

## 原创研究型文章

包装方式对室温储存下干制八角 (*Illicium verum Hook.f.*) 颜色、挥发油、莽草酸和挥发性物质的影响施月<sup>1,2,3,4</sup>, 王智荣<sup>1,3,4</sup>, 陈涓慧<sup>1,3,4</sup>, 陈科伟<sup>1,3,4</sup>, 黄丕苗<sup>1,3,4</sup>, 阚建全<sup>1,3,4,\*</sup><sup>1</sup> 食品科学学院, 西南大学, 重庆 400715, 中国<sup>2</sup> 轻工工程学院, 四川工商职业技术学院, 成都 611835, 四川省, 中国<sup>3</sup> 农业农村部农产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室(重庆), 农业部, 重庆 400715, 中国<sup>4</sup> 中匈食品科学合作研究中心, 重庆 400715, 中国

\* 通讯作者: 阚建全, kanjianquan@163.com

**摘要:** 消费者对食品包装和食品质量的要求越来越高, 因此在贮藏过程中保持其品质就显得尤为重要, 特别是是香辛料。本研究采用四种不同的包装方法(透明密封袋(transparent sealing bag, TSB)、透明塑料袋(transparent plastic bag, TPB)、黑色避光密封袋(lightproof sealing bag, LSB)和编织袋(woven bag, WB))对干制八角进行包装处理, 并在室温下贮藏一年。在贮藏过程中监测了水分含量、挥发油(volatile oil, VO)及其主要物质(反式-茴香脑(trans-anethole, TA-O)、莽草酸(shikimic acid, SA)、主要挥发性物质和真菌毒素的变化。结果表明, 两种密封包装方法(TSB和LSB)的防吸潮效果优于非密封包装方法(WB和TPB)。此外, 采用TSB包装的八角色泽最好, 但LSB包装能有效减少SA、VO和TA-O的损失。通过气相色谱-质谱联用仪(gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS)和主成分分析(principal component analysis, PCA)得出, LSB样品的挥发性物质得分最高, 其次是TSB、TPB和WB。最后, 使用层次聚类分析(hierarchical clustering analysis, HCA)评估了干制八角在保存过程中使用不同包装方法的质量特性。综合以上结果, LSB是干制八角在室温下的最佳贮藏方法。

**关键词:** 八角; 包装方法; 贮藏; 理化性质; 挥发性成分

## 1. 前言

八角(*Illicium verum Hook.f.*)俗称八角茴香或大料。它属于木兰科(木兰属), 在缅甸北部和中国南部广泛种植<sup>[1]</sup>。八角的果实呈蒴果状, 聚合体多为八瓣, 呈八角形<sup>[2]</sup>, 被广泛用于食品、饮料、糖果和烘焙中, 以提供一些特殊风味或减少腥味<sup>[3]</sup>, 八角干果属于中国餐饮业使用的传统香料之一。据报道八角中含有多种活性物质, 包括倍半萜内酯、苯丙酮类、多糖、木脂素、黄酮类、莽草酸和反式-茴香脑<sup>[4,5]</sup>。现代药理学研究表明, 八角具有一系列药理生物活性, 包括: 抗菌、消炎、镇痛、镇静、杀虫以及1,1-二苯基-2-苦基肼(DPPH)和超氧自由基清除活性<sup>[6-8]</sup>。此外, 八角是莽草酸的主要来源, 而莽草酸在磷酸奥司他韦(达菲)的合成中发挥着重要作用<sup>[9]</sup>。与此同时, 八角挥发油中的主要挥发性物质反式-茴香脑已被证实具有很强的抗细胞凋亡、抗白内障、抗炎、抗氧化和抗糖尿病活性<sup>[10,11]</sup>。因此, 八角在食品和制药业中都有很大的应用潜力。

香辛料属于一类重要的烹饪配料, 由于其特殊风味物质含量较高, 是决定食品风味的主要因素之一。但它在储存过程中很容易受到光、氧、水、温度和其他因素的影响, 导致其风味成分变质、生物活性成分含量降低, 甚至还会造成微生物污染<sup>[12-14]</sup>。大多数香辛料, 尤其是八角, 干燥处理后不会很快食用, 还需要在包装中适当储存一段时间<sup>[14]</sup>。Misra等<sup>[15]</sup>研究表明, 在湿度为80%和温度为

20 °C的储存条件下,几乎所有香辛料都容易受到真菌污染。Korkmaz 等<sup>[14]</sup>分析了干辣椒在室温储存期间的品质变化,发现干样品的风味成分会明显变差。再根据 Mizani 等<sup>[16]</sup>的研究发现,合适的香辛料包装方法,能较好的保存挥发性化学物质、抑制/减少氧化、防止香辛料颜色和风味的损失。因此,近年来,人们重新开始重视贮藏条件,特别是包装方法,以用于减少样品质量的损失。

当前,干制八角商业包装方法主要包括直接散装储存(非包装)、WB 和 TPB。值得注意的是,这些包装方式均可能会带来一些食品安全问题。在《防治和减少香辛料中真菌毒素操作规范》(CAC/RCP78-2017)<sup>[17]</sup>中强调,干制八角的储藏环境必须干燥、通风,且不能与其他食品同时储藏。否则,水分含量增加或受到非食品污染会导致毒真菌生长,并改变干制八角的风味和颜色。之前有研究表明,真空避光包装是室温储藏期间保持干制花椒品质(色泽、麻味和香气)的最佳选择,其次是通风且透明包装<sup>[18]</sup>。杨瑞丽<sup>[19]</sup>研究发现,在常温条件下,编织袋和塑料袋包装的花椒,其刺激性成分损失大于密封包装。此外,根据 Duman<sup>[20]</sup>等研究表明,真空密封的贮藏方法比传统技术(袋装)更适合长期贮藏红辣椒,既能保持品质,又能避免真菌毒素的形成。但丁筑红等<sup>[21]</sup>的研究发现,常压密封包装更有助于保存干辣椒的挥发性成分。此外,Giuffrida 等<sup>[12]</sup>将红辣椒粉在黑暗环境中储存 12 个月,发现类胡萝卜素和辣椒素含量在室温下均有所下降。因此,适当的包装有助于延缓香辛料风味的损失,延长其保质期。但是,以往的研究大都主要集中在八角的活性化学成分(如类黄酮、莽草酸、反式-茴香脑等)和健康功效方面,对其包装和贮藏关注较少。因此,我们对比了四种常用包装方法对干制八角品质的影响。同时,对干制八角在常温贮藏过程中的品质变化进行了研究。以期对干制八角的包装方法和贮藏条件提供更好的参考,并为干制八角的包装贮藏方式提供更多数据支持。

## 2. 材料和方法

### 2.1. 材料

八角 (*Illicium verum Hook.f.*) 采摘自广西壮族自治区钦州市六硯县。选取大小均匀的新鲜八角,洗净,然后采用 Shi 等<sup>[22]</sup>描述的干燥方法进行干燥处理。标准八角样品是产自中国广西的一级八角。

### 2.2. 包装和储存方法

图 1 详细描述了八角干样品的包装和贮藏流程。我们采用透明密封袋、透明塑料袋、黑色避光密封袋和编织袋四种包装方式对样品进行试验。干制八角在室温下贮藏不同时间(0、1、2、3、4、5、6、8、10 和 12 个月),分别取样,并使用温湿度计(VMS-3003-WS, Shandong Wemsee Technology Co., Ltd.)记录环境的温度和湿度。结果如表 S1 所示。

### 2.3. 理化指标的测定

#### 2.3.1. 水分含量

干制八角水分含量的测量方法参考 Liu 等<sup>[23]</sup>研究中方法。

#### 2.3.2. 颜色

干制八角的颜色按照 Wu 等<sup>[24]</sup>之前的描述进行测定。

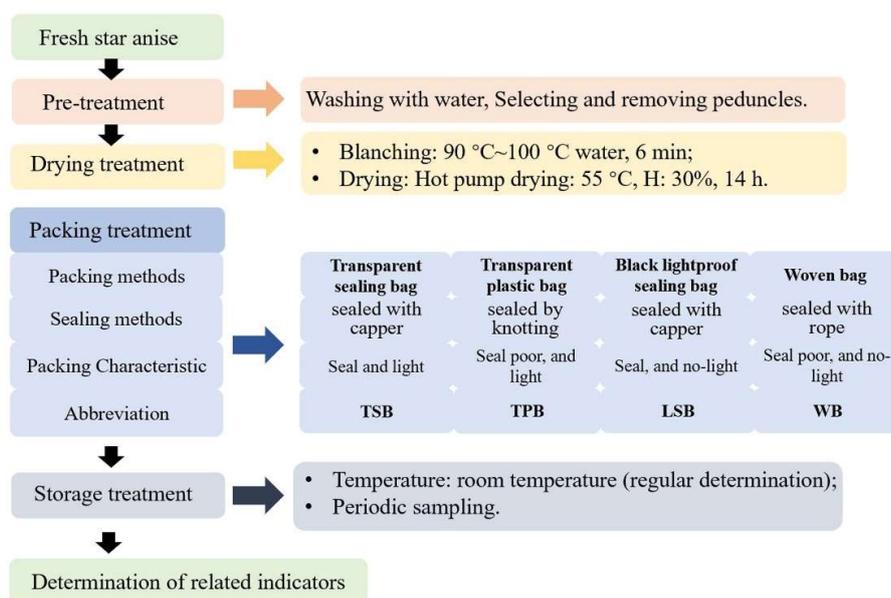


图 1. 样品处理流程图。  
Figure 1. Flow chart of sample treatment.

