

ASLT 法研究复合精油微胶囊对大米保鲜效果

邓靖^{1,2}, 李文^{1,2}, 林亲录¹, 张静², 熊婷², 刘美军²

(1. 稻谷及副产物深加工国家工程实验室, 中南林业科技大学, 湖南长沙 410004)

(2. 湖南工业大学包装与材料工程学院, 湖南株洲 412007)

摘要: 采用共沉淀法制备壁材为 β -环糊精, 芯材为对大米病原菌黄曲霉有高抑菌性的大蒜精油与肉桂精油复合精油的微胶囊保鲜剂; 将微胶囊用无纺布包装成小袋置于大米 PE 包装袋中, 采用加速货架期试验, 根据大米脂肪酸值的变化评价其保鲜效果, 并预测大米货架寿命; 同时分析大米感官评分与脂肪酸值的相关性, 为快速判断大米质量提供参考。结果表明: 大蒜精油和肉桂精油对黄曲霉抑制效果显著, 复合精油以大蒜精油:肉桂精油为 1:3 组成; SEM 表征分析微胶囊呈不规则形状, 复合精油微胶囊处理的大米脂肪酸值的变化速度明显低于对照组, 预测复合精油微胶囊处理的大米在室温 (25 °C) 的货架寿命为 415 d, 而对照组大米货架寿命仅为 122 d; 大米感官评分与脂肪酸值变化具有一定的相关性。

关键词: 大米; 复合精油微胶囊; 加速货架期试验; 脂肪酸值

文章编号: 1673-9078(2017)3-196-202

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.3.030

Effect of Compound Essential Oil Microcapsule on the Preservation of Rice by Accelerated Shelf Life Testing

DENG Jing^{1,2}, LI Wen^{1,2}, LIN Qin-lu¹, ZHANG Jing², XIONG Ting², LIU Mei-jun²

(1.National Engineering Laboratory for Rice and By-product Deep Processing, Center South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China) (2.College of Packaging and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China)

Abstract: The microcapsule preservative was prepared using the co-precipitation method with β -cyclodextrin as the wall material and the compound essential oil (garlic oil/cinnamon oil), which inhibits rice pathogen *Aspergillus flavus*, as the filling material. The microcapsule preservative was packed in small non-woven bags and put into polyethylene (PE) bags containing rice. The fresh-keeping effect of microcapsules on rice was evaluated through the change in the fatty acid value of rice by accelerated shelf life testing (ASLT), and the shelf life of rice was predicted. Additionally, the correlation between sensory evaluation and the fatty acid value of rice was analyzed, providing a reference for a rapid determination of rice quality. The results showed that garlic oil and cinnamon oil have a strong antifungal effect on *Aspergillus flavus*, and the highest antifungal effect of the compound essential oil was achieved at a garlic oil to cinnamon oil ratio of 1:3. Scanning electron microscopy (SEM) characterization analysis showed that the microcapsules were irregularly shaped, and the rate of change in the fatty acid value of rice with the compound essential oil microcapsule was slower than that of the control group. The predicted shelf life of rice with the compound essential oil microcapsule was 415 d at 25 °C, and that of the control group was only 122 d. There was a correlation between sensory evaluation and the fatty acid value of rice.

Key words: rice; compound essential oil microcapsule; accelerated shelf life testing; fatty acid value

稻米是地球上最主要的粮食作物之一, 是世界上 1/2 以上人口的主要食粮, 中国是世界上 100 多个水

收稿日期: 2016-04-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31501538); 中国博士后科学基金面上资助 (2015M580707, 2016M592456); 湖南省优秀博士后项目 (2015RS4047); 湖南省教育厅优秀青年项目 (14B050); 中国博士后科学基金特别资助 (2016T90769)

作者简介: 邓靖 (1979-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品贮藏

通讯作者: 林亲录 (1966-), 男, 博士后, 教授, 研究方向: 粮食深加工

稻生产国中的“稻米王国”。而据联合国粮农组织统计 (2006), 全世界每年有 15%~16% 的大米因收获后储藏和加工不当而导致损失。我国稻谷产后因虫蛀、霉变造成的储粮损失约占总储备量的 2.0%。由于储粮基数大, 因此稻谷产后损失极为巨大。如何采用科学有效的措施控制粮食产后损耗, 提高粮食质量, 具有重要的现实意义。

