

# 丁香精油微胶囊保鲜剂对大米脂肪酸氧化及微生物的调控

刘香军<sup>1</sup>, 高凯<sup>2</sup>, 高玉敏<sup>1</sup>, 刘霞<sup>1</sup>, 李喜宏<sup>1</sup>, 吴思<sup>1</sup>, 刘大苗<sup>1</sup>

(1. 天津科技大学食品工程与生物技术学院, 天津 300457)

(2. 国家农产品保鲜工程技术研究中心, 天津 300384)

**摘要:** 采用包络结合法和原位聚合法制作了壁材为壳聚糖和  $\beta$ -环糊精, 芯材为丁香精油的微胶囊保鲜剂, 并对微胶囊保鲜剂的表面形态和不同温度 (0 °C、15 °C、30 °C) 条件下的释放速率进行了测定; 在 0 °C、15 °C、30 °C 温度条件下, 分别对大米作添加保鲜剂 (0.2 g) 和不加保鲜剂的对照处理, 并定期测定与大米脂肪酸氧化和微生物相关的品质指标。结果表明: SEM 表征分析微胶囊呈不规则形状, 并测得该保鲜剂释放速度大小为: 30 °C > 15 °C > 0 °C, 并且该保鲜剂对大米的脂肪酸氧化和微生物的调控效果明显程度从大到小依次为 30 °C > 15 °C > 0 °C, 其中 30 °C 储存 6 个月后, 加保鲜剂的大米 LOX-3 值是对照组的 2.5 倍, 加保鲜剂大米脂肪酸值是对照组的 1.9 倍, 对照组大米总酸度是加保鲜剂的 2.3 倍, 加保鲜剂大米霉菌总数和霉菌总数两者均低于对照组 3 倍之多。因此, 30 °C 条件下, 与对照组相比该保鲜剂对大米脂肪酸氧化和微生物调控作用效果最明显。

**关键词:** 丁香精油; 微囊化; 大米; 保鲜剂

文章编号: 1673-9078(2015)4-115-120

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.4.019

## Regulation of Rice Fatty Acid Oxidation and Microorganisms by Clove Essential Oil Microcapsule Preservative

LIU Xiang-jun<sup>1</sup>, GAO Kai<sup>2</sup>, GAO Yu-min<sup>1</sup>, LIU Xia<sup>1</sup>, LI Xi-hong<sup>1</sup>, WU Si<sup>1</sup>, LIU Da-miao<sup>1</sup>

(1. School of Food engineering and Biological Technology, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China) (2. National Research Center of Agricultural Product Fresh Keeping Engineering And Technology, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** Microcapsule preservative was achieved with  $\beta$ -cyclodextrin and chitosan as the wall material and clove essential oil as the filling material using the envelope method and in-situ polymerization. The surface morphology and release rate of the microcapsule preservative at different temperatures (0, 15, and 30 °C) were tested. Rice was treated with or without the preservative (0.2 g) at 0, 15, and 30 °C to regularly determine quality indices related to rice fatty acid oxidation and microorganisms. SEM characterization analysis showed that the microcapsules were irregular in shape, and the release speeds varied according to the following order 30 > 15 > 0 °C. Moreover, the apparent degrees of regulation by this preservative on rice fatty acid oxidation and microorganisms was as follows: 30 > 15 > 0 °C. After storage for 6 months at 30 °C, the LOX-3 value of rice with this preservative was 2.5 times that of the control group; the fatty acid value of rice with the preservative was 1.9 times that of the control; the total acidity of the control was 2.3 times that of the preservatives; and the total bacteria and total mildew counts in rice with the preservative were more than three times lower than those of the control. Therefore, at 30 °C, this preservative had the most significant regulatory effects on rice fatty acid oxidation and microorganisms.