### 2.3.3. 挥发油 (VO)

称取干制八角粉末 (20.0 g) 置于圆底烧瓶中, 加入 200 mL 蒸馏水 (添加沸石) 蒸馏 3 h, 直至不在有油蒸出。在分液漏斗中收集蒸馏液, 用 20 mL 石油醚萃取两次, 然后用无水硫酸钠进行干燥。使用旋转蒸发除去石油醚后, 对浓缩溶液进行称重。获得 VO 以确定反式-茴香脑含量<sup>[22]</sup>。

### 2.3.4. 八角挥发油中的反式-茴香脑 (TA-O)

用乙醇稀释从各种干制八角中提取的 VO (1 mL), 然后用气相色谱仪 (gas chromatograph, GC) (7890A, 美国安捷伦公司) 进行分析。进样器和检测器的温度分别为 220 °C 和 250 °C。温度程序按 Shi 等<sup>[22]</sup>的描述进行。将粗提取物中的反式-茴香脑含量与反式-茴香脑标准品进行比较测定。

### 2.3.5. 莽草酸 (SA)

将干制八角粉末与去离子水混合, 放置过夜, 然后在 85 °C 的恒温水浴中煮沸 1 h。将样品过滤, 滤液立即稀释并保存。根据 Zhang<sup>[25]</sup> 的方法, 采用高效液相色谱法 (high-performance liquid chromatography, HPLC) (1260, 美国安捷伦公司) 和二极管阵列检测器 (diode array detector, DAD) 测定 SA 的含量, 在 25 °C 的条件下, 色谱柱为 4.6 × 250 mm (ZPRBAX SB-Aq, 美国安捷伦公司)。流动相由溶剂 A (0.1% 磷酸) 和溶剂 B (乙腈) 组成, 等度洗脱 (97% A, v/v)。进样体积为 20 μL, 流速为 0.7 mL/min。SA 的含量以毫克/克干基 (mg/g d.b) 表示。

### 2.3.6. 挥发性成分

根据贾春晓<sup>[26]</sup>和 Gholivand<sup>[27]</sup>的方法, 将干制八角 (1.0 g) 浸入顶空瓶中, 以辛醇 (Sigma, 100 μL, 4 mg/mL) 作为内标。样品瓶在 50 °C 下平衡 15 min。然后将 SPME 纤维 (85-micron PA, 聚丙烯酸酯) 插入到样品瓶中, 推出纤维头, 在 50 °C 吸附 40 min。

提取后, 立即将萃取头插 GC-MS (日本岛津公司) 的进样口, 使用 DB-5MS 色谱柱 (30 m × 250 μm × 0.25 μm; 美国安捷伦公司), 在 250 °C 下解吸 2 min。升温程序如下: 起始柱温 50 °C, 保持 3 min; 以 4 °C/min 至 220 °C, 保留 10 min; 结束。载气为 1.0 mL/min 氦气。质谱仪采用电子碰撞

电离模式 (+EI, 70 eV)。离子源温度为 200 °C, 扫描速度为 35500 m/z<sup>[26]</sup>。挥发性化合物的定性和定量检测按照 Kulapichitr 等<sup>[28]</sup>和 Zhao 等<sup>[29]</sup>所描述的程序进行。

## 2.4. 真菌毒素的测定

### 2.4.1. 黄曲霉毒素的测定 (AF: G1、G2、B1 和 B2)

我们按照 AF 免疫亲和柱制造商的说明 (NXA-Q001, 北京纳迅科技股份有限公司) 从材料中提取、纯化/富集和分离黄曲霉毒素。

使用 HPLC (1260, 美国安捷伦公司) 和荧光检测器 (fluorescence detector, FLD) 测量 AF 的含量 (G1、G2、B1 和 B2), 荧光检测器的激发波长为 360 nm, 发射波长为 440 nm。将试样溶液 (50  $\mu$ L) 注入 Venusil MP C18 色谱柱 (4.6  $\times$  150 mm  $\times$  5  $\mu$ m, 艾杰尔科技有限公司), 流速为 0.8 mL/min。柱温为 40 °C。流动相为甲醇 (55%), 等度洗脱 (25 min)<sup>[30]</sup>。采用 AF (G1、G2、B1 和 B2) 标准品 (Romer Labs, Beijing, China), 每种 AF 的含量以 ng/mL 表示。AF 标准曲线的线性方程和相关系数见表 S2。

### 2.4.2. 赭曲霉毒素 A (OTA) 的测定

我们按照 OTA 免疫亲和柱制造商的说明 (NXA-Q007, 北京纳迅科技股份有限公司) 从材料中提取、纯化/富集和分离 OTA。

所得提取物的测定方法如 Giancarlo 等<sup>[31]</sup>所述, 并略作修改。OTA 含量的测定采用带有 FLD 的高效液相色谱法, 激发波长为 333 nm, 发射波长为 477 nm。测试溶液 (50  $\mu$ L) 以 0.8 mL/min 的流速注入 Venusil MP C18 色谱柱。柱温为 40 °C。流动相为水/乙腈/乙酸 (99/99/2), 等度洗脱 (25 min)。采用 OTA 标准品 (Romer Labs, Beijing, China), OTA 的含量以 ng/mL 表示。OTA 标准曲线的线性方程和相关系数见表 S2。

## 2.5. 统计分析

数据采用 SPSS Statistics 26.0 (IBM SPSS Inc., USA) 的方差分析 (ANOVA) 进行统计分析。采用邓肯检验确定不同处理组之间是否存在显著差异 ( $p < 0.05$ ), 数据以均数 $\pm$ 标准差表示。使用 Origin 2019 软件 (Origin Lab Inc., USA) 绘制数据。使用 SIMCA 14.1 软件 (Sartorius Stedim Biotech Inc., Germany) 进行主成分分析 (principle component analysis, PCA)。在分层聚类分析 (hierarchical clustering analysis, HCA) 中, 聚合技术是 Ward's linkage, 相似性用 Euclidean distance 测量。

## 3. 结果和讨论

### 3.1. 颜色

图 2 显示了不同包装方式下八角色泽及形态随贮藏时间的变化。刚干燥的八角呈淡黄色。随着贮藏时间的延长, 样品的颜色逐渐加深, 变成红棕色或黄褐色。在贮藏前 3 个月时, 采用 TSB 贮藏的八角颜色明显比其他样品要加明亮, 而 WB 的八角颜色最暗。在贮藏 6 个月之后, 样品的颜色转变成棕色或深棕色。在贮藏时间达 12 个月时, LSB 的八角颜色是四种包装方式中最浅的呈黄褐色。TSB 样品的颜色为棕红色。其他两种包装方式分别为黑褐色 (W) 和棕褐色 (TP)。

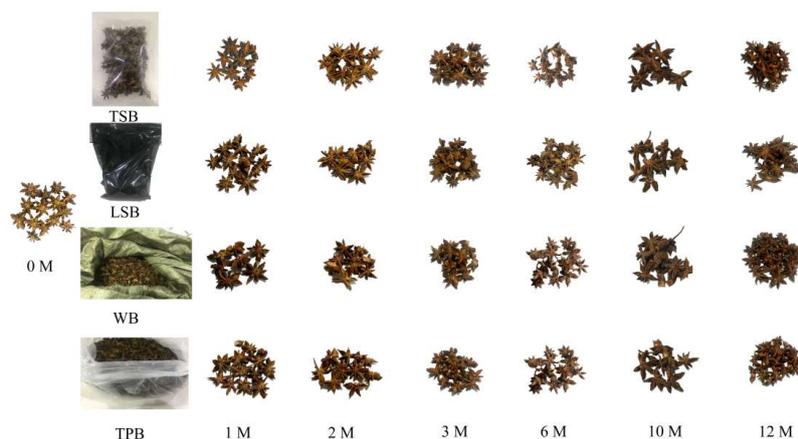


图 2. 不同包装方式下八角图像随储存时间的变化。

Figure 2. Changes in star anise images with storage time for different packing methods.

如表 1 所示, 八角的颜色色差值在贮藏期间发生了变化。在贮藏期间, 用 TSB、LSB、WB 和 TPB 包装时, 样品的 L\*值和 a\*值上升, 而 b\*值下降, 这可能与干制八角的颜色从黄绿色逐渐变为黄褐色或红褐色有关。当贮藏时间超过 8 个月时, TSB 的 L\*值和 b\*值显著 ( $p < 0.05$ ) 大于其他包装组; 贮藏 12 个月后, TSB 和 TPB 的 a\*值显著 ( $p < 0.05$ ) 大于其他包装组。有研究指出, 干制八角的颜色会在贮藏过程中发生变化, 会逐渐加深, 这与我们的研究结果类似<sup>[32]</sup>。

以市售标准八角为参照物,  $\Delta E$  值越大, 样品与标准八角样品之间的色差就越大。从表 1 中可以看出,  $\Delta E$  值在储存过程中不断发生变化。贮藏 12 个月后, TSB 和 LSB 的  $\Delta E$  值逐渐降低, WB 和 TPB 先降低后升高, TSB 的  $\Delta E$  值最低 ( $4.33 \pm 0.03$ ), 显著 ( $p < 0.05$ ) 低于其他包装组。通过方差分析和  $q$  检验, 分析了包装方式和贮藏时间对  $\Delta E$  值的影响, 结果见表 2。在贮藏过程中, 包装方式对  $\Delta E$  值有显著 ( $p < 0.05$ ) 影响, 贮藏时间对  $\Delta E$  值有极显著 ( $p < 0.01$ ) 的影响。通过  $q$  检验发现, TSB 的  $\Delta E$  值显著 ( $p < 0.05$ ) 小于其他组, 其次是 LSB 和 TPB, 最大的是 WB。综合分析, 用 TSB 包装八角最有利于其形成良好的色泽。

### 3.2. 水分含量

图 3A 显示了整个储藏过程中包装方式对八角水分含量的影响。同预测一样, 随着时间的延长, 八角水分含量逐渐上升。当贮藏时间超过 6 M 时, WB 和 TPB 包装中样品水分含量出现较大的增长趋势, 最终超过了中国国家标准 (GB/T 7652-2016) 规定的 12.5%, 在 12 个月时, 分别达到  $12.58 \pm 0.31\%$  和  $12.51 \pm 0.12\%$ 。但密封包装的两种方式, 虽然八角的含水量也会随着贮藏时间的延长而增长, 但其增加趋势较为缓慢, 且在贮藏 12 M 之后也未超过 12.5%, 分别为  $10.56 \pm 0.22\%$  (TS-BP) 和  $9.45 \pm 0.17\%$  (LS-BP)。这可能是由于外部环境中的水蒸气会通过包装材料接触到样品<sup>[33]</sup>。值得注意的是, WB 就具有透气性, 八角中的水分含量很容易受到环境温度和湿度的影响。通过方差分析和  $q$  检验分析了包装方式和贮藏时间对八角水分含量的影响, 结果见表 2。包装方式和贮藏时间对八角水分含量的具有极显著 ( $p < 0.01$ ) 的影响, 同时, 在 12 个月的贮藏过程中, TSB 和 LSB 包装八角的水分含量显著 ( $p < 0.05$ ) 低于其他包装。因此, WB 和 TPB 这两种八角的传统包装方法在八角的长期贮藏中存在食品安全隐患。密封贮藏可避免八角受潮, 更适合八角的长期贮藏。

表 1. 不同储存方式下八角样品的 L\*、a\*、b\*和ΔE 值随时间的变化。  
Table 1. Changes in L\*, a\*, b\*, and ΔE values of star anise samples over time for different storage methods.