国内外学者一致认为, 低温储藏法是大米储藏较优方法之一, 10 °C 以下可完全抑制害虫繁殖, 霉菌停

止活动,大米呼吸酶的活性均极微弱,可以保持大米的新鲜程度。Kim等^[1]研制了一种容量为10 t的自然干燥低温贮藏装置,室温下对收获后的稻谷进行自然通风处理,随后在15℃下进行贮藏。对贮藏期间稻谷发芽率、水分含量、破碎率和脂肪酸度测定结果表明稻谷贮藏期间(一年)品质良好。但是专用制冷设备成本高、创造恒温恒湿的环境,需要较高的成本支出,因此机械制冷储藏技术尚未普及。Aziz等^[2]研究了⁶⁰Co γ 光子照射对四种主要谷物中病原微生物的影响,结果表明,当照射剂量为10 kGy时,谷物中的需氧微生物的量降低3个对数级,大肠菌群和凝固酶阳性葡萄球菌在照射剂量为1 kGy时被抑制,而剂量为5 kGy时霉菌生长被抑制。15 kGy可以消灭谷物中可见微生物,仅有10~30 CFU梭菌属尚存。同时,11~32 kGy的辐照剂量,大米的微观性结构产生影响^[3,4]。Carvalho等^[5]报道了在葡萄牙通过采用高浓度CO₂的气调来控制大米中玉米象和米象的方法。结果表明90~95% CO₂和0.7~2.1% O₂可以完全控制玉米象和米象的产生。Zhang等^[6]采用0.06 mm PA/PE膜包装大米,调节气体浓度为60% CO₂和40% N₂,可有效避免大米在贮藏期间的水分流失,延缓大米陈化。Cao等^[7]采用大帐气调包装(5% O₂、5% CO₂)有效抑制大米游离脂肪酸的增加和脂氧合酶的活性。Yan等^[8]采用尼龙(15 μ m)/PE(95 μ m)复合膜包装留胚米,真空包装留胚米的过氧化值增长较为缓慢,非真空包装的过氧化值较快的增至10.22 meq/kg。气调包装和真空包装虽然能在一定程度上有效延长大米的储藏期,但贮藏成本比较高,不适宜大规模推广。保鲜剂保鲜是一种较为传统的大米保鲜方式,其主要优势在于成本低廉,使用方便^[9],化学保鲜剂如磷化铝、磷化氢多年来一直用于大米的防霉防虫^[10]。但随着人们食品安全意识的不断提高,化学保鲜剂带来的化学残留、环境污染和危害人体健康等问题逐渐引起人们的关注,相关学者越来越倾向于寻求天然、高效及安全的大米保鲜剂,尝试将天然植物精油或提取物应用于大米的保鲜。本论文以高抑菌性的植物精油为保鲜成分,针对精油的易挥发特点结合大米贮藏特性,对精油进行微胶囊化,将精油微胶囊制成小包装放入大米包装袋内,并采用加速货架期试验研究其对大米贮藏过程中与微生物变化直接相关的体现大米品质变化的指标脂肪酸值的影响,同时预测精油微胶囊处理大米的货架寿命。旨在为大米贮藏保鲜提供参考。

1 材料与方法

1.1 主要材料

丁香、肉桂、生姜、大蒜、孜然和八角茴香等6种精油购于雪麦龙香精香料有限公司;PDA培养基:去皮马铃薯200 g,葡萄糖20 g,琼脂15~20 g,蒸馏水1000 mL,自然pH; β -环糊精,天津市博迪化工有限公司;邻苯二甲酸氢钾和氢氧化钾为分析纯;大米,市购。

1.2 主要仪器设备

CP214型电子天平,奥豪斯仪器(上海)有限公司;HT402恒温恒湿箱,无锡伯乐达实验设备有限公司;SW-CJ-2FD型超净工作台,苏州苏净化设备有限公司;250D型光照培养箱,金坛市医疗仪器厂;LDZM-40CS型立式压力蒸汽灭菌器,上海审安医疗器械厂;XMTD-204型恒温水浴锅,金坛市瑞华仪器有限公司;JVB-3型变频调速搅拌机,中南大学自动化技术开发公司;SHZ-D型循环水式真空泵,巩义市华有限公司;UV2900型紫外可见分光光度计,上海舜宇恒平科学仪器有限公司。

1.3 试验方案

1.3.1 复合精油筛选

采用抑菌圈直径法^[11]对大米病原菌黄曲霉高抑菌性精油进行筛选。先对大蒜、生姜、丁香、肉桂、孜然和八角茴香6种精油各自对黄曲霉的抑菌性进行研究,再选出抑菌性高的2种精油按不同比例进行复配,选出复合精油。

