

基于艾叶-丁香精油复配的番茄保鲜包装效果研究

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2023.06.004

李林林¹ 孙建明^{1,2}
刘 辉^{1,2} 曹前荣¹

1. 河南科技大学
包装工程系
河南 洛阳 471000
2. 河南省智能与防护包装设计工程研究中心
河南 洛阳 471000

摘 要: 探究艾叶-丁香精油复配对番茄的保鲜效果。首先,以艾叶及丁香精油浓度、浸泡时间为变量,采用单因素试验法筛选得到两种精油的最佳浓度及最佳浸泡时间;然后,以失重率和硬度为测试指标进行正交试验,得到最佳复配比例,并通过测定番茄果实的失重率、硬度、可溶性固形物(TSS)含量、抗坏血酸含量、过氧化物酶(POD)活性、丙二醛(MDA)含量来探究两种精油复配对番茄保鲜效果的影响。单因素和正交试验结果表明,当艾叶精油质量浓度为1.00 g/L、丁香精油质量浓度为0.50 g/L、浸泡时间为3 min时,保鲜效果最佳。以该比例涂覆番茄,贮藏10 d后,番茄果实的失重率和硬度分别为0.991%和21.2 N/cm²,较单因素试验中1.00 g/L艾叶精油组和0.50 g/L丁香精油组,失重率分别降低约30.26%、26.88%,硬度提高约26.42%、20.75%。艾叶精油和丁香精油复配对番茄保鲜有一定的提升效果。

关键词: 艾叶精油;丁香精油;番茄;浸泡;保鲜

中图分类号: TB485.9; TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2023)06-0024-10

引文格式: 李林林,孙建明,刘 辉,等.基于艾叶-丁香精油复配的番茄保鲜包装效果研究[J].包装学报,2023,15(6):24-33.

1 研究背景

番茄,茄科茄属植物,营养价值丰富,有“植物黄金”之美誉^[1-2]。番茄属于典型的呼吸跃变型果实^[3],含水量高,但其果皮较薄,因此,采后极易腐败变质。现阶段,番茄保鲜技术主要包括物理^[4]、化学^[5]、生物^[6]3种方式。物理保鲜技术所需成本较高^[7],化学保鲜剂易造成化学试剂残留和环境污染等问题^[8]。弓德强等^[9]研究发现,在低温贮藏下,1-甲基环丙烯处理可有效保持樱桃番茄果实的采后品

质,但1-甲基环丙烯被人体吸入之后会造成一定的肺部感染。生物保鲜技术因绿色安全等优点在番茄保鲜领域备受关注。番茄生物保鲜技术主要以涂膜^[10]、单一植物精油涂覆^[11]为主,如中草药复配保鲜剂^[12]、超声辅助天然保鲜剂涂膜^[13-14]等。

罗丹等^[15]使用姜油熏蒸处理转色期番茄,发现姜油处理后番茄营养成分的流失有效减少,番茄的货架期延长。张阳阳等^[16]研究了20℃条件下葫芦巴精油对樱桃番茄贮藏品质的影响,发现葫芦巴精油可以较好地维持樱桃番茄的各项营养指标,有效延长其贮

收稿日期:2023-09-16

基金项目:河南省重点研发与推广专项(科技攻关)基金资助项目(222102110161);河南省哲学社会科学规划基金资助项目(2022BYS014);河南科技大学第十一届研究生创新基金资助项目(CCJJ-2022-KJ08)

作者简介:李林林(1998-),女,甘肃秦安人,河南科技大学硕士生,主要研究方向为食品保鲜包装,

E-mail: lll18437985568@163.com

通信作者:孙建明(1978-),男,山东广饶人,河南科技大学副教授,博士,主要从事食品保鲜包装和智能包装研究,

E-mail: sunjianming@haust.edu.cn

藏时间。李姗姗等^[17]分别研究了八角、金银花、香樟叶3种植物精油对樱桃番茄的保鲜效果,结果发现,八角精油对樱桃番茄有显著的保鲜效果;金银花精油只对樱桃番茄的部分营养指标有效果;香樟叶精油对樱桃番茄几乎无保鲜作用。可见,目前的保鲜技术主要集中于使用单一植物精油^[18],以及将植物精油与天然多糖^[19]、蛋白质^[20]、脂质^[21]复合涂膜于果蔬表面进行保鲜。然而,使用单一植物精油时保鲜效果欠佳,后续研究可以考虑将多种植物精油复配,提高对番茄的保鲜效果。