Packing methods	Storage period, months											
	0	1	2	3	4	5	6	8	10	12		
L*												
TSB	62.47 ± 0.36 <sup>a</sup>	57.74 ± 0.05 <sup>b</sup>	57.43 ± 0.09 <sup>b</sup>	57.08 ± 0.09 <sup>b</sup>	57.39 ± 0.97 <sup>ab</sup>	58.75 ± 0.05 <sup>c</sup>	57.99 ± 0.11 <sup>b</sup>	59.14 ± 0.09 <sup>a</sup>	57.25 ± 0.08 <sup>a</sup>	59.21 ± 0.03 <sup>a</sup>		
TPB	62.47 ± 0.36 <sup>a</sup>	57.26 ± 0.05 <sup>d</sup>	58.08 ± 0.04 <sup>a</sup>	57.40 ± 0.05 <sup>ab</sup>	56.44 ± 0.15 <sup>b</sup>	58.42 ± 0.06 <sup>d</sup>	58.27 ± 0.10 <sup>ab</sup>	58.36 ± 0.03 <sup>c</sup>	55.19 ± 0.13 <sup>c</sup>	55.01 ± 0.03 <sup>c</sup>		
LSB	62.47 ± 0.36 <sup>a</sup>	58.05 ± 0.02 <sup>a</sup>	57.15 ± 0.08 <sup>c</sup>	57.48 ± 0.20 <sup>a</sup>	56.82 ± 0.11 <sup>b</sup>	59.23 ± 0.07 <sup>b</sup>	57.55 ± 0.08 <sup>c</sup>	58.61 ± 0.04 <sup>b</sup>	55.71 ± 0.07 <sup>b</sup>	55.93 ± 0.04 <sup>b</sup>		
WB	62.47 ± 0.36 <sup>a</sup>	57.54 ± 0.03 <sup>bc</sup>	57.23 ± 0.01 <sup>bc</sup>	55.58 ± 0.08 <sup>c</sup>	58.51 ± 0.08 <sup>a</sup>	59.86 ± 0.09 <sup>a</sup>	58.33 ± 0.08 <sup>a</sup>	58.08 ± 0.04 <sup>d</sup>	54.36 ± 0.10 <sup>d</sup>	53.67 ± 0.03 <sup>d</sup>		
a*												
TSB	9.58 ± 0.27 <sup>a</sup>	9.45 ± 0.04 <sup>b</sup>	9.66 ± 0.10 <sup>b</sup>	10.52 ± 0.07 <sup>a</sup>	10.02 ± 0.06 <sup>c</sup>	9.50 ± 0.06 <sup>c</sup>	9.78 ± 0.07 <sup>b</sup>	9.46 ± 0.08 <sup>b</sup>	10.63 ± 0.08 <sup>a</sup>	11.44 ± 0.01 <sup>a</sup>		
TPB	9.58 ± 0.27 <sup>a</sup>	9.54 ± 0.13 <sup>b</sup>	9.53 ± 0.12 <sup>b</sup>	10.25 ± 0.11 <sup>a</sup>	10.31 ± 0.02 <sup>b</sup>	9.85 ± 0.09 <sup>b</sup>	10.05 ± 0.04 <sup>a</sup>	10.15 ± 0.07 <sup>a</sup>	10.25 ± 0.03 <sup>b</sup>	11.28 ± 0.04 <sup>a</sup>		
LSB	9.58 ± 0.27 <sup>a</sup>	9.42 ± 0.03 <sup>b</sup>	10.08 ± 0.02 <sup>a</sup>	9.90 ± 0.11 <sup>b</sup>	9.91 ± 0.03 <sup>c</sup>	9.42 ± 0.04 <sup>c</sup>	9.54 ± 0.03 <sup>c</sup>	9.62 ± 0.02 <sup>b</sup>	10.04 ± 0.02 <sup>c</sup>	10.62 ± 0.11 <sup>b</sup>		
WB	9.58 ± 0.27 <sup>a</sup>	10.29 ± 0.09 <sup>a</sup>	9.62 ± 0.08 <sup>b</sup>	10.48 ± 0.07 <sup>a</sup>	10.49 ± 0.07 <sup>a</sup>	10.26 ± 0.05 <sup>a</sup>	9.85 ± 0.03 <sup>b</sup>	10.27 ± 0.10 <sup>a</sup>	10.23 ± 0.09 <sup>bc</sup>	10.76 ± 0.02 <sup>b</sup>		
b*												
TSB	25.23 ± 0.36 <sup>a</sup>	21.38 ± 0.13 <sup>b</sup>	21.49 ± 0.05 <sup>a</sup>	20.05 ± 0.03 <sup>c</sup>	21.77 ± 0.14 <sup>b</sup>	21.61 ± 0.67 <sup>ab</sup>	21.35 ± 0.09 <sup>b</sup>	22.62 ± 0.02 <sup>a</sup>	21.15 ± 0.08 <sup>a</sup>	20.76 ± 0.14 <sup>a</sup>		
TPB	25.23 ± 0.36 <sup>a</sup>	22.03 ± 0.11 <sup>a</sup>	20.71 ± 0.05 <sup>c</sup>	21.03 ± 0.04 <sup>a</sup>	21.17 ± 0.06 <sup>c</sup>	20.69 ± 0.05 <sup>b</sup>	21.54 ± 0.10 <sup>b</sup>	20.59 ± 0.06 <sup>b</sup>	19.43 ± 0.09 <sup>c</sup>	17.98 ± 0.01 <sup>c</sup>		
LSB	25.23 ± 0.36 <sup>a</sup>	22.09 ± 0.05 <sup>a</sup>	20.93 ± 0.08 <sup>b</sup>	20.42 ± 0.11 <sup>b</sup>	20.84 ± 0.04 <sup>d</sup>	21.27 ± 0.05 <sup>b</sup>	21.25 ± 0.08 <sup>b</sup>	20.42 ± 0.03 <sup>c</sup>	20.62 ± 0.16 <sup>b</sup>	18.95 ± 0.07 <sup>b</sup>		
WB	25.23 ± 0.36 <sup>a</sup>	22.27 ± 0.04 <sup>a</sup>	20.98 ± 0.03 <sup>b</sup>	19.42 ± 0.07 <sup>d</sup>	22.46 ± 0.07 <sup>a</sup>	22.41 ± 0.07 <sup>a</sup>	22.25 ± 0.10 <sup>a</sup>	20.33 ± 0.03 <sup>c</sup>	17.89 ± 0.06 <sup>d</sup>	17.13 ± 0.11 <sup>d</sup>		
ΔE												
TSB	7.65 ± 0.47 <sup>Aa</sup>	6.40 ± 0.09 <sup>Ba</sup>	6.27 ± 0.07 <sup>Bab</sup>	5.86 ± 0.08 <sup>BCa</sup>	6.01 ± 0.33 <sup>BCa</sup>	6.21 ± 0.07 <sup>Ba</sup>	6.03 ± 0.09 <sup>BCb</sup>	6.24 ± 0.08 <sup>Ba</sup>	5.45 ± 0.09 <sup>Cd</sup>	4.33 ± 0.03 <sup>Dd</sup>		
TPB	7.65 ± 0.47 <sup>Aa</sup>	6.44 ± 0.11 <sup>Ba</sup>	6.33 ± 0.13 <sup>BCa</sup>	5.77 ± 0.11 <sup>CDc</sup>	6.09 ± 0.09 <sup>BCDa</sup>	5.97 ± 0.10 <sup>BCDc</sup>	5.70 ± 0.05 <sup>Dc</sup>	5.71 ± 0.06 <sup>Pb</sup>	7.19 ± 0.03 <sup>Ab</sup>	7.22 ± 0.05 <sup>Ab</sup>		
LSB	7.65 ± 0.47 <sup>Aa</sup>	6.35 ± 0.03 <sup>BCDa</sup>	6.03 ± 0.02 <sup>Db</sup>	6.19 ± 0.12 <sup>CDb</sup>	6.33 ± 0.06 <sup>BCDa</sup>	6.24 ± 0.04 <sup>BCDa</sup>	6.37 ± 0.04 <sup>BCDa</sup>	6.22 ± 0.05 <sup>BCDa</sup>	6.76 ± 0.02 <sup>Bc</sup>	6.70 ± 0.09 <sup>BCc</sup>		
WB	7.65 ± 0.47 <sup>Aa</sup>	5.65 ± 0.09 <sup>EFb</sup>	6.43 ± 0.08 <sup>CDa</sup>	6.80 ± 0.03 <sup>Ca</sup>	5.25 ± 0.06 <sup>Fb</sup>	5.45 ± 0.05 <sup>EFc</sup>	5.89 ± 0.05 <sup>DEb</sup>	5.71 ± 0.11 <sup>EFb</sup>	8.32 ± 0.10 <sup>Aa</sup>	8.81 ± 0.09 <sup>Aa</sup>		

注: 数据表示为平均值±SD (n = 3)。小写字母表示同一列之间存在显著差异 (p < 0.05)。大写字母表示同一行之间存在显著差异 (p < 0.05)。

**表 2.** 不同包装方式对八角储藏期间理化指标影响的方差分析和 *q* 检验结果。  
**Table 2.** The results of variance analysis and *q* testing for the effects of different packing methods on star anise physicochemical indexes over storage.