1.3.2 复合精油微胶囊制备

以复合精油为芯材, β -环糊精为壁材,采用共沉淀法根据邓靖等^[12]方法制备微胶囊。并对微胶囊进行表征和抗菌性分析。

1.3.3 微胶囊对大米保鲜效果的研究

由于大米在正常情况下发生品质变化所需的时间较长,本论文采用高温加速货架期试验来研究复合精油微胶囊对大米的保鲜效果。称取250 g大米,装于PE袋中,将3 g复合精油微胶囊用无纺布袋封装成小袋,放入PE袋内,将PE袋热封后分别放置于温度为65℃和75℃,RH 90%的恒温恒湿箱中进行保鲜试验,并以未放置微胶囊的大米为对照,每个处理做多个平行试验,每隔10 d对大米脂肪酸值进行测定,根据脂肪酸值判定大米的寿命终点;同时对此时的大米进行感官品质评价,判断复合精油环糊精微胶囊对大米的保鲜效果;并根据大米在65℃和75℃的货架寿

命,通过公式计算出大米在室温(25℃)条件下贮藏时的货架寿命。

1.4 指标测定

1.4.1 脂肪酸含量的测定

根据王春莲^[13]的方法对大米中的脂肪酸含量进行测定。

1.4.2 大米感官品质评价

色泽、气味和口感为大米的感官评价因素,10名评定员对大米进行感官品质评价。根据曲春阳^[14]的方法,先确定大米感官评价因素的权重集 $A=(a_{\text{色泽}}、a_{\text{气味}}、a_{\text{口感}})$;然后建立感官质量评语集 $V=(V_1、V_2、V_3、V_4、V_5)=(0、40、60、80、100)$,感官质量评价标准见表1;建立多因素评价矩阵 R ,模糊变换 $B=AR=(b_1、b_2、b_3、b_4、b_5)$;最后,根据感官质量评语集 V 转换得到感官评定总分 T 。

表1 大米感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standard for rice

	100分	80分	60分	40分	0分
色泽	呈精白色,具有光泽	呈清白色,半透明状	呈白色,透明度差	呈微淡黄色,不透明	霉变的米粒色泽差,表面呈绿色、黄色、灰褐色、黑色等
气味	具有正常的香气味,无其他异味	没有异味	微有异味	有明显异味	有霉变气味、酸臭味、腐败味及其他异味
口感	味佳,微甜,无任何异味	乏味,没有其他异味	微有异味	有不良异味	有酸味、苦味及其他不良滋味

1.4.3 Q_{10} 及货架期的测定

通过对大米水分含量、脂肪酸值的变化,确定大米在65℃和75℃时的加速货架期寿命,再根据 Q_{10} 推算大米的货架期,以此评定复合精油微胶囊是否对大米具有保鲜效果。

