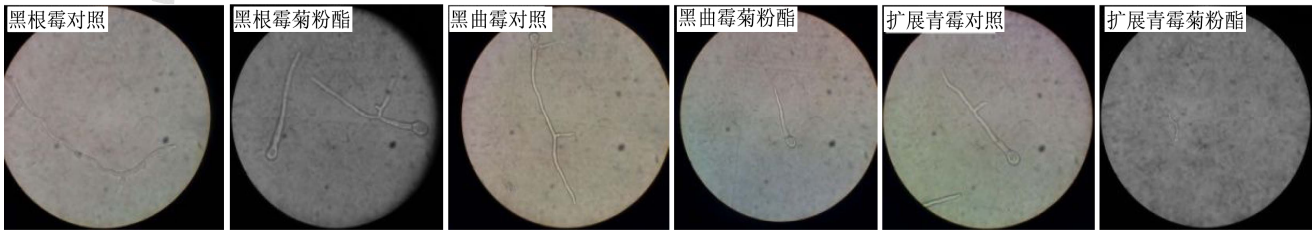


图10 三种霉菌的芽管显微镜图片（×400倍）

Fig.10 Microscope images of three kinds of fungal germ tubes

添加不同浓度的菊粉对扩展青霉、黑曲霉和黑根霉芽管伸长均无影响。从图 8、图 9 可看出，辛烯基琥珀酸菊粉酯对扩展青霉、黑曲霉和黑根霉的芽管长度均具有明显的抑制作用。随着菊粉酯浓度变大，疏水性辛烯基基团和亲水性羧基基团增多，其对菌体细胞壁、细胞膜的完整性破坏增大，从而使得芽管伸长抑制率增大。浓度为 0.50%时，辛烯基琥珀酸菊粉酯对三种霉菌的芽管伸长的抑制率分别为 85.81%，53.37%和 48.34%。低于 MIC 浓度时，相同浓度的辛烯基琥珀酸菊粉酯对扩展青霉芽管伸长的抑制作用最强，其次是黑曲霉，对黑根霉的抑制作用最弱。

在显微镜下观察辛烯基琥珀酸菊粉酯对芽管长度的影响，由图 10 对比可看出添加 0.50%辛烯基琥珀酸菊粉酯后，三种霉菌的芽管长度明显减小，扩展青霉减小尤为显著，芽管仅有 16 μm 左右。对照中，三种霉菌芽管均发现明显的菌丝分枝，尤其是黑根霉分枝明显；而添加 0.50%辛烯基琥珀酸菊粉酯时，仅有黑根霉菌丝上有短分枝，黑曲霉和扩展青霉的短芽管上均未观察到分枝。

3 结论

3.1 菊粉经辛烯基琥珀酸酐(OSA)改性后具有良好的乳化能力，且其乳化能力随着取代度（DS）和添加量的增大而逐渐变强。当辛烯基琥珀酸菊粉酯DS为3.17×10^{-2}、浓度大于2.50%时形成的乳液微结构呈现出较好的分散性，乳液颗粒大小一致，不发生聚集，且乳液具有良好的冻融稳定性。

3.2 辛烯基琥珀酸菊粉酯对扩展青霉、黑曲霉和黑根霉均有抑制作用，MIC 分别为 1.00%、4.00%和 2.00%。随浓度增加，辛烯基琥珀酸菊粉酯对扩展青霉、黑曲霉和黑根霉的菌丝生长、孢子萌发和芽管伸长的抑制作用增强。低于 MIC 浓度时，辛烯基琥珀酸菊粉酯对扩展青霉菌丝生长、孢子萌发和芽管伸长的抑制作用最强，其次是黑曲霉，对黑根霉的抑制作用最弱。

参考文献

[1] 梅丛笑,方元超.天然食品配料-菊粉[J].中国食品添加剂,2000,1:25-27
MEI Cong-xiao, FANG Yuan-chao. Natural food ingredient-inulin [J].China Food Additives, 2000, 1: 25-27

[2] Stevens C, Meriggi A, Peristeropoulou M, et al. Polymeric surfactants based on inulin, a polysaccharide extracted from chicory. 1. synthesis and interfacial properties [J]. Biomacromolecules, 2001, 2(4): 1256-1259

[3] Tadros T F, Vandamme A, Levecke B, et al. Stabilization of emulsions using polymeric surfactants based on inulin [J]. Advances in Colloid and Interface Science, 2004, 108-109(10): 207-226

[4] 栗衍华,谭成玉,王秀武,等.菊粉硫酸酯的制备及其抑真菌活性研究[J].中国生化药物杂志.2007,28(1):14-16
LI Yan-hua, TAN Cheng-yu, WANG Xiu-wu, et al. Study on preparation and anti-fungus activity of inulin sulfate [J]. Chinese Journal of Biochemical Pharmaceutics, 2007, 28(1): 14-16

[5] 胡云霞,李琬聪,周婷婷,等.1,2,3-三氮唑桥连水杨醛类席夫碱菊糖衍生物的合成及抑菌活性研究[J].化学与生物工程,2014,8:27-30
HU Yun-xia, LI Wan-cong, ZHOU Ting-ting, et al. Synthesis and antifungal activity of 1, 2, 3-triazole bridge-connected salicylaldehyde schiff Base inulin derivatives [J]. Chemistry & Bioengineering, 2014, 8: 27-30

[6] Ren J M, Wang P B, Dong F, et al. Synthesis and antifungal properties of 6-amino-6-deoxyinulin, a kind of precursors for facile chemical modifications of inulin [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87(2): 1744-1748.

[7] Zhang X Y, Zhang Y W, Zhang H Y, et al. Preparation, characterization and antibacterial activity of octenyl succinic anhydride modified inulin [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 78: 79-86

[8] 马勇,毕海燕,王红雨.壳聚糖对植物油的乳化性能研究[J].食品工业科技,2004,25(9):65
MA Yong, BI Hai-yan, WANG Hong-yu. Study on emulsifying capacity of chitosan [J]. Science and Technology of Food Industry, 2004, 25(9): 65

[9] 姜绍通,黄静,潘丽军.糯玉米淀粉羧甲基化变性及其在食品中的应用研究[J].食品科学,2003,24(10):24
JIANG Shao-tong, HUANG Jing, PAN Li-jun. Study on the modification of waxy corn starch by using chloroactic acid and the application of food industry [J]. Food Science, 2003, 24(10): 24

[10] 冯永巍,夏文水,张威.壳聚糖山梨酸酯的合成、表征及抑菌活性研究[J].食品与发酵工业,2011,37(3):1-5
FENG Yong-wei, XIA Wen-shui, ZHANG Wei. Synthesis, characterization and antimicrobial activity of chitosan sorbate [J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(3): 1-5

[11] Guo Z Y, Li Q, Wang G, et al. Synthesis, characterization, and antifungal activity of novel inulin derivatives with chlorinated benzene [J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 99: 469-473

[12] Ramachandran S, Fontanille P, Pandey A, et al. Permeabilization and inhibition of the germination of spores

of *Aspergillus* Niger for gluconic acid production from glucose [J]. Bioresource Technology, 2008, 99: 4559-4565

现代食品科技