**Key words:** clove essential oil; microcapsule; rice; preservative

大米在储存期间, 存在着一些物理化学和生理上

收稿日期: 2014-08-19

基金项目: 农业科技成果转化资金项目 (2013GB2A100019); 天津市自然科学基金重点资助项目 (12JJCZJC23400); 天津科技大学实验室开放基金项目 (1314A214)

作者简介: 刘香军 (1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品工程

通讯作者: 高凯 (1976-), 男, 副研究员, 研究方向: 农产品贮藏与加工

的变化, 主要包括大米中微生物的变化、脂肪酸氧化和虫害等, 并且随着这些品质指标的变化大米品质也相应发生了改变<sup>[1]</sup>。其中, 脂肪酸氧化酶 (LOX) 是稻谷中脂肪酸氧化的关键酶, LOX 催化多元不饱和脂肪酸如亚油酸和亚油酸的加氧反应, 产生脂肪的过氧化氢物, 大米的使用品质也发生劣变<sup>[2]</sup>。周新建<sup>[3]</sup>研究了大米随着储藏时间的延长, 霉菌量和脂肪酸值呈

增加的趋势。同时,总酸和细菌总数也是作为衡量大米品质好坏的重要指标。

传统化学保鲜剂因其残留以及微生物的抗药性其使用范围越来越受到限制,推广新型生物保鲜剂及配套技术势在必行。生物保鲜剂凭借其高效、无毒、防腐的特点近些年来在食品领域研究甚热,其主要包括植物源、动物源及微生物源,其中植物源保鲜剂主要包括植物精油、中草药、生物碱、酚类物质和植物多糖等<sup>[4]</sup>。植物精油保鲜剂在使用过程中不改变食品原有的和品质风味,并且植物精油具有广谱抗菌性、绿色、无毒、高效等特点,尤其是丁香精油具有广谱抗菌防霉性和防止稻谷陈化性的优点<sup>[5-6]</sup>。但是,植物精油在室温下具有极强的挥发性,极易发生氧化分解影响精油品质及使用效果,因此,将丁香精油制成微胶囊提高其稳定性,增加其缓释功能应用在稻谷的保鲜领域具有重要的研究意义。

不同的贮藏温度条件,植物精油微胶囊保鲜剂的释放速率不同,Nguyen T Q<sup>[7]</sup>研究了薰衣草精油微胶囊在高温条件下释放速率快,低温条件下释放速率慢。另外,不同的贮藏温度条件,大米霉变,陈化速率不同,杨晓蓉<sup>[8]</sup>研究了高温条件下稻谷霉变速率快,低温条件下霉变速率慢,张来林<sup>[9]</sup>研究了高温条件下稻谷的陈化速度最快,低温条件下稻谷的陈化速度最慢。因此,保鲜剂对不同温度贮藏条件下对大米的保鲜效果不同。本文制作了绿色防霉抗氧化微胶囊保鲜剂,并对不同温度条件下丁香精油微胶囊保鲜剂对大米的保鲜效果进行研究,在国内外尚未有人研究过,此研究旨在为今后微胶囊保鲜剂在不同温度条件下在大米储藏保鲜中的应用提供参考和依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料与试剂

大米,北方粳米;丁香精油,含量99%(丁香酚相对百分含量78.55%),产于深圳;β-环糊精,郑州天建食品科技有限公司;水溶性壳聚糖,食品级,济南海得贝海洋生物工程有限公司;吐温-20(分析纯),天津市北方天医化学试剂厂;正己烷(色谱纯),天津市北方天医化学试剂厂;甲醇(色谱纯),天津市北方天医化学试剂厂。

### 1.2 主要仪器

WH7401-50B 电动搅拌器,天津威华仪器设备有限公司;FEIQUANTA200 扫描电子显微镜(SEM),美国FEI公司;KQ2200DE 数控超声波清洗器,昆山市

超声仪器有限公司;AUY120 电子天平,日本岛津株式会社;DGG 电热鼓风干燥箱,天津市天宇实验仪器有限公司;756PC 紫外分光光度计,上海光谱仪器有限公司;SHP-250B 生化培养箱,天津市天宇试验有限公司。

## 1.3 实验方法

### 1.3.1 丁香精油微胶囊保鲜剂的制备

采用包络结合法和原位聚合<sup>[8]</sup>,把6g β-环糊精溶解到60℃水中,在电动搅拌器的作用下,使溶液达到饱和状态,再加入0.1mL吐温-80和2mL丁香精油(经无水乙醇稀释),1000r/min 搅拌1h。静置10min,在溶液50℃条件下加入2g壳聚糖,1000r/min 搅拌30min,将制备好的溶液分装于培养皿中于40℃电热鼓风干燥箱中干燥24h,研磨,称重。

### 1.3.2 大米样品处理

以北方粳米为试材,分别进行不同温度和有无保鲜剂6个处理组(表1),每个处理500g大米扎口贮藏于0.05mmPE包装袋中,保鲜剂粉末包装于3cm×4cm无纺布密封袋中,将带有无纺布包装的保鲜剂置于大米中间,每个处理组3次重复。每个月进行一次大米品质指标测定。