Q_{10} 计算公式如计算公式(1)所示。

$$Q_{10} = \frac{\theta_{s(T)}}{\theta_{s(T+10)}} \quad (1)$$

式中: $\theta_{s(T)}$ 表示温度为T℃时的货架期; $\theta_{s(T+10)}$ 表示温度为T+10℃时的货架期。

大米货架期的预算公式如计算公式(2)所示。

$$Q_{10}^{(T_0-T)/10} = \frac{\theta_{s(T)}}{\theta_{s(T_0)}} \quad (2)$$

式中: $\theta_{s(T)}$ 表示常温T℃的大米货架期; $\theta_{s(T_0)}$ 表示加速试验 T_0 ℃的大米货架期。

1.4.4 数据统计分析

分析采用SPSS统计软件,试验数据以平均数表示。

2 结果与讨论

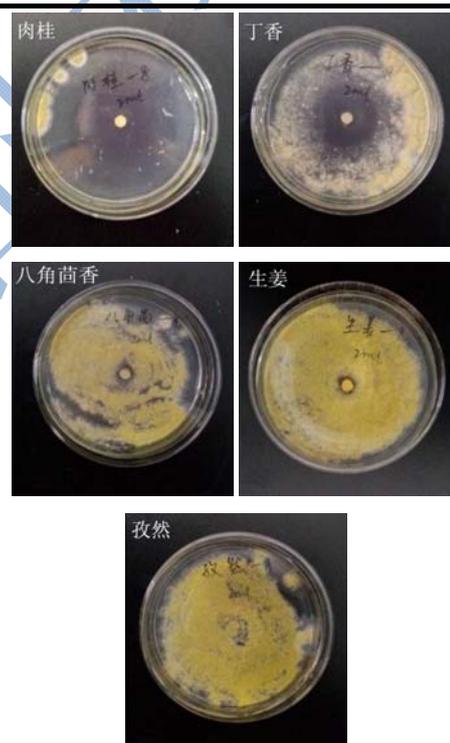
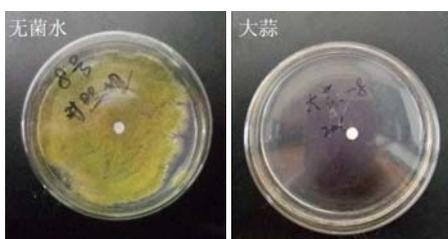


图1 各种精油对黄曲霉的抑菌圈直径图

Fig.1 Inhibition zone diameters of essential oils against *Aspergillus flavus*

2.1 复合植物精油筛选结果

6种植物精油对黄曲霉的抑菌圈直径结果见图1。从图1可以看出:大蒜精油、肉桂精油和丁香精油对黄曲霉有较好的抑制效果,而八角茴香精油、生姜精油和孜然精油作用的平板上没有明显的抑菌圈,对黄曲霉的抑制效果不明显。大蒜精油、肉桂精油和丁香

精油中以大蒜精油效果最好, 平板上未见黄曲霉的生长, 肉桂精油次之, 只在平板边缘有少量的菌生长, 丁香精油作用的平板可看到很明显的抑菌圈; 由于抑菌效果最好的大蒜精油价格较高, 同时大蒜精油有很浓的大蒜味, 而肉桂精油的抑菌效果也很不错, 且价格相对便宜, 气味相对柔和, 同时, 精油之间可能还存在一定的协同抑菌作用。因此考虑将两者以一定的比例复合, 研究复合精油对黄曲霉的抑制作用, 其结果见图 2。

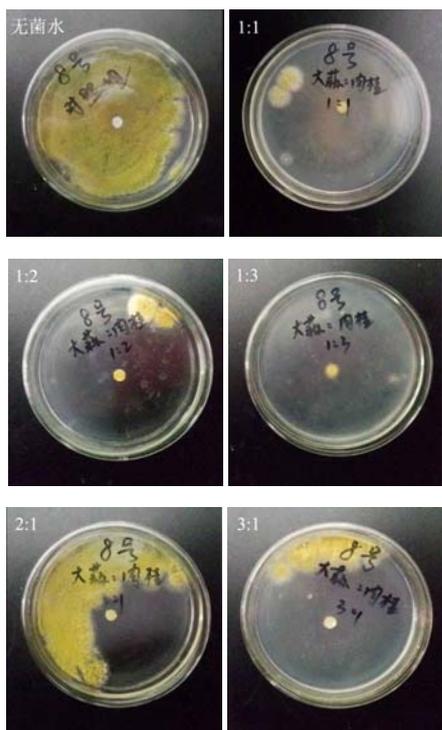


图 2 不同比例大蒜精油/肉桂精油对黄曲霉的抑菌圈直径图
Fig.2 Inhibition zone diameters of different ratios of garlic and cinnamon essential oil against *Aspergillus flavus*

从图 2 可以看出: 不同比例的复合精油对黄曲霉的抑制效果存在差异, 当大蒜精油/肉桂精油为 1:1、1:2 和 3:1 时平板边缘有少量的黄曲霉生长, 当大蒜精油/肉桂精油为 1:3 时, 平板上未见菌生长, 而当大蒜精油/肉桂精油为 2:1 时, 平板上可见较多菌生长。这说明 2 种高抑菌性的精油复合时存在协同作用, 同时也存在拮抗作用, 复合后抑菌性反而没有单精油时好; 结果同时也表明抑菌性好的单精油与其他精油复合时, 也并不是它所占的比例越高抑菌效果越好, 其复合比例要通过试验选择。根据图 2 的结果, 论文中最终确定将大蒜精油与肉桂精油以 1:3 复合进行后续试验。

2.2 复合精油微胶囊表征与抑菌性分析

采用 SEM 观察了 β -CD 及微胶囊的固体或晶体形

态, 如图 3 所示。 β -CD 晶体本身是平行四边形或菱形, 而 β -CD 与复合精油形成的微胶囊晶体形态发生了变化, β -CD 晶形基本消失, 表明了微胶囊确实已经生成。SEM 结果同时显示所制备的微胶囊粒子易于聚集。