Indicator name	Variance analysis						<i>q</i> test	
	Source of variance	SS	df	MS	F	P	Packing methods	Value
ΔE	Storage time	34.43	9	3.82	85.21	<i>p</i> < 0.01	TSB	6.05 <sup>b</sup>
	Packing method	5.076	3	1.69	37.70	<i>p</i> < 0.05	TPB	6.41 <sup>a</sup>
	Error	50.15	107	0.47			LSB	6.48 <sup>a</sup>
	Total	4977.50	120				WB	6.60 <sup>a</sup>
Moisture content	Storage time	145.48	9	16.16	32.03	<i>p</i> < 0.01	TSB	8.76 <sup>c</sup>
	Packing method	92.14	3	30.71	60.86	<i>p</i> < 0.01	TPB	10.67 <sup>b</sup>
	Error	54.00	107	0.51			LSB	8.67 <sup>c</sup>
	Total	11297.98	120				WB	10.21 <sup>a</sup>
VO content	Storage time	113.30	9	12.59	149.16	<i>p</i> < 0.01	TSB	7.67 <sup>a</sup>
	Packing method	3.77	3	1.26	14.88	<i>p</i> < 0.01	TPB	7.24 <sup>c</sup>
	Error	9.03	107	0.08			LSB	7.63 <sup>a</sup>
	Total	6845.85	120				WB	7.40 <sup>b</sup>
TA-O content	Storage time	34126.71	9	3791.86	135.69	<i>p</i> < 0.01	TSB	76.37 <sup>a</sup>
	Packing method	2658.80	3	886.27	31.71	<i>p</i> < 0.01	TPB	67.64 <sup>b</sup>
	Error	2990.16	107	27.94			LSB	77.79 <sup>a</sup>
	Total	668834.24	120				WB	67.81 <sup>b</sup>
SA content	Storage time	12550.52	9	1394.50	203.01	<i>p</i> < 0.01	TSB	98.13 <sup>a</sup>
	Packing method	38.61	3	12.87	1.87	<i>p</i> > 0.05	TPB	97.24 <sup>a</sup>
	Error	583.88	85	6.87			LSB	98.94 <sup>a</sup>
	Total	959059.04	98				WB	98.65 <sup>a</sup>

注: VO: 挥发油; TA-O: 挥发油中的反式-茴香脑; SA: 莽草酸。小写字母代表不同包装方法之间的显著差异 (*p* < 0.05)。

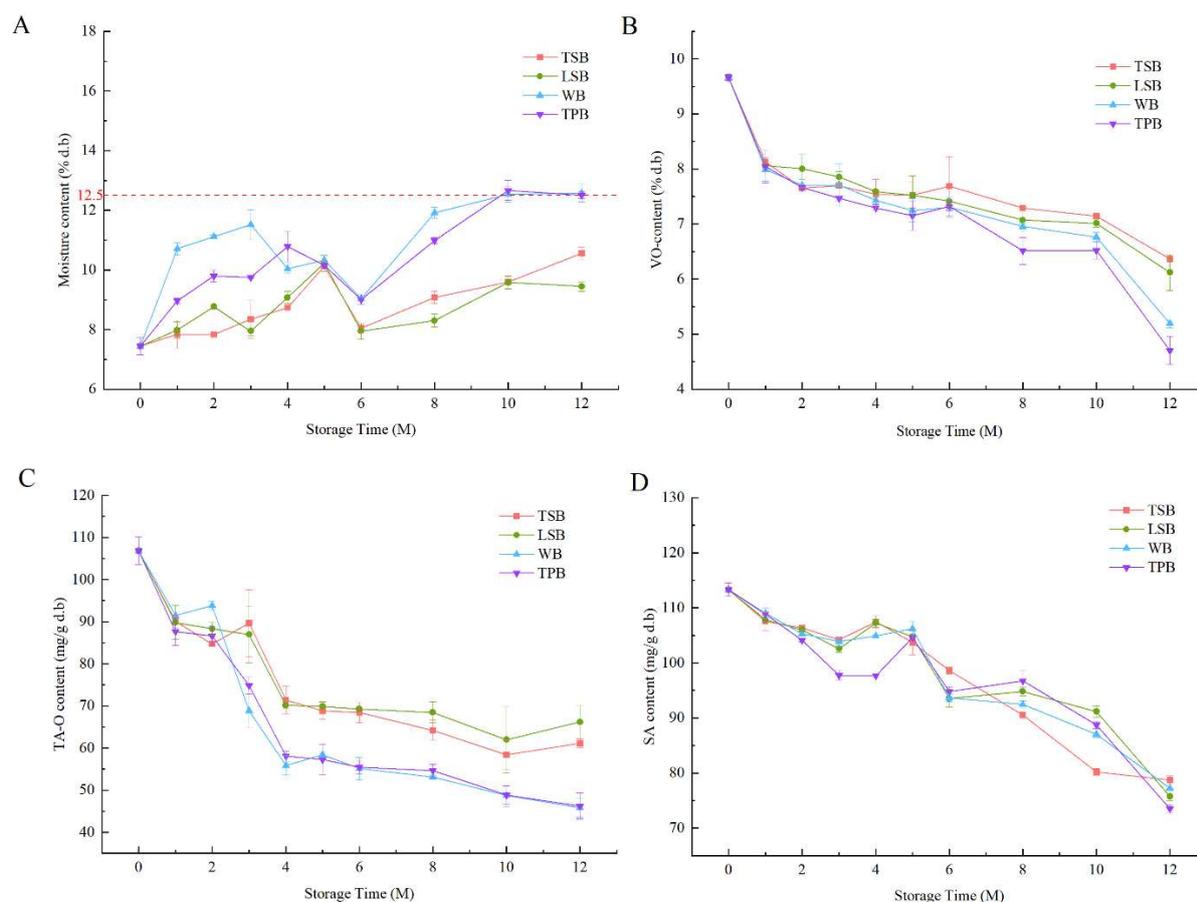


图 3. 不同包装方式下八角各项指标随时间的变化。(A、水分含量；B、挥发油 VO 含量；C、挥发油中的反式茴香脑 TA-O 含量；D、莽草酸-SA 含量。)

Figure 3. Changes in star anise indexes with time for different packaging methods. (A, Moisture content; B, Volatile oil—VO content; C, Trans-anethole in volatile oil—TA-O content; D, Shikimic acid-SA content.)

### 3.3. VO 含量和 TA-O 含量

如图 3B 所示, 不同包装方式的八角在长期贮藏过程中挥发油含量显著下降。在贮藏的前半期, 八角 VO 的损失较为缓慢, 但在超过 6 个月后, VO 的下降趋势逐渐加快。结合表 S1 中的贮藏温度和湿度变化来看, 贮藏前 6 个月的温度和湿度都显著 ( $p < 0.05$ ) 低于后 6 个月。由此可见, 贮藏环境的温度和湿度对八角 VO 含量具有重大影响, 且随着环境温度和湿度增高, 八角中 VO 损失越严重。多项研究表明, 八角挥发油中含有大量的挥发性有机分子<sup>[34]</sup>。同时, 李萍等<sup>[35]</sup>发现八角 VO 具有很强的挥发性, 常温状态即可挥发且温度越高挥发性越大。对比四种不同包装方式, 两种密封包装样品 (TSB 和 LSB) 的 VO 含量显著 ( $p < 0.05$ ) 高于两种非密封包装方法 (WB 和 TPB), 尤其是贮藏在高温度和湿度下。当储存时间为 12 个月时, TSB 和 LSB 样品中的 VO 含量分别为  $6.36 \pm 0.01\%$  和  $6.12 \pm 0.33\%$ , 损失率分别为 34.2% 和 36.6%, 显著 ( $p < 0.05$ ) 低于 WB ( $5.19 \pm 0.08\%$ , 46.3%) 和 TPB ( $4.71 \pm 0.25\%$ , 51.2%)。梁乙川<sup>[36]</sup>也报道了川芎在贮藏过程中的类似现象。此外, 对比 TSB 和 LSB, 我们发现在整个贮藏过程中没有显著差异 ( $p > 0.05$ )<sup>[35]</sup>, 光照对八角在一定时间内对八角 VO 含量的损失影响不大。反式-茴香脑是八角香气的主要物质, 也是八角挥发油中的主要物质<sup>[8]</sup>。一些报告显示, 反式-茴香脑是八角挥发油的主要物质, 占 90% 以上<sup>[7,37]</sup>。如图 3C 所示, 随着贮藏时间的延长, TA-O 含量的损失也在不断变化。各包装组挥发油中反式-茴香脑的含量都逐渐下降。当储

存时间少于 2 个月时, 四种包装方式对 TA-O 含量的影响很小。然而, 贮藏超过 2 个月后, WB 和 TPB 样品中的 TA-O 含量开始大幅下降, 而 TSB 和 LSB 中的含量则在贮藏超过 3 个月后才开始下降。此外, 两个密封包装样品的 TA-O 含量远远高于其他样品。在整个贮藏期间, WB 和 TPB 的 TA-O 含量变化相似。与 TSB 和 LSB 相比, 随着贮藏时间的延长, TSB 样品的 TA-O 含量略高于 LSB。然而, 当贮藏时间超过 6 个月时, LSB 会比 TSB 更有效的延缓八角挥发油中反式-茴香脑的损失。最后, 当贮藏时间达到 12 个月时, TSB、LSB、WB 和 TPB 分别为  $61.08 \pm 1.09$ 、 $66.17 \pm 3.88$ 、 $45.75 \pm 2.24$  和  $46.22 \pm 3.10$  mg/g d.b.。损失率分别为 42.8%、38.1%、57.2%和 56.8%, 其中 LSB 的损失率最低。方差分析结果见表 2。包装方式和贮藏时间对 VO 和 TA-O 的含量均有显著 ( $p < 0.01$ ) 影响, 且贮藏时间的影响大于包装方式的影响。从总体变化中发现, 与 WB 和 TPB 相比, 用 TSB 和 LSB 包装的八角中 VO 和 TA-O 含量最高 ( $p > 0.05$ )。然而, TSB 和 LSB 没有显著性差异 ( $p < 0.05$ )。因此, 密封包装的八角 (TSB 和 LSB) 在室温下储存 12 个月后, 其 VO 和 TA-O 含量最高。