表1 大米6个不同处理列表

Table 1 Different treatment conditions for rice

处理	储藏温度/℃	保鲜剂/g
1	0	0.0
2	0	0.2
3	15	0.0
4	15	0.2
5	30	0.0
6	30	0.2

### 1.3.3 丁香精油微胶囊保鲜剂缓释性能与SEM表征分析

对三个温度条件下贮藏的丁香精油微胶囊每个月进行一次精油剩余量测定,以丁香精油中的有效成分丁香酚的残留率来衡量不同壁材的微胶囊的缓释效果。

采用扫描电子显微镜(美国FEI公司),用棉棒蘸取少量微胶囊粉末轻轻粘附在样品台的导电胶上,进行喷金处理后,上机检测,放大倍数分别在500和1000条件下进行观察。

### 1.3.4 大米中LOX-3的测定

采用β-胡萝卜素漂白法<sup>[9]</sup>。

### 1.3.5 大米中脂肪酸值测定

采用GB/T 15684-1995的方法对大米中的脂肪酸

值进行测定，每个样品做3次重复试验。

### 1.3.6 大米中酸度的测定

采用 GB/T 12456-2008 的方法对大米中的酸度进行测定，每个样品做3次重复试验。

### 1.3.7 大米中霉菌菌落总数的测定

采用 GB/T 13092-2006 对大米菌落总数进行测定，每个样品做3次重复试验。

### 1.3.8 大米中细菌菌落总数的测定

采用 GB/T 13093-2006 对大米菌落总数进行测定，每个样品做3次重复试验。

### 1.3.9 数据处理

采用 SPSS 17.0 软件配对 t 检验 ( $P \leq 0.05$  和  $P \leq 0.01$ ) 和最小显著性差异 (LSD) 对数据进行整理统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 丁香精油微胶囊保鲜剂缓释性能与表征

#### 分析

丁香精油稳定性差，对光和温度的敏感性强，在壁材  $\beta$ -环糊精和壳聚糖的包埋作用下可以使精油缓慢释放，从而延长精油保鲜效果，延长贮藏期间大米的品质。如图 1 所示，丁香精油微胶囊保鲜剂在 0 °C，15 °C，30 °C 条件下的释放性能：储藏 6 个月后，30 °C 丁香精油残留率仅为 5%，20 °C 丁香精油残留率为 17%，而 0 °C 丁香精油残留率高达 74%。因此，30 °C 高温条件下丁香精油释放速率最快，应用在大米储藏中的意义可能是：前期精油释放速率快，有利于大米储藏，但储藏后期精油释放基本殆尽，失去保鲜效果。

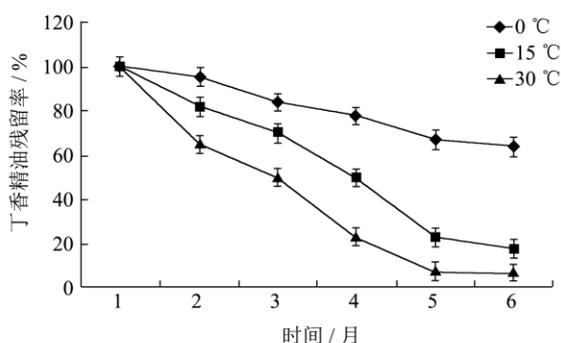


图 1 丁香精油微胶囊保鲜剂在 0 °C，15 °C，30 °C 条件下的释放性能

Fig.1 Release properties of the clove essential oil microcapsule preservative at 0, 15, and 30 °C

该保鲜剂电镜照片如图 2 中 a、b 所示。从图 b 可以观察到微胶囊颗粒呈不规则外形，颗粒大小不均匀，并有一定的团聚现象，这可能是由于壁材壳聚糖具有

成膜性造成的。从图 a 可以观察到颗粒表面有裂纹，这可能是由于壁材  $\beta$ -环糊精被壳聚糖包裹在内层时， $\beta$ -环糊精的颗粒分布不均导致的。壁材壳聚糖的水溶胀性和环糊精的包络结合特点使芯材丁香精油在不同的条件下有不同的释放性能，达到缓释、控释和保护肉桂精油的目的。