丁香精油萃取自植物丁香的茎或叶^[22],因其活性成分丁香酚、丁香烯等对食源性细菌抑制效果明显^[23],因此丁香精油被广泛应用于果蔬保鲜^[24]。艾叶精油来源于草本植物艾草的叶子、茎等部位^[25]。现有研究表明,艾叶精油具有良好的抑菌性^[26]和抗氧化性^[27],作为植物源保鲜剂在果蔬保鲜方面有着广阔的应用前景^[28]。由于番茄采后贮藏最主要的问题是果实软化速度快,而丁香精油因酚醛类物质含量高表现出强抑菌性,单一使用时保鲜效果欠佳。同时,艾叶精油刺激性气味较强,与丁香精油复配可以在一定程度上缓解艾叶精油的强刺激性气味。因此,本研究拟将艾叶和丁香两种精油进行复配,扩大抑菌范围,探索二者复配后对番茄的保鲜效果,以期为果蔬保鲜包装提供一种新思路。

2 实验

2.1 材料及试剂

水果番茄,购于河南洛阳孟津县某水果超市。

艾叶精油、丁香精油,单方精油,湖北省康纯香料有限公司;吐温-80、草酸、氢氧化钠,分析纯,天津市德恩化学试剂有限公司;30%过氧化氢、硫代巴比妥酸、交联聚乙烯基吡咯烷酮(poly vinyl pyrrolidone pvp, PVPP)、聚乙二醇辛基苯基醚(Triton X-100)、愈创木酚,分析纯,上海市化学工业园区;三氯乙酸、聚乙二醇(polyethylene glycol, PEG) 6000,分析纯,天津市科密欧化学试剂股份有限公司;冰醋酸,分析纯,江苏强盛功能化学股份有限公司;无水醋酸钠,分析纯,天津市大茂化学试剂厂。

2.2 仪器与设备

HZK-JA32 电子天平,精度为 0.001 g,福州华志科学仪器有限公司;GY-4 数显果实硬度计,浙江托普云农科技股份有限公司;LH-B55 数显折光仪,

杭州陆恒生物科技有限公司;AR8011 TDS 计,希玛仪器仪表有限公司;UV759CRT 紫外可见分光光度计,上海佑科仪器仪表有限公司;TGL-16 高速冷冻离心机,四川蜀科仪器有限公司;HD-100 恒温恒湿箱,东莞市海达仪器有限公司;DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器,巩义市予华仪器有限责任公司。

2.3 试验方法

2.3.1 番茄预处理及保鲜处理

1) 预处理:将新采摘的番茄用体积分数为 75% 的无水乙醇擦拭干净后晾干,待保鲜处理。

2) 保鲜处理:将番茄(每组 3 个平行试样)在不同浓度的艾叶及丁香精油溶液中浸泡后晾干,然后将其放入约 0.03 mm 厚的 PE 保鲜袋中,在温度为 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 $(85 \pm 1)\%$ 的条件下,于恒温恒湿箱中贮藏 10 d。

2.3.2 样品及精油溶液的配制

以无任何处理的番茄为空白对照组,记为 CK1。准确称取 2.00 g 吐温-80,将其溶于 1 L 蒸馏水中,记为 CK2。分别称取 0.25, 0.50, 1.00, 2.00 g 艾叶精油及 2.00 g 的吐温-80 于 1 L 烧杯中,分别制得质量浓度为 0.25, 0.50, 1.00, 2.00 g/L 的艾叶精油溶液。不同质量浓度的丁香精油溶液配制方法同上。

2.3.3 试验设计

1) 单因素试验设计:浸泡时间为 2 min,比较不同质量浓度艾叶精油(0.25, 0.50, 1.00, 2.00 g/L)对番茄的失重率和硬度的影响;固定浸泡时间为 2 min,比较不同质量浓度丁香精油浓度(0.25, 0.50, 1.00, 2.00 g/L)对番茄失重率和硬度的影响;固定所得最佳的艾叶精油浓度和丁香精油浓度,比较不同的浸泡时间(1, 2, 3, 4 min)对番茄失重率和硬度的影响。