### 3.4. 莽草酸 (SA) 含量

SA 是合成抗病毒药物-奥司他韦 (达菲) 的大量来源, 而八角是获得 SA 的合适材料<sup>[9,38]</sup>。图 3D 显示了八角在室温下贮藏 12 个月后 SA 含量的变化, 表明四种不同的包装方式下, 八角莽草酸的含量整体都呈现一种下降趋势。在贮藏 12M 后, SA 含量从  $113.32 \pm 1.21$  mg/g d.b.降至  $78.75 \pm 0.73$  mg/g d.b. (TSB)、 $75.75 \pm 0.74$  mg/g d.b. (LSB)、 $77.24 \pm 0.1$  mg/g d.b. (WB) 和  $73.52 \pm 0.67$  mg/g d.b. (TPB)。同样, 结合图 3D 和表 S1 可以看出, 在贮藏前半段时期, 八角中的 SA 含量总体下降缓慢。但可以明显看出, 随着贮藏温度和湿度的升高, 八角中 SA 含量的下降速率会明显增大。这说明, 贮藏环境的温湿度对八角中 SA 含量具有显著影响。用方差分析法分析了包装方式和贮藏时间对八角中 SA 含量的影响, 结果见表 2。与前面提到的指标不同, 包装方式之间无显著 ( $p > 0.05$ ) 性差异。但不同贮藏时间之间的差异显著 ( $p < 0.01$ ), 这表明贮藏时间对 SA 含量有显著影响。因此, 无论采用哪种包装方法, 随着贮藏时间的延长, SA 含量都会下降。在四种包装方法中, 八角的 SA 含量依次为  $LSB > TSB > WB > TPB$ , 但四种包装方式之间的差异不显著 ( $p > 0.05$ )。

### 3.5. 八角风味成分的变化

八角是一种浓香型天然香辛料, 即以浓香为主要呈香特征, 呈香成分多为芳香族化合物, 无辛、辣等刺激性气味。因此, 在贮藏过程中对八角的挥发性物质进行检测是很有必要的。如图 S1 所示, 不同包装方式八角挥发性成分总离子图显示, 经过 12 个月的贮藏, 样品中挥发性物质的含量发生了明显的变化。深入分析可以发现, (+)-柠檬烯、 $\alpha$ -蒎烯、芳樟醇、4-萜烯醇、草蒿脑、反式-茴香脑、 $\alpha$ -香柠檬烯、 $\beta$ -石竹烯、 $\beta$ -金合欢烯、 $\beta$ -倍半水芹烯和 (s)- $\beta$ -没药烯, 这 11 种物质在八角挥发物质中占比达 89.73%, 其中反式-茴香脑约占 62.65%, 这一结果与 Hasegawa 等<sup>[39]</sup>的研究结果一致。因此, 我们选择这 11 种物质作为代表, 研究不同包装方式下, 八角在不同贮藏阶段挥发性物质的变化。图 4 展示了在不同包装方式下, 八角中的挥发性物质随储存时间变化的热图。颜色由黄变红, 表示相对含量由低变高, 颜色越红代表含量越高。结果表明, 反式-茴香脑的相对含量最大, 颜色最红。四种包装方式随着贮藏时间的延长, 均会导致八角中 11 种主要挥发性物质的损失。随着温度和湿度的增加, 特别是在贮藏后期, 图 4 中的颜色变浅, 表明挥发性化合物的损失更加明显。进一步显著性分析表明, 四种不同的包装方式对八角挥发性物质中的 4-萜烯醇和 (s)- $\beta$ -没药烯的相对含量变化差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 而其余几种均具有显著性差异 ( $p < 0.05$ ), 且整体都为 TS-BP 和 LS-BP 显著高于 W-BP 和 TP-BP。方差分析显示, 对 4-萜烯醇和 (s)- $\beta$ -没药烯来说, 贮藏时间对其具有极显著 ( $p < 0.01$ ) 的影响, 但包装方式对其的影响却不显著 ( $p > 0.05$ ); 对反式-茴香脑来说,

贮藏时间和包装方式对其都具有极显著 ( $p < 0.01$ ) 的影响; 其余几种物质则是贮藏时间对其具有极显著 ( $p < 0.01$ ) 的影响, 包装方式对其具有显著 ( $p < 0.05$ ) 影响。

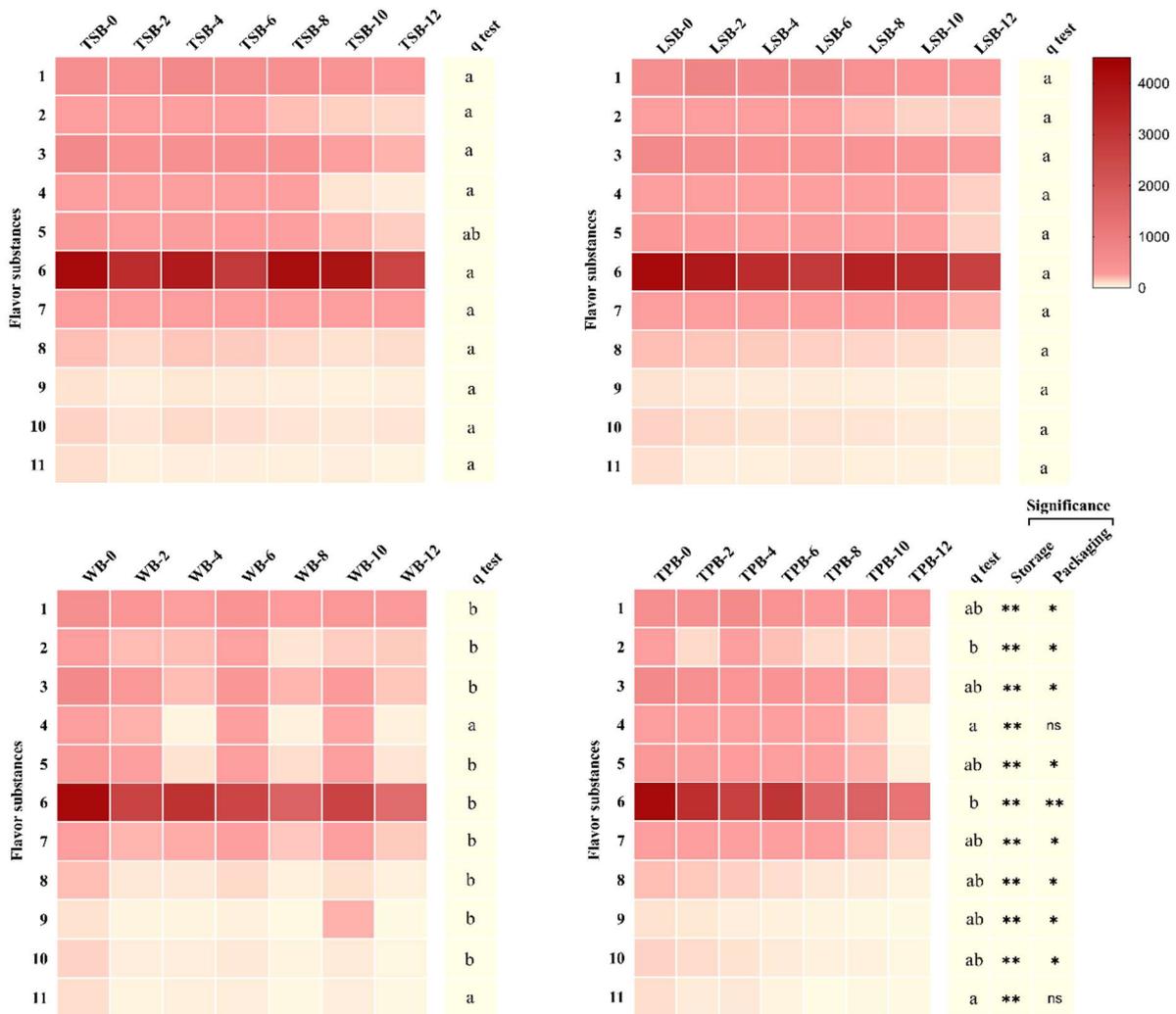


图 4. 比较不同包装方法下八角风味物质随储存时间变化的热图。

**Figure 4.** Heat maps comparing the changes to flavor substances in star anise with storage time under different packaging methods.  
 注: c: 对照样品, 新鲜干燥的八角。连字符后的数字表示贮藏时间, 例如 LSB-2 表示贮藏 2 个月后的 LSB 样品。1-11 (1、(+)-柠檬烯, CAS/5989-28-5; 2、 $\alpha$ -蒎烯, CAS/80-56-8; 3、芳樟醇, CAS/78-70-6; 4、4-萜烯醇, CAS/562-74-3; 5、草蒿脑, CAS/140-67-0; 6、反式-茴香脑, CAS/104-46-1; 7、 $\alpha$ -香柠檬烯, CAS/17699-05-7; 8、 $\beta$ -石竹烯, CAS/87-44-5; 9、 $\beta$ -金合欢烯, CAS/28973-97-9; 10、 $\beta$ -倍半水芹烯, CAS/20307-83-9; 11、(s)- $\beta$ -没药烯, CAS/495-61-4; a: 与正辛醇 (100  $\mu$ L, 4 mg/mL) 相比的相对含量; \*\*表示显著性分析结果 ( $p < 0.01$ ); \*表示显著性分析结果 ( $p < 0.05$ ); ns 表示显著性分析结果 ( $p > 0.05$ ); 小写字母表示不同包装方式对同一样品中挥发性物质相对含量综合影响的显著性分析结果 ( $p > 0.05$ )。

图 5A 和图 5B 显示了采用不同包装方式包装的八角样品在不同贮藏时间下挥发性物质主成分分析结果。我们确定了两个主成分: PC1 (81.9%) 和 PC2 (5.8%) 可以解释 11 种挥发性物质及其原始信息中约 87.7% 的变化。这表明利用两个主成分对不同包装方式下八角随贮藏时间挥发性物质变化进行评价是可行的。从图 5A 中可以看出, 主成分分布图和 PC1 的得分散点图可以很好地将不同包装方式下八角中的 11 种挥发性物质的相对含量随贮藏时间的变化分隔开。同时, PC1 正轴值越大, 越接近对照样品 (C), 说明样品中挥发性物质的保留性越好。采用 TSB 和 LSB 包装的八角主要分散在 PC1 的正轴上, 而其他物质则主要分散在负轴上。图 5B 显示, 有 11 种物质分布在 PC1 的正面, 且

与 PC1 呈正相关。其中, (+)-柠檬烯、 $\alpha$ -蒎烯、4-萜烯醇、草蒿脑、 $\alpha$ -香柠檬烯、 $\beta$ -石竹烯、 $\beta$ -金合欢烯和  $\beta$ -倍半水芹烯在 PC1 中有较大载荷。反式-茴香脑、 $\beta$ -石竹烯、 $\beta$ -金合欢烯、 $\beta$ -倍半水芹烯、(s)- $\beta$ -没药烯这 5 种物质与 PC2 呈负相关, 其余 6 种均与 PC2 呈正相关, 分别为: (+)-柠檬烯、 $\alpha$ -蒎烯、芳樟醇、4-萜烯醇、草蒿脑和  $\alpha$ -香柠檬烯, 其中  $\alpha$ -蒎烯和反式-茴香脑在 PC2 中有较大载荷。