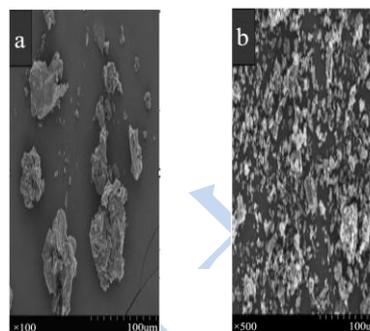


图 2 丁香精油微胶囊保鲜剂外观形态 SEM 照片

Fig.2 SEM images of the morphology of the clove essential oil microcapsule preservative

### 2.2 丁香精油微胶囊保鲜剂对大米中 LOX-3 的影响

一系列研究表明，LOX-3 的表达调控与对大米保鲜有重要的研究意义，并且 LOX-3 的活性与大米陈化速度成正相关<sup>[10]</sup>。LOX-3 活性采用  $\beta$ -胡萝卜素漂白法，此法是根据 LOX-3 能被  $\beta$ -胡萝卜素漂白，且二者的生成物在 452 nm 处有最大的吸光值。吸光度值越低，胡萝卜素漂白强度越高，表明 LOX-3 活性越高。

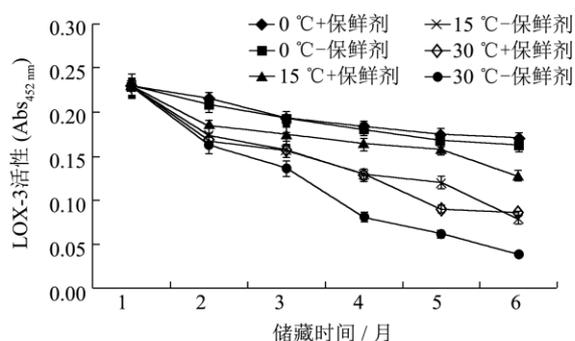


图 3 0 °C，15 °C，30 °C 条件下丁香精油微胶囊对大米中 LOX-3 的变化的影响

Fig.3 Changes in LOX-3 in rice treated with clove essential oil microcapsules at 0, 15, and 30 °C

注：“+”表示添加保鲜剂；“-”表示没有添加保鲜剂。

如图 3 所示，6 种处理的大米中的 LOX-3 活性均呈上升趋势，但是其变化幅度却呈现出不同的显著差异。储藏 6 个月后，30 °C 添加保鲜剂的大米的吸光值是对照组的 2.5 倍；15 °C 添加保鲜剂的大米的吸光值

是对照组的 1.6 倍; 0 °C 添加保鲜剂的吸光值是对照组的 1.1 倍。因此, 丁香精油微囊化保鲜剂对于大米在 30 °C 高温条件下 LOX-3 活性具有一定的抑制作用, 即丁香精油微囊化保鲜剂对大米保鲜具有良好的效果。15 °C 两组处理的 LOX-3 活性均比 0 °C 的活性高, 而比 30 °C 条件下 LOX-3 活性低, 说明温度对大米中 LOX-3 活性起到了影响作用, 这是由于 0 °C 的低温条件是米储藏的最佳温度条件, LOX-3 在 20~30 °C 条件下活性最高, 低温可以抑制 LOX-3 活性, 是否添加保鲜剂并不会起到多大效果。0 °C 条件下, 加保鲜剂和不加保鲜剂的两个处理 LOX-3 活性变化比较小, 而且每个时间段两者没有显著性差异 (P<0.05)。

### 2.3 丁香精油微胶囊保鲜剂对大米中脂肪酸值的影响

脂肪酸是一个处于动态平衡的中间产物, 在一定条件下脂肪水解生成脂肪酸, 同时脂肪酸还可以分解成简单的醛、酮类物质, 以及霉菌的生长繁殖对脂肪酸值的消耗所造成的, 所以脂肪酸值在一定程度上呈现上升继而下降的趋势, 脂肪酸值的变化可以作为大米品质变化的重要衡量指标。