β -CD 和复合精油微胶囊的 TG 曲线见图 4。从图 4 可以看出, β -CD 在 100 °C 之前发生第 1 次失重, 这可以解释为 β -CD 空穴中的水开始释放出来; 第 2 次失重开始于温度为 302 °C 左右, 这是由于 β -CD 发生分解。而在第 1 次和第 2 次发生失重的温度区间内 β -CD 的热重行为都没有明显的变化。而复合精油微胶囊在 280 (左右) 之前缓慢失重, 这说明 β -CD 空穴中结晶水的位置已部分为复合精油占据, 复合精油缓慢的从 β -CD 中释放, 在 280 °C (左右) 时开始快速失重。

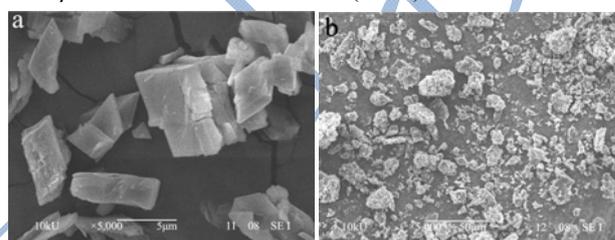


图 3 复合精油 β -CD 体系 (a) 和微胶囊 (b) 的扫描电镜图
Fig.3 SEM micrographs of β -CD (a) and the microcapsule (b)

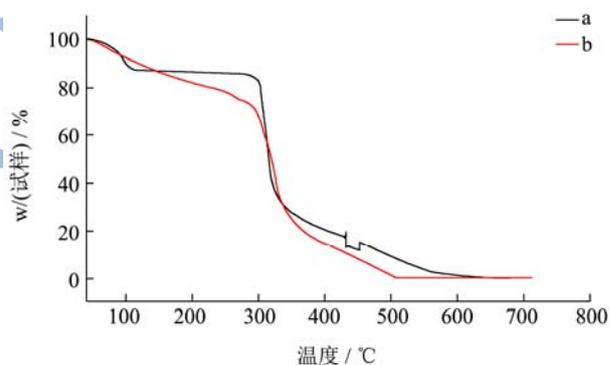


图 4 β -CD 体系 (a) 和微胶囊 (b) TG 曲线

Fig.4 TG curves of β -CD (a) and the microcapsule (b)

表 2 显示了复合精油及复合精油微胶囊在空气中放置不同的时间与病原微生物接触不同的时间后对病原微生物的抑菌效果。从表 1 可以看出: 复合精油和复合精油微胶囊都具有抑菌性, 并且随着抗菌剂与病原菌接触时间的延长, 抗菌剂的抑菌率逐渐增加。同时, 随着复合精油和微胶囊在空气中放置时间的延长, 其抑菌性均有所降低, 但复合精油的抑菌率变化明显, 而微胶囊抑菌性变化相对较慢, 而且长时间与病原微生物接触的微胶囊的抑菌率变化并不明显。这就说明微胶囊化后的复合精油具有很好的缓释抑菌效果, 长时间的将微胶囊与病原菌接触, 抑菌效果更明显。

表2 复合精油及微胶囊在空气中放置不同时间后的抑菌率结果

Table 2 The bacteriostatic rate results of compound essential oil and microcapsule exposed to the air for different time (%)

放置时间/d	处理时间/min									
	0		30		60		120		180	
	精油	微胶囊	精油	微胶囊	精油	微胶囊	精油	微胶囊	精油	微胶囊
1	63.2	72.5	89.6	89.2	92.3	90.3	95.4	99.9	98.5	99.9
7	50.1	69.3	53.2	86.4	56.7	87.3	62.1	98.5	88.3	99.9
14	35.2	62.4	49.8	88.5	51.2	93.8	59.4	97.4	61.1	99.9
21	25.7	56.1	30.7	81.6	39.7	90.6	42.4	92.4	50.1	97.6
28	18.2	50.2	20.1	80.0	30.1	85.3	33.8	91.2	40.9	93.5
35	/	/	/	62.5	25.1	75.3	30.3	86.7	35.9	90.7