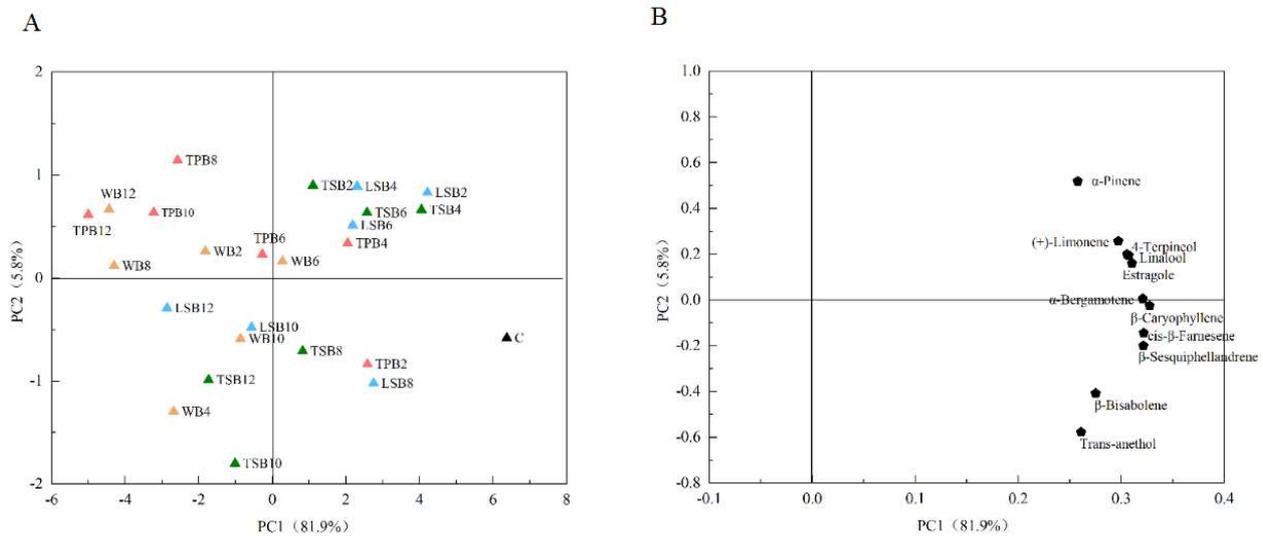


图 5. 采用不同包装方法包装的八角样品在不同储存时间的风味物质 PCA。(A、风味成分 PCA 分数散点图; B、风味成分 PCA 负荷散点图。)

Figure 5. PCA of flavor substances for star anise samples packed with different packaging methods at different storage times. (A, PCA score scatter plot for flavor components; B, PCA loading scatter plot of flavor components.)

此外, 我们还计算了评价模型:  $F = 0.934F_1 + 0.066F_2$ 。再分别计算出不同包装方式下, 八角样品在不同储存时间中挥发性物质主成分得分, 即综合得分, 如表 3 所示。PCA 评分结果表明, 随着贮藏时间的延长, 八角主要挥发性物质的综合得分会逐渐降低。当贮藏时间达到 12 个月时, 四种包装方法的得分分别为:  $-1.68$ 、 $-2.69$ 、 $-4.01$  和  $-4.63$ 。两种密封包装方法 (TSB 和 LSB) 能更好地保留八角中的主要挥发性物质。综合所有贮藏期间的得分, 由大到小的得分排序为:  $LSB > TSB > TPB > WB$ 。总之, 无论采用哪种包装方法, 八角中主要挥发性无助的相对含量在室温下都会随着时间的延长而逐渐降低。尤其是环境温度和湿度升高的情况下, 其损失更为严重。两种密封包装都可以较好的保留八角中的挥发性物质, 其中又以 LSB 更佳。

### 3.6. 层次聚类分析

为了更全面地评估随着贮藏时间的延长, 不同包装方式下八角品质的差异, 我们对八角的挥发性无助和理化性质的变量进行了层次聚类分析, 以对照比较不同样品。参照 Yildiz 等<sup>[40]</sup>的研究结果, 将挥发性物质的主成分得分和其他理化指标数据用于层次聚类分析, 结果如图 6 所示。图 6A 可见, 这些样品可明显分为三组: 贮藏初期、贮藏中期和贮藏后期。这表明, 它们的理化性质的变化与贮藏时间密切相关。在贮藏中期组中, 用 LSB 和 TSB 包装、贮藏时间长达 4-10 个月的样品在树状图中表现出相似的性质, 彼此接近。对该区域深入研究发现, 由于 LSB 和 TSB 两种包装方式都能较好的保留八角中的有效物质和色泽, 因此结果比较接近。而采用 LSB 和 TSB 方法包装的样品与 WB 和 TPB 相比, 随着贮藏时间的延长, 质量损失更小。值得注意的是, 采用 TSB 法包装的样品可存放长达 8 个月, 而采用 LSB 法包装的样品可存放长达 10 个月。从八角的挥发性物质 (图 6B) 来看, 有

表 3. 不同样品主成分得分。  
Table 3. PCA scores of different samples.

Sample	Principal component score		Comprehensive score	Samples rank	Total score	Rank
	F1	F2				
C	6.38	-0.58	5.92	1	5.92	-
TSB-2	1.11	0.90	1.10	10		
TSB-4	4.06	0.66	3.83	3		
TSB-6	2.57	0.63	2.45	5	5.35	2
TSB-8	0.82	-0.71	0.72	11		
TSB-10	-1.0	-1.80	-1.06	16		
TSB-12	-1.73	-0.99	-1.68	18		
LSB-2	4.22	0.83	4.00	2	7.55	1
LSB-4	2.31	0.89	2.22	7		
LSB-6	2.19	0.51	2.08	8		
LSB-8	2.76	-1.02	2.51	4		
LSB-10	-0.56	-0.48	-0.56	14		
LSB-12	-2.86	-0.29	-2.69	21		
WB-2	-1.82	0.26	-1.68	17	-12.95	4
WB-4	-2.68	-1.30	-2.59	20		
WB-6	0.28	0.16	0.27	12		
WB-8	-4.30	0.12	-4.01	23		
WB-10	-0.86	-0.59	-0.84	15		
WB-12	-4.44	0.67	-4.10	24		
TPB-2	2.59	-0.84	2.36	6	-5.86	3
TPB-4	2.05	0.34	1.94	9		
TPB-6	-0.27	0.23	-0.24	13		
TPB-8	-2.57	1.14	-2.33	19		
TPB-10	-3.22	0.64	-2.97	22		
TPB-12	-5.00	0.62	-4.63	25		

三个聚类。其中，用 LSB 包装并保存 4–8 个月的样品与对照组同属一个群组。这些结果无疑表明，与其他方法相比，用 LSB 包装的八角与对照组样品更为相似。进一步说明，LSB 包装贮藏方法能最好地保存八角的挥发性物质。

### 3.7. 霉菌毒素的测定

AFT 和 OTA 标准曲线的线性方程和相关系数见表 4。根据这两类真菌毒素的检测结果可得，八角在室温、通风、独立的环境中贮藏 12 个月，均未感染 AF-B1、AF-B2、AF-G1、AF-G2 和 OTA。这可能是由于，新鲜八角在干燥处理前经过了清洗，且全程采用机械热泵干燥方式，因此大大的降低了传统晾晒过程中真菌污染的几率。与市场上各种食品混合存放的情况不同，实验过程中八角均采取单独存放方式，这也可以避免八角被真菌毒素污染。由此可见，八角贮藏环境对防止其被真菌毒素污染具有重大意义。

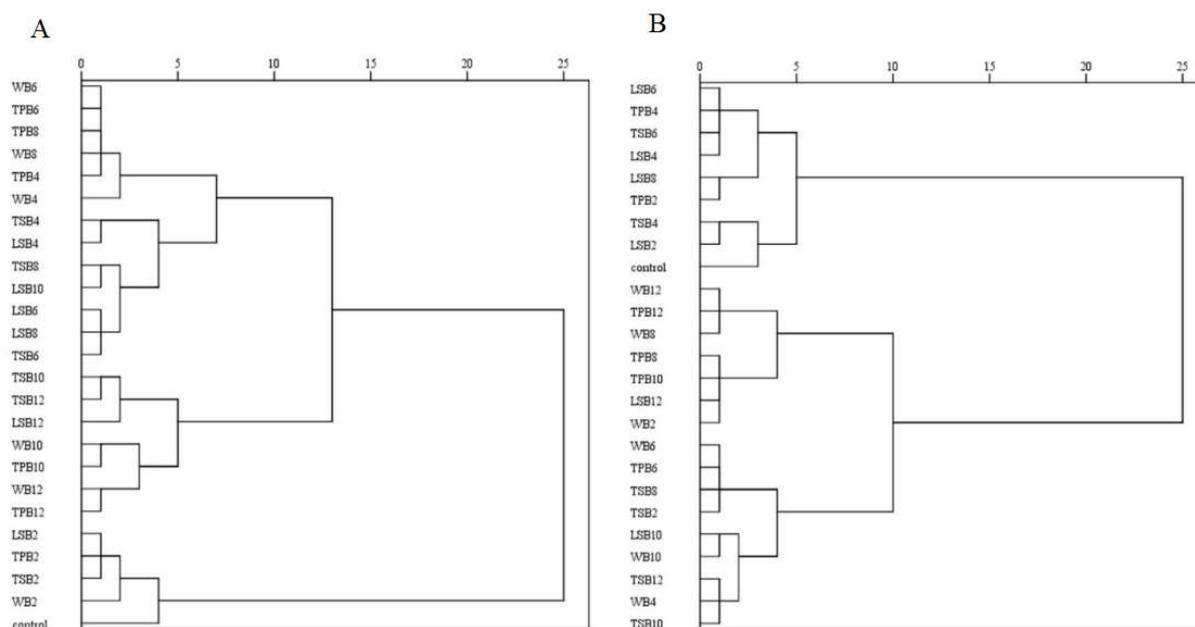


图 6. 不同包装方式下室温储存 12 个月的八角分层聚类分析树状图。(A、理化指标数据用于 HCA; B、挥发性物质主成分得分数据用于 HCA。)

Figure 6. Dendrograms of hierarchical clustering analysis for classification of star anise stored at room temperature for 12 months under different packaging methods. (A, the physicochemical indicator data were used for HCA; B, the PC-scores of flavor substances data were used for HCA.)