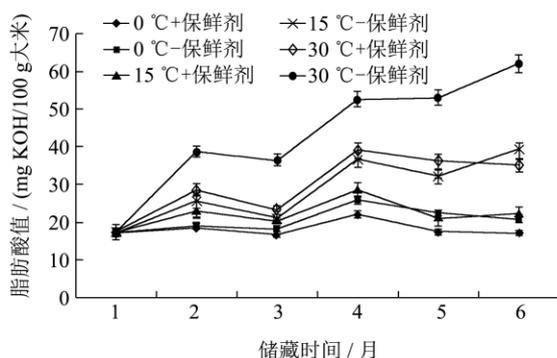


图 4 0 °C, 15 °C, 30 °C 条件下丁香精油微胶囊对大米中脂肪酸值的变化影响

Fig.4 Effects of dove essential oil microcapsules on changes in fatty acid values in rice at 0, 15, and 30 °C

注: “+”表示添加保鲜剂; “-”表示没有添加保鲜剂。

如图 4 所示, 随着储藏时间的延长, 每个时间段的 3 个温度条件, 温度越高, 脂肪酸值越大, 这说明温度条件是影响脂肪酸氧化的重要条件, 这与周凤英<sup>[11]</sup>的高温、高水分下适宜于微生物分泌脂肪酶, 加速脂肪分解, 脂肪酸值增加速度快的研究一致。储藏 6 个月后, 在 30 °C 条件下, 对照组大米的脂肪酸值是加保鲜剂的 1.9 倍, 差异性极其显著 (P<0.01); 在 15 °C 条件下, 对照组大米的脂肪酸值是加保鲜剂的 1.7 倍, 差异性显著 (P<0.05); 在 0 °C 条件下, 加保鲜剂大米的

脂肪酸值是对照组的 1.2 倍, 没有显著性差异 (P<0.05)。此结果表明, 丁香精油微胶囊保鲜剂可以抑制大米中脂肪酸值的升高, 并且高温条件比低温条件下影响效果显著。

### 2.4 丁香精油微胶囊保鲜剂对大米中酸度的影响

总酸度是大米中所有酸性物质的总量, 可以作为评价大米新鲜程度的指标, 是磷脂、脂肪、蛋白质以及碳水化合物分解产生酸的总和<sup>[12]</sup>。总酸度急剧增加是大米品质劣变的征兆, 但是大米品质变化严重时总酸反而下降。因此, 总酸含量的变化也常被用来衡量大米储藏的稳定性。

如图 5 可知, 储藏 6 个月后, 在 30 °C 条件下, 对照组大米的总酸度是添加保鲜剂的 2.3 倍, 差异性极其显著 (P<0.01); 在 15 °C 条件下, 对照组大米的总酸度是加保鲜剂的 1.5 倍, 差异性极其显著 (P<0.05); 在 0 °C 条件下, 加保鲜剂大米的总酸度与不添加保鲜剂大米没有差异性显著 (P<0.05)。同时, 30 °C 条件下, 储藏第 6 个月时没有添加保鲜剂的对照组的酸度值呈下降趋势, 说明大米品质严重劣变, 这与 Genkawa T.<sup>[13]</sup>的研究结果一致。此结果说明, 同温度条件下丁香精油微囊化保鲜剂可以抑制大米中酸度值的升高, 从而可以对大米保鲜起到良好的效果, 并且高温条件比低温条件影响效果显著。

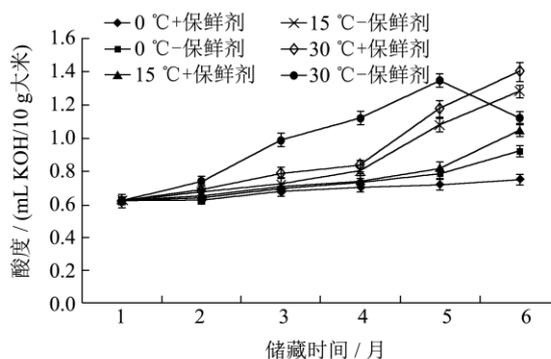


图 5 0 °C, 15 °C, 30 °C 条件下丁香精油微胶囊对大米中酸度变化的影响

Fig.5 Effects of dove essential oil microcapsules on changes in acidity in rice at 0, 15, and 30 °C