2.3 复合精油微胶囊对大米脂肪酸含量的影响

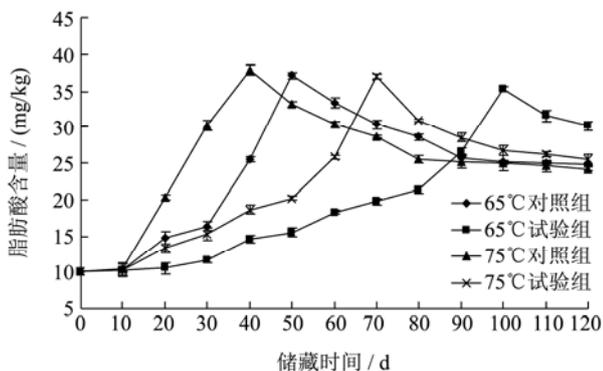


图5 大米在 65 °C 和 75 °C 条件下的脂肪酸含量变化

Fig.5 Change in the fatty acid value of rice at 65 °C and 75 °C

脂肪酸值的升高是大米储藏品质发生劣变的重要标志。由于病原微生物的生长产生的脂肪酶加速大米脂类的分解，从而使脂肪酸值上升，而后微生物继续生长又消耗脂肪酸使得脂肪酸值呈现下降趋势。因此，一般认为脂肪酸值达到峰值的时间为大米的货架寿命终点。复合精油微胶囊处理的大米在在 65 °C 和 75 °C 加速试验条件下脂肪酸值的变化情况见图 5。从图 5 可以看出，在 65 °C 加速试验条件下，对照组大米在第 50 d 达到峰值 0.3715 mg KOH/g；试验组大米的脂肪酸含量在第 100 d 达到峰值 0.3527 mg KOH/g；在 75 °C 加速试验条件下，对照组大米在第 40 d 达到峰值 0.3787 mg KOH/g；试验组大米的脂肪酸含量在第 70 d 达到峰值 0.3698 mg KOH/g。因此温度为 65 °C 时对照组的货架寿命为 50 d，试验组的货架期为 100 d，温度为 75 °C 时对照组的货架寿命为 40 d，试验组的货架期为 70 d。

2.4 大米的货架期预测

通过脂肪酸值测定结果可知，在 65 °C 加速试验条件下，对照组大米货架寿命为 50 d，试验组大米货架寿命为 100 d。在 75 °C 加速试验条件下，对照组大米货架寿命为 40 d，试验组大米货架寿命为 70 d。根据公式 (1) 可知：

$$Q_{10(\text{对照组})} = \frac{\theta_{s(T)}}{\theta_{s(T+10)}} = \frac{50}{40} = 1.25$$

$$Q_{10(\text{试验组})} = \frac{\theta_{s(T)}}{\theta_{s(T+10)}} = \frac{100}{70} = 1.43$$

根据公式 (2)，可得到：

$$\theta_s(T) = Q_{10}^{(T_0-T)/10} \times \theta_s(T_0),$$

由此可推算在 25 °C 时：

$$\theta_{s(25)(\text{对照组})} = 1.25^{(75-25)/10} \times 40 = 122;$$

$$\theta_{s(25)(\text{试验组})} = 1.43^{(75-25)/10} \times 70 = 415.$$

即，在 25 °C 时，对照组大米的预估货架期为 122 d，试验组大米的预估货架期为 415 d。大米货架期的预测结果表明，试验组预估大米货架期明显比对照组大米预估货架期长，复合精油微胶囊可以延长大米的货架期，对大米具有良好的保鲜效果。

2.5 复合精油微胶囊对大米感官评价的影响

为了探索是否可以根据大米感官判别大米的贮藏品质，也就是探索大米感官与脂肪酸值等生理指标的相关性，同时探究复合精油微胶囊对大米感官品质的影响，论文对加速试验 30 d 的对照组、试验组大米进行了感官评价。

(1) 建立权重集

由 10 位名评委对大米感官质量的三个因素：香味、色泽和口感进行评判打分，按 1~5 分由低到高进行权重打分，如表 3 所示。将各因素总分除以总分数之和即得到权重系数集 A， $a_{\text{气味}}=0.320$ ， $a_{\text{色泽}}=0.303$ ， $a_{\text{口感}}=0.377$ ，则 $A=(0.320, 0.303, 0.377)$ 。

表3 大米感官评定权重系数打分统计表

Table 3 Weight coefficient of the sensory evaluation of rice

	评委										总分
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
气味	4	4	3	4	5	4	3	5	3	4	39
色泽	5	4	3	4	3	3	3	4	5	3	37
口感	5	5	4	4	5	4	5	5	5	4	46