注: 对照组: 新干制八角或标准八角; 字母后的数字表示贮藏时间, 如 LSB2 表示储存 2 个月的 LSB 样品。

表 4. AFT 和 OTA 标准曲线的线性方程和相关系数。

Table 4. Linear equation and correlation coefficient of AFT and OTA standard curve.

Name	Regression equation	R <sup>2</sup>	LOD (ng/mL)	LOQ (ng/mL)
AFT-G1	$y = 0.0706x - 0.5752$	0.9999	0.004	0.012
AFT-G2	$y = 0.0142x + 0.1051$	0.9981	0.021	0.069
AFT-B1	$y = 0.1555x - 1.4511$	0.9998	0.002	0.008
AFT-B2	$y = 0.0431x + 0.0759$	0.9992	0.010	0.033
OTA	$y = 1717.8x - 21.649$	0.9960	0.001	0.004

注: LOD-检测限; LOQ-定量限。

## 4. 结论

这项研究表明, 八角的水分含量、色泽、挥发油含量、挥发油中反式-茴香脑含量、莽草酸含量和主要挥发性成分会随着贮藏时间的延长而显著降低。在室温下贮藏时, 除莽草酸含量外, 不同包装方式下干制八角的上述指标均有明显差异。其中, TSB 能更好地促进优质八角色泽的形成, 而 LSB 不仅能更好地减少八角中挥发油含量的损失, 还能更好地保留八角挥发油中反式-茴香脑、莽草酸和挥发性物质。结合聚类分析, 要保证八角的质量, 最好采用密封避光包装 (LSB)。同时, 八角应与其他有异味、易腐烂的物品分开保存, 不应与其他物品存放在一起。

## 补充材料

表 S1. 贮藏期间温度和湿度随时间的变化。

Table S1. Changes in temperature and humidity over time during storage.

Storage time/M	Temperature			Humidity		
	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean
0-3	19.50	13.40	16.15 ± 1.19 <sup>c</sup>	73.90	53.60	66.52 ± 4.98 <sup>d</sup>
3-6	16.80	11.60	13.57 ± 1.40 <sup>d</sup>	74.30	58.30	68.82 ± 3.46 <sup>c</sup>
6-9	27.90	15.00	23.24 ± 3.99 <sup>b</sup>	84.70	60.70	72.64 ± 6.84 <sup>b</sup>
9-12	29.70	23.00	26.55 ± 1.66 <sup>a</sup>	86.90	56.90	78.39 ± 7.08 <sup>a</sup>

注：小写字母代表不同储存时间的温度或湿度之间存在显著差异 ( $p < 0.05$ )。

表 S2. AF 和 OTA 标准曲线的线性方程和相关系数。

Table S2. Linear equation and correlation coefficient of AF and OTA standard curve.

Name	Regression equation	Correlation coefficient/R <sup>2</sup>	LOD (ng/mL)	LOQ (ng/mL)
AF-G1	$y = 0.0706x - 0.5752$	0.9999	0.004	0.012
AF-G2	$y = 0.0142x + 0.1051$	0.9981	0.021	0.069
AF-B1	$y = 0.1555x - 1.4511$	0.9998	0.002	0.008
AF-B2	$y = 0.0431x + 0.0759$	0.9992	0.010	0.033
OTA	$y = 1717.8x - 21.649$	0.9960	0.001	0.004

注：LOD—检测限，LOQ—定量限。

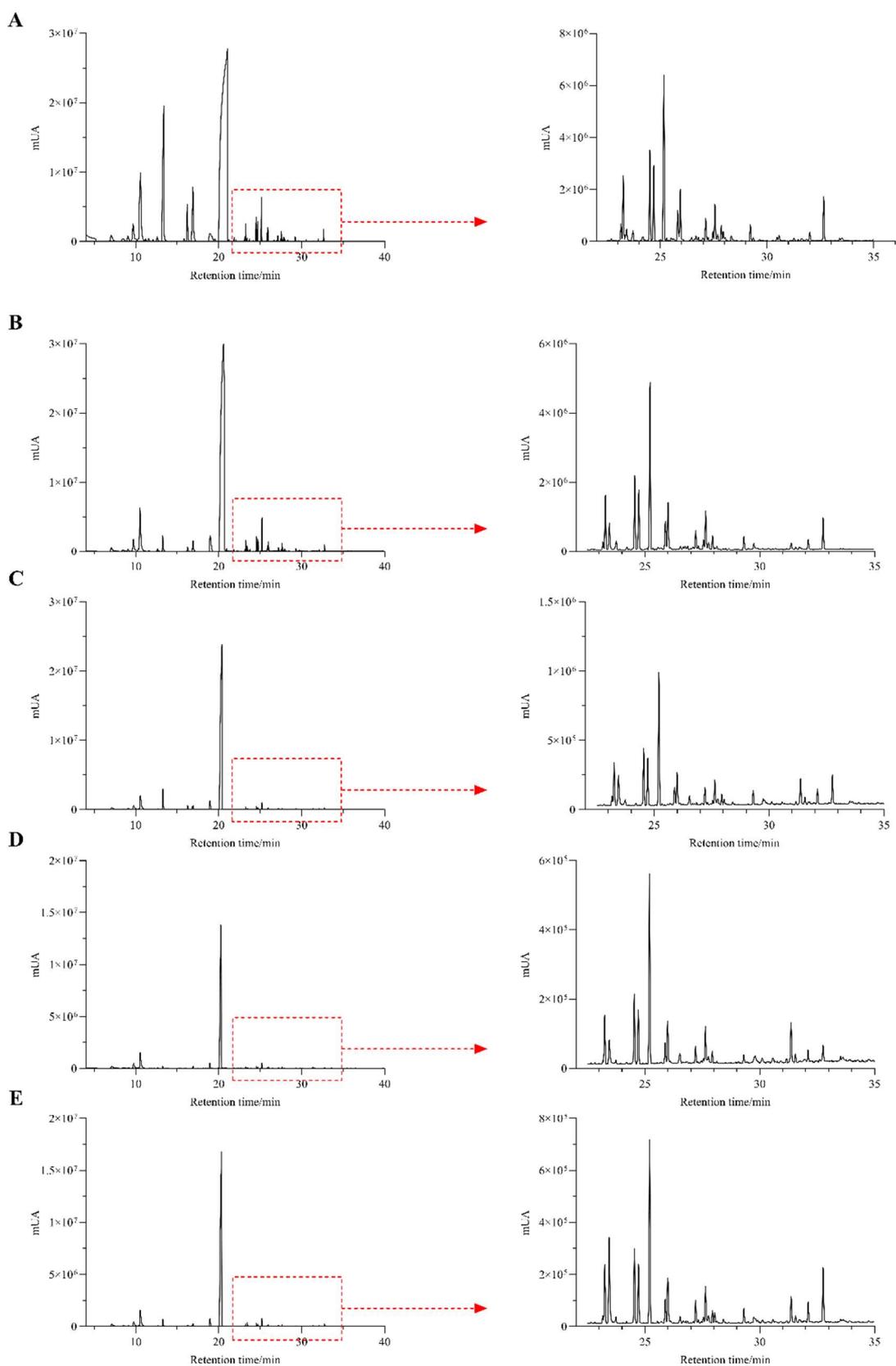


图 S1. 不同包装方式下八角中挥发性物质的 GC-MS 总离子图。

Figure S1. GC-MS total ion diagram of flavor components in star anise under different packaging methods.

注: A、对照样品, 新鲜干燥的八角; B-E、TSB、LSB、WB 和 TPB 包装, 储存 12 个月的八角。

## 作者贡献

概念化, 施月、王智荣、陈涓慧、陈科伟和黄丕苗; 数据整理, 阚建全、王智荣、陈涓慧、陈科伟和黄丕苗; 形式分析, 施月和阚建全; 方法学, 施月和阚建全; 软件, 施月和陈涓慧; 原始草稿撰写, 施月; 审阅和编辑, 施月和王智荣; 监督, 施月、陈涓慧和阚建全; 资金获取, 阚建全; 资源, 阚建全; 项目管理, 阚建全; 验证, 王智荣。所有作者均已阅读并同意手稿的出版版本。