注: “+”表示添加保鲜剂; “-”表示没有添加保鲜剂。

### 2.5 丁香精油微胶囊保鲜剂对大米中霉菌总数的影响

如表 2 所示, 随着储藏时间的延长, 6 个处理的霉

菌总数都呈现不同程度的增长趋势。储藏 6 个月时, 30 °C 条件下, 加保鲜剂的大米霉菌总数为 350 cfu/g, 而不加保鲜剂对照组中霉菌总数为 1500 cfu/g 两者相差 3 倍之多, 具有显著性差异 (P < 0.05); 15 °C 条件下从第 4 个月开始两组处理间具有显著性差异 (P < 0.05), 第 6 个月时, 加保鲜剂的大米霉菌总数约是不添加保鲜剂的 2 倍; 0 °C 条件下, 加保鲜剂的大米和不加保鲜剂的对照组大米中的霉菌总数变化幅度非常小, 并且两组间没有显著性差异, 说明保鲜剂在 0 °C 条件下对大米保鲜效果不明显, 这可能是由于 0 °C 的温度条件抑制了霉菌的生长, 温度的条件即可达到对大米良好的保鲜效果, 也可能是低温条件下微囊化保鲜剂的释放速度慢, 没有起到抑菌效果。由此可知, 丁香精油微囊化保鲜剂对霉菌具有抑制作用, 这与 Pinto E<sup>[14]</sup>对丁香精油抑菌及抗氧化功能的研究一致。同时, 高温条件下, 丁香精油微胶囊保鲜剂的作用效果更加明显。

表 2 0 °C, 15 °C, 30 °C 条件下丁香精油微胶囊对大米中霉菌总数的影响 (cfu/g)

Table 2 Effects of clove essential oil microcapsules on the total mildew in rice at 0, 15, and 30 °C (cfu/g)

处理	储藏时间/月						
	0	1	2	3	4	5	6
0 °C+保鲜剂	40	52	50	64	80	100	100 <sup>a</sup>
0 °C-保鲜剂	40	55	60	80	100	110	110 <sup>a</sup>
15 °C+保鲜剂	40	60	60	100	120	200	220 <sup>b</sup>
15 °C-保鲜剂	40	72	70	120	350	450	500 <sup>c</sup>
30 °C+保鲜剂	40	80	100	160	210	300	350 <sup>d</sup>
30 °C-保鲜剂	40	100	320	480	800	1200	1500 <sup>e</sup>

注: “+”表示添加保鲜剂; “-”表示没有添加保鲜剂。

### 2.6 丁香精油微胶囊保鲜剂对大米中细菌总数的影响

如表 3 所示, 储藏 6 个月时, 30 °C 条件下, 加保鲜剂的大米细菌总数为 250 cfu/g, 而不加保鲜剂对照组中细菌总数为 950 cfu/g, 两者相差 3 倍之多, 具有显著性差异 (P < 0.05); 15 °C 条件下, 加保鲜剂的大米细菌总数为 120 cfu/g, 而不加保鲜剂对照组中细菌总数为 150 cfu/g, 两者相差 0.25 倍, 从第 4 个月开始两组处理间具有显著性差异 (P < 0.05); 0 °C 条件下, 加保鲜剂的大米和不加保鲜剂的对照组大米中的细菌总数变化幅度非常小, 并且两组间没有显著性差异 (P < 0.05), 说明保鲜剂在 0 °C 条件下对大米抑菌效果不明显, 这可能是由于 0 °C 的温度条件抑制了细菌的生长, 温度

的条件即可达到对大米良好的抑菌效果, 也可能是低温条件下微囊化保鲜剂的释放速度慢, 没有起到抑菌效果。由此可知, 丁香精油微囊化保鲜剂对细菌具有抑制作用。同时, 高温条件下, 丁香精油微胶囊的作用效果更加明显。

表 3 0 °C, 15 °C, 30 °C 条件下丁香精油微胶囊对大米中细菌总数的影响 (cfu/g)

Table 3 Effects of clove essential oil microcapsules on total bacteria numbers in rice at 0, 15, and 30 °C (cfu/g)

处理	储藏时间 (月)						
	0	1	2	3	4	5	6
0 °C+保鲜剂	20	32	36	45	56	60	70 <sup>a</sup>
0 °C-保鲜剂	20	34	40	50	60	68	74 <sup>a</sup>
15 °C+保鲜剂	20	39	60	75	90	110	120 <sup>b</sup>
15 °C-保鲜剂	20	48	70	90	110	130	150 <sup>c</sup>
30 °C+保鲜剂	20	50	110	150	160	200	250 <sup>d</sup>
30 °C-保鲜剂	20	60	120	200	250	510	950 <sup>e</sup>