(2) 建多因素评价矩阵

10位评价人员根据感官评价标准从大米气味、色泽和口感3个因素分别对65℃加速试验条件下对照组、试验组大米和75℃加速试验条件下对照组、试验组大米进行感官评价。结果如表3所示。统计每个等

级的人数比例，建立R矩阵，R矩阵中的3行数据分别代表着气味、色泽和口感在每个评价等级所对应的人数比例。根据表2得到对应的因素评价矩阵R₁、R₂、R₃和R₄。

表4 大米感官评价结果

Table 4 Results of sensory evaluation of the rice

	气味					色泽					口感				
	0	40	60	80	100	0	40	60	80	100	0	40	60	80	100
1*	0	1	4	3	2	0	1	4	4	1	0	1	2	4	3
2*	1	2	3	3	1	1	2	2	3	2	1	1	3	3	2
3*	1	1	3	3	2	1	1	3	4	1	0	1	4	3	2
4*	1	2	4	2	1	1	3	3	2	1	1	2	3	2	2

注：“1*”表示65℃试验组；“2*”表示65℃对照组；“3*”表示75℃试验组；“4*”表示75℃对照组。

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.0 & 0.1 & 0.4 & 0.3 & 0.2 \\ 0.0 & 0.1 & 0.4 & 0.4 & 0.1 \\ 0.0 & 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.3 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.2 \\ 0.1 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.2 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.2 \\ 0.1 & 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.1 \\ 0.0 & 0.1 & 0.4 & 0.3 & 0.2 \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix}$$

$$T_2 = 0.1000 \times 0 + 0.1623 \times 40 + 0.2697 \times 60 + 0.3000 \times 80 + 0.1680 \times 100 = 63.47;$$

$$T_3 = 0.0623 \times 0 + 0.1000 \times 40 + 0.3377 \times 60 + 0.3303 \times 80 + 0.1697 \times 100 = 67.66;$$

$$T_4 = 0.1000 \times 0 + 0.2303 \times 40 + 0.3320 \times 60 + 0.2000 \times 80 + 0.1377 \times 100 = 58.90。$$

通过综合感官评价结果表明：4个处理组的感官评定总分T的大小顺序是：65℃试验组(T₁)、75℃试验组(T₃)、65℃对照组(T₂)、75℃对照组(T₄)；而根据2.3的结果大米脂肪酸值变化速度从小到大依次为：65℃试验组、75℃试验组、65℃对照组和75℃对照组。这说明感官评价与脂肪酸值具有一定的相关性，可以通过感官评定结果初步判断大米品质的优劣。同时，结果还表明，65℃条件下试验组感官评价总分T₁高于对照组T₂，同样，75℃条件下试验组感官评价总分T₃高于大米感官得分T₄。即在相同试验条件下，试验组大米感官评价总分均高于对照组。说明复合精油微胶囊对减缓大米感官品质的变化起到很好的作用。

(3) 模糊综合感官评价结果

模糊综合评价矩阵计算，B=AR=(b₁、b₂、b₃、b₄和b₅)，计算得出：

$$B_1 = [0.0000 \quad 0.1000 \quad 0.3246 \quad 0.3680 \quad 0.2074]$$

$$B_2 = [0.1000 \quad 0.1623 \quad 0.2697 \quad 0.3000 \quad 0.1680]$$

$$B_3 = [0.0623 \quad 0.1000 \quad 0.3377 \quad 0.3303 \quad 0.1697]$$

$$B_4 = [0.1000 \quad 0.2303 \quad 0.3320 \quad 0.2000 \quad 0.1377]$$

根据感官质量评语集V=(V₁、V₂、V₃、V₄、V₅)=(0、40、60、80、100)，将实验组和对照组的模糊综合评价转换成感官评定总分T。

$$T_1 = 0.0000 \times 0 + 0.1000 \times 40 + 0.3246 \times 60 + 0.3680 \times 80 + 0.2074 \times 100 = 73.66;$$

3 结论

本论文先以大米病原菌黄曲霉为受试菌，根据抑菌圈直径筛选出高抑菌性复合精油；再以复合精油为芯材，以β-环糊精为壁材制备抗菌微胶囊；然后采用

加速货架期试验, 根据大米脂肪酸值的变化来评价抗菌微胶囊对大米的保鲜效果, 并预测大米在室温(25℃)条件下货架寿命; 同时对大米感官评定与脂肪酸值的相关性以及复合精油微胶囊对大米感官品质的影响进行了探索。主要得到以下结论:

3.1 本课题所选的6种植物精油中大蒜精油、肉桂精油、丁香精油对大米病原菌黄曲霉有明显的抑制作用, 其中以大蒜精油效果最好, 肉桂精油次之。

3.2 大蒜精油与肉桂精油复合时, 大蒜精油与肉桂精油的比例为1:3时抑菌效果最佳。

3.3 通过加速货架期试验, 根据大米脂肪酸值的变化可以看出复合精油微胶囊对大米有很好的保鲜作用, 预测对照组大米在室温下(25℃)条件下货架期为122 d, 而经过复合精油微胶囊处理的大米在室温下(25℃)条件下货架期可达到415 d。说明复合精油微胶囊可以大大的延长大米的贮藏期。

3.4 大米感官评分品质与脂肪酸值存在相关性, 根据大米的感官可初步判断大米的品质。同时复合精油微胶囊对降低大米贮藏过程中感官品质变化有积极作用。

参考文献

- [1] Kim Y K, Choe J S, Yoon H S, et al. Development of a natural air drying and low temperature storage facility for paddy rice [J]. J. Fac. Agr. Kyushu Univ., 2013, 58(1): 61-67
- [2] Aziz N H, Souzan R M, A. Azza S. Effect of g-irradiation on the occurrence of pathogenic microorganisms and nutritive value of four principal cereal grains [J]. Applied Radiation and Isotopes, 2006, 64(12): 1555-1562
- [3] Follett P A, Snook K, Janson A, et al. Irradiation quarantine treatment for control of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) in rice [J]. J. Stored Prod Res., 2013, 52(5): 63-67
- [4] 陈银基, 陈霞, 蒋伟鑫, 等. ^{60}Co - γ 辐照处理对低温储藏糙米品质及微结构的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(11): 2214-2223
CHEN Yin-ji, CHEN Xia, JIANG Wei-xin, et al. Effect of ^{60}Co gamma irradiation on quality and microstructure of storage brown rice [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(11): 2214-2223
- [5] Carvalho MO, Pires I, Barbosa A, et al. The use of modified atmospheres to control *Sitophilus zeamais* and *Sitophilus oryzae* on stored rice in Portugal [J]. J. Stored Prod. Res., 2012, 50(3): 49-56
- [6] Zhang L, Fang R, Sun Z H. Effects of rice quality by modified atmosphere packing with PA/PE composite membrane [J]. Adv. Mater. Res., 2011, 380: 274-277
- [7] Cao D G, Liu X, Li X H. Effect of paddy hermetic plastic tent MAP on free fatty acid property of rice during storage [J]. Adv. Mater. Res, 2011, 282-283: 227-230
- [8] Yan T Y, Chung J H, Rhee C O. The effects of vacuum packaging on the quality of embryo retaining milled rice [J]. Food Sci. Biotechnol, 2004, 13(4): 467-471
- [9] Wang S, Tang J. Radio frequency and microwave alternative treatments for insect control in nuts: a review [J]. Agric. Eng. J., 2001, 10(3 & 4): 105-120
- [10] 周显青, 伦利芳, 张玉荣, 等. 大米储藏与包装的技术研究进展[J]. 粮油食品科技, 2013, 21(2): 71-75
ZHOU Xian-qing, LUN Li-fang, ZHANG Yu-rong, et al. Research progress on rice and packing technology [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2013, 21(2): 71-75
- [11] Duru M E, Cakir A, Kordali S, et al. Chemical composition and antifungal properties of essential oils of three *Pistacia* species [J]. Fitoterapia, 2003, 74(1-2): 170-176
- [12] 邓靖, 谭兴和, 刘婷婷, 等. 肉桂精油- β -环糊精微胶囊的制备[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(2): 89-91, 97
DENG Jing, TAN Xing-he, LIU Ting-ting, et al. Preparation of cinnamon essence oil/ β -cyclodextrin microcapsule [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2011, 26(2): 89-91, 97
- [13] 王春莲. 大米储藏保鲜品质变化研究[D]. 福建: 福建农林大学, 2014
WANG Chun-lian. Quality changes of rice during storage [D]. Fujian: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014
- [14] 曲春阳. 复合精油微胶囊对大米防霉保鲜效果的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012
QU Chun-yang. Research on antifungus and preservation of rice with a compound essential oil [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012