## 致谢

本研究得到了重庆市农业和农村委员会“重庆市现代山地特色高效农业创新团队建设与调味品产业技术体系”项目(编号: 2017[7])的资助。

## 利益冲突

作者声明没有利益冲突。

## 参考文献

1. Saunders RMK. Systematics of the genus *Illicium* L.(Illiciaceae) in Malaysia. *Botanical Journal of the Linnean Society* 1995; 117(4): 333–352. doi: 10.1111/j.1095-8339.1995.tb02588.x
2. Chouksey D, Upmanyu N, Pawar RS. Central nervous system activity of *Illicium verum* fruit extracts. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine* 2013; 6(11): 869–875. doi: 10.1016/S1995-7645(13)60155-8
3. Sabry BA, Farouk A, Badr AN. Bioactivity evaluation for volatiles and water extract of commercialized star anise. *Heliyon* 2021; 7(8): e07721. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07721
4. Cai M, Luo Y, Chen J, et al. Optimization and comparison of ultrasound-assisted extraction and microwave-assisted extraction of shikimic acid from Chinese star anise. *Separation and Purification Technology* 2014; 133: 375–379. doi: 10.1016/j.seppur.2014.06.064
5. Wang GW, Hu WT, Huang BK, Qin LP. *Illicium verum*: A review on its botany, traditional use, chemistry and pharmacology. *Journal of Ethnopharmacology* 2011; 136(1): 10–20. doi: 10.1016/j.jep.2011.04.051
6. Kanatt SR, Chawla SP, Sharma A. Antioxidant and radio-protective activities of lemon grass and star anise extracts. *Food Bioscience* 2014; 6: 24–30. doi: 10.1016/j.fbio.2014.03.002
7. Padmashree A, Roopa N, Semwal AD, et al. Star-anise (*Illicium verum*) and black caraway (*Carum nigrum*) as natural antioxidants. *Food Chemistry* 2007; 104(1): 59–66. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.10.074
8. Wang L, Liang Y, Wang Z, et al. Ultrasonic nebulization extraction coupled with on-line gas chromatography for determination of *trans*-anethole in spices. *Talanta* 2009; 80(2): 864–869. doi: 10.1016/j.talanta.2009.08.006
9. Ohira H, Torii N, Aida TM, et al. Rapid separation of shikimic acid from Chinese star anise (*Illicium verum* Hook. f.) with hot water extraction. *Separation and Purification Technology* 2009; 69(1): 102–108. doi: 10.1016/j.seppur.2009.07.005
10. Dongare V, Kulkarni C, Kondawar M, et al. Inhibition of aldose reductase and anti-cataract action of *trans*-anethole isolated from *Foeniculum vulgare* Mill. fruits. *Food Chemistry* 2012; 132(1): 385–390. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.11.005
11. Samadi-Noshahr Z, Ebrahimzadeh-Bideskan A, Hadjzadeh MAR, et al. *trans*-Anethole attenuated renal injury and reduced expressions of angiotensin II receptor (AT1R) and TGF- $\beta$  in streptozotocin-induced diabetic rats. *Biochimie* 2021; 185: 117–127. doi: 10.1016/j.biochi.2021.03.011
12. Giuffrida D, Dugo P, Torre G, et al. Evaluation of carotenoid and capsaicinoid contents in powder of red chili peppers during one year of storage. *Food Research International* 2014; 65: 163–170. doi: 10.1016/j.foodres.2014.06.019
13. Karam L, Salloum T, El Hage R, et al. How can packaging, source and food safety management system affect the microbiological quality of spices and dried herbs? The case of a developing country. *International Journal of Food Microbiology* 2021; 353: 109295. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109295
14. Korkmaz A, Atasoy AF, Hayaloglu AA. Changes in volatile compounds, sugars and organic acids of different spices of peppers (*Capsicum annum* L.) during storage. *Food Chemistry* 2020; 311: 125910. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125910
15. Misra N. Influence of temperature and relative humidity on fungal flora of some spices in storage. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung* 1981; 172(1): 30–31. doi: 10.1007/BF01255458

16. Mizani M, Sheikh N, Ebrahimi SN, et al. Effect of gamma irradiation on physico-mechanical properties of spice packaging films. *Radiation Physics and Chemistry* 2009; 78(9): 806–809. doi: 10.1016/j.radphyschem.2009.04.021
17. Codex Alimentarius International Food Standards. Code of practice for the prevention and reduction of mycotoxins in spices: CAC/RCP 78-2017. Available online: [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXC%2B78-2017%252FCXC\\_078e.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXC%2B78-2017%252FCXC_078e.pdf) (accessed on 21 November 2023).
18. Cheng J, Ke J, Hou X, et al. Changes in qualities of dried *Zanthoxylum armatum* DC. at different storage methods. *Food Packaging and Shelf Life* 2021; 29: 100716. doi: 10.1016/j.fpsl.2021.100716
19. Yang R. *The Study on the Stability of Numb-Taste Of Zanthoxylum and its Product in Different Treatments and Storage Conditions* [PhD thesis]. Hebei University of Engineering; 2018.
20. Duman AD. Storage of red chili pepper under hermetically sealed or vacuum conditions for preservation of its quality and prevention of mycotoxin occurrence. *Journal of Stored Products Research* 2010; 46(3): 155–160. doi: 10.1016/j.jspr.2010.02.002
21. Ding Z, Wang Z, Zheng W, et al. Principal component analysis of volatile flavor compounds of dried peppers with different packaging (Chinese). *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology* 2014; 14(1): 285–292. doi: 10.16429/j.1009-7848.2014.01.038.
22. Shi Y, Chen G, Chen K, et al. Assessment of fresh star anise (*Illicium verum* Hook.f.) drying methods for influencing drying characteristics, color, flavor, volatile oil and shikimic acid. *Food Chemistry* 2021; 342: 128359. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128359
23. Liu S, Wang H, Ma S, et al. Radiofrequency-assisted hot-air drying of Sichuan pepper (Huajiao). *LWT—Food Science and Technology* 2021; 135: 110158. doi: 10.1016/j.lwt.2020.110158
24. Wu X, Zhang M, Li Z. Influence of infrared drying on the drying kinetics, bioactive compounds and flavor of *Cordyceps militaris*. *LWT—Food Science and Technology* 2019; 111: 790–798. doi: 10.1016/j.lwt.2019.05.108
25. Zhang L. *Research on the Extraction Process of Shikimic acid from the Pericarps of Illicium Macranthum A. C. Smith* [Master's thesis]. Jiangnan University; 2017.
26. Jia C, Zhang X, Sun X, et al. Determination of volatile components from *Illicium verum* Hook. F. by HS-SPME and GC-MS (Chinese). *Journal of Zhengzhou University of Light Industry (Natural Science Edition)* 2009; 24(2): 21–26.
27. Gholivand MB, Rahimi-Nasrabadi M, Chalabi H. Determination of essential oil components of star anise (*Illicium verum*) using simultaneous hydrodistillation–static headspace liquid-phase microextraction–gas chromatography mass spectrometry. *Analytical Letters* 2009; 42(10): 1382–1397. doi: 10.1080/00032710902961081
28. Kulapichitr F, Borompichaichartkul C, Supparorasatit I, Cadwallader KR. Impact of drying process on chemical composition and key aroma components of Arabica coffee. *Food Chemistry* 2019; 291: 49–58. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.03.152
29. Zhao D, Tang J, Ding X. Analysis of volatile components during potherb mustard (*Brassica juncea*, Coss.) pickle fermentation using SPME–GC–MS. *LWT—Food Science and Technology* 2007; 40(3): 439–447. doi: 10.1016/j.lwt.2005.12.002
30. Wu X, Zhang X, Yang Y, et al. Development of a deep eutectic solvent-based matrix solid phase dispersion methodology for the determination of aflatoxins in crops. *Food Chemistry* 2019; 291: 239–244. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.04.030
31. Giancarlo B, Elisabetta B, Edmondo C, et al. Determination of ochratoxin A in eggs and target tissues of experimentally drugged hens using HPLC–FLD. *Food Chemistry* 2011; 126(3): 1278–1282. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.11.070
32. Wang Q, Ou Z, Jiang L, Wen Q. Influences of different drying methods and cultivation areas on the quality of star anise fruit. *China Condiment* 2010; 9: 48–55. doi: 10.3969/j.issn.1000-9973.2010.09.007
33. Udomkun P, Nagle M, Argyropoulos D, et al. Compositional and functional dynamics of dried papaya as affected by storage time and packaging material. *Food Chemistry* 2016; 196: 712–719. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.09.103
34. Yu C, Zhang J, Wang T. Star anise essential oil: Chemical compounds, antifungal and antioxidant activities: A review. *Journal of Essential Oil Research* 2021; 33(1): 1–22. doi: 10.1080/10412905.2020.1813213
35. Li P, Shu Z, Shen X, et al. Effects of storage time and methods on weight loss and antimicrobial activity of star anise oil (Chinese). *Food and Fermentation Industry* 2017; 43(2): 232–238. doi: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201702040.
36. Liang Y. *Study on Quality Change and Influencing Factors of Chuanxiong Rhizoma During Storage* [Master's thesis]. Chengdu University of Traditional Chinese Medicine; 2018.
37. Singh G, Maurya S, deLampasona MP, Catalan C. Chemical constituents, antimicrobial investigations and antioxidative potential of volatile oil and acetone extract of star anise fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2005; 86(1): 111–121. doi: 10.1002/jsfa.2277

38. Ghosh S, Chisti Y, Banerjee UC. Production of shikimic acid. *Biotechnology Advances* 2012; 30(6): 1425–1431. doi: 10.1016/j.biotechadv.2012.03.001
39. Hasegawa T, Seimiya H, Fujihara T, et al. Aroma profile of star anise and the structure-odor relationship of anethole. *Natural Product Communications* 2014; 9(2): 251–256. doi: 10.1177/1934578X1400900230
40. Yildiz S, Pokhrel PR, Unluturk S, Barbosa-Cánovas GV. Shelf life extension of strawberry juice by equivalent ultrasound, high pressure, and pulsed electric fields processes. *Food Research International* 2021; 140: 110040. doi: 10.1016/j.foodres.2020.110040

**Original Research Article****Assessment of dried star anise (*Illicium verum Hook.f.*) for color, volatile oil, shikimic acid, and flavor during room-temperature storage affected by packaging methods**Yue Shi<sup>1,2,3,4</sup>, Zhirong Wang<sup>1,3,4</sup>, Xuhui Chen<sup>1,3,4</sup>, Kewei Chen<sup>1,3,4</sup>, Pimiao Huang<sup>1,3,4</sup>, Jianquan Kan<sup>1,3,4,\*</sup><sup>1</sup> College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China<sup>2</sup> College of Light Industry and Engineering, Sichuan Technology and Business College, Chengdu 611835, Sichuan Province, China<sup>3</sup> Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Agro-products on Storage and Preservation (Chongqing), Ministry of Agriculture, Chongqing 400715, China<sup>4</sup> Chinese-Hungarian Cooperative Research Centre for Food Science, Chongqing 400715, China

\* Corresponding author: Jianquan Kan, kanjianquan@163.com

**Abstract:** Consumer demands for food packaging and quality are increasing, and the preservation of food quality during storage is critical, especially for spices. In this study, four different packaging methods, which were packaging using a transparent sealing bag (TSB), a transparent plastic bag (TPB), a lightproof sealing bag (LSB), and a woven bag (WB), were applied to the storage of star anise at room temperature for one year. Changes in moisture content, volatile oil (VO), trans-anethole in VO (TA-O), shikimic acid (SA), main flavor substances, and mycotoxins were monitored during storage. The results show that the two sealed packaging methods (TSB and LSB) were better at preventing moisture absorption than unsealed packaging (WB and TPB). In addition, the color of star anise packaged using the TSB method was the best, although the LSB method effectively reduced the loss of SA, VO, and TA-O. The gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS) and principal component analysis (PCA) results show that the flavor substance scores of the LSB sample were the highest, followed by those of the TSB, TPB, and WB samples. Finally, the quality characteristics of star anise packaged using various methods for preservation were assessed using hierarchical clustering analysis (HCA). The LSB method was found as the best storing method for dried star anise at room temperature.

**Keywords:** star anise; packaging methods; storage; physicochemical properties; flavor components