注: “+”表示添加保鲜剂; “-”表示没有添加保鲜剂。

### 3 结论

在大米贮藏期间, 0 °C 条件下, 是否添加微胶囊保鲜剂对大米中的 LOX-3、脂肪酸值、酸度、细菌总数和霉菌总数的变化影响不显著 (P < 0.05); 15 °C 条件下, 对其影响显著 (P < 0.05); 30 °C 条件下, 对其影响极其显著 (P < 0.01)。说明大米在中高温条件贮藏时, 丁香精油微胶囊保鲜剂对大米的脂肪酸氧化具有显著的影响效果, 同时抑制微生物的生长, 从而对大米具有保鲜效果。

### 参考文献

[1] Zhou Z, Robards K, Helliwell S, et al. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes [J]. Journal of Cereal Science, 2002, 35(1): 65-78

[2] Timabud T, Sanitchon J, Pongdontri P. A modified ferrous oxidation-xylenol orange assay for lipoxygenase activity in rice grains [J]. Food chemistry, 2013, 141(3): 2405-2411

[3] 周建新,张瑞,王璐,等.储藏温度对稻谷微生物和脂肪酸值的影响研究[J].中国粮油学报,2011,26(1):92-95

ZHOU Jian-xin, ZHANG Rui, WAGN Lu, et al. Temperature influence on microorganism flora and fatty acid value of stored paddy under high humidity [J]. Journal of the Chinese cereals and oils association, 2011, 26(1): 92-95

[4] 张杨俊娜,张润光,焦文晓,等.生物保鲜剂研究进展[J].农产品加工(学刊),2013,7:18-22

ZHANG Yang-jun-na, ZHANG Run-guang, JIAO Wen-xiao,

- et al. Research progression on biological preservative [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2013, 7: 18-22
- [5] 齐凤生,刘红英,王颀.复合生物保鲜剂结合气调包装对海湾扇贝柱冷藏保鲜效果的研究[J].现代食品科技,2014, 7: 154-159
- QI Feng-sheng, LIU Hong-ying, WANG Jie. Effects of compound biological preservative combined with modified atmosphere packaging on fresh-keeping of argopectens irradias in cold storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 7: 154-159
- [6] Matan N, Saengkrajang W, Matan N. Antifungal activities of essential oils applied by dip-treatment on areca palm(*Areca catechu*) leaf sheath and persistence of their potency upon storage [J]. International Biodeterioration and Biodeterioration and Biodegradation, 2011, 65(1): 212-216
- [7] Nguyen T Q, Goto K. Assessment study of the effects of heat shock treatment on rice quality during storage: Milled rice case [J]. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery (Japan), 2008, 70(3): 49-57
- [8] Chen S, Nussinovitch A. Galactomannans in traditional coatings of easy peeler [J]. Food Hydrocolloids, 2000, 14(4): 319-326
- [9] 刘霞,徐立男,陈圆圆,等.短波紫外线对大米脂肪酸氧化及微生物污染的调控[J].农业机械学报,2013,S2:167-171
- LIU Xia,XU Li-nan, CHEN Yuan-yuan, et al. Effect of UV- C Treatment on Fatty Acid Oxidation and Antimicrobial Activities of Rice[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, S2:167-171
- [10] Suzuki Y, Matsukura U. Lipoxygenase activity in maturing and germinating rice seeds with and without lipoxygenase-3 in mature seeds [J]. Plant Science, 1997, 125(2): 119-126
- [11] 周凤英,白喜春,毛秀云,等.不同水分的大米在不同温度下储藏品质变化规律研究[J].粮油仓储科技通讯,2008, 6:42-44
- ZHOU Feng-ying, BAI Xi-chun, MAO Xiu-yun, et al. Research on rice with different moisture content at different temperature storage quality change [J]. Grain and Oil Storage Science and Technology Communication, 2008, 6: 42-44
- [12] Zhou Z, Robards K, Helliwell S, et al. Effect of storage temperature on rice thermal properties [J]. Food Research International, 2010, 43(3): 709-715
- [13] Genkawa T, Uchinob T, Inouea A. et al. Development of a low-moisture-content storage system for brown rice: Storability at decreased moisture contents [J]. Biosystem Engineering, 2008, (99): 515-522
- [14] Pinto E, Vale-Silva L, Cavaleiro C, et al. Antifungal activity of the clove essential oil from *Syzygium aromaticum* on *Candida*, *Aspergillus* and dermatophyte species [J]. Journal of Medical Microbiology, 2009, 58(11): 1454-1462