2) 正交试验设计:根据单因素试验结果,采用三因素三水平进行正交试验设计,以失重率和硬度评价番茄保鲜效果。正交试验因素水平表如表 1 所示,其中 A 代表艾叶精油的质量浓度;B 代表丁香精油的质量浓度;C 代表浸泡时间。

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 The table of orthogonal experimental factor and level

序号	因素		
	A/(g·L ⁻¹)	B/(g·L ⁻¹)	C/min
1	0.50	0.25	2
2	1.00	0.50	3
3	1.50	1.00	4

3) 复配试验设计: 以正交试验所得的最佳复配工艺组合为实验组(记为T组), 以CK1和CK2为两个对照组, 分别于0, 2, 4, 6, 8, 10 d测定番茄果实的失重率、硬度、可溶性固形物(total soluble solids, TSS)含量、抗坏血酸含量、过氧化物酶(peroxidase, POD)活性、丙二醛(malondialdehyde content, MDA)含量。

2.3.4 指标测定方法

硬度使用GY-4型果实硬度计测定果实的硬度, 单位以 N/cm^2 表示。TSS含量使用数显折光仪测定。失重率采用称量法测定, 按照式(1)进行计算。

$$\text{失重率} = \frac{\text{贮藏前质量} - \text{贮藏后质量}}{\text{贮藏前质量}} \times 100\% \quad (1)$$

抗坏血酸含量($\text{mg}/100\text{ g}$)采用紫外分光光度计法测定, 按照式(2)进行计算。

$$\text{抗坏血酸含量} = \frac{V \times m_1}{V_s \times W \times 1000} \times 100 \quad (2)$$

式中: m_1 为由标准曲线求得的抗坏血酸的质量, g; V 为样品提取液的总体积, mL; V_s 为测定时所用样品提取液体积, mL; W 为样品质量, g。

POD活性采用愈创木酚法测定^[29]。取4.0 g去皮的番茄果肉和4.0 mL乙酸-乙酸钠缓冲液于研钵中充分研磨均匀, 在4℃和12 000g的条件下离心15 min, 提取上清液。POD活性按照式(3)~(4)进行计算。

$$U = (\Delta\text{OD}_{470} \times V) / (V_s \times m) \quad (3)$$

$$\Delta\text{OD}_{470} = (\text{OD}_{470\text{F}} - \text{OD}_{470\text{I}}) / (t_{\text{F}} - t_{\text{I}}) \quad (4)$$

式中: m 为样品质量, g; ΔOD_{470} 为每分钟反应混合液吸光度变化值; $\text{OD}_{470\text{F}}$ 为反应混合液吸光度终止值; $\text{OD}_{470\text{I}}$ 为反应混合液吸光度初始值; t_{F} 为反应终止时间, min; t_{I} 为反应初始时间, min。

MDA含量采用硫代巴比妥酸法测定^[30]。取4.0 g去皮番茄果肉和4.0 mL 100 g/L三氯乙酸溶液在研钵中研磨匀浆, 于4℃、10 000g条件下离心15 min, 取其上清液; 取1.0 mL上清液加入1.0 mL质量分数为0.67%的硫代巴比妥酸溶液, 并以1.0 mL 100 g/L的三氯乙酸溶液为对照, 充分混合后在沸水中静置15 min, 然后取出迅速冷却, 转移至比色皿中, 分别在450, 532, 600 nm波长下测定样品的吸光度值。每个样品重复测定3次, 取平均值。根据式(5)计算每克番茄(鲜重, 记为FW)中的MDA含量, 以 $\text{mmol}/\text{g FW}$ 表示:

$$\text{MDA} = (C \times V) / (V_s \times m \times 1000) \quad (5)$$

$$C = 6.45 \times (\text{OD}_{532} - \text{OD}_{600}) - 0.56 \times \text{OD}_{450} \quad (6)$$

式中: C 为反应混合液中MDA浓度, $\mu\text{mol}/\text{L}$; OD_{450} 、 OD_{532} 、 OD_{600} 分别为反应液在450, 532, 600 nm波长下的吸光度值。

2.4 数据处理

每个样品的指标测定均重复3次, 取平均值。以Origin 2018进行数据绘图; 利用统计分析软件SPSS 19.0进行方差分析及正交试验设计; 利用Excel 2010进行数据整理, $P < 0.05$ 时表示不同组别数据之间差异显著。

3 结果与分析

3.1 单因素试验结果与分析

3.1.1 不同浓度艾叶精油对番茄失重率和硬度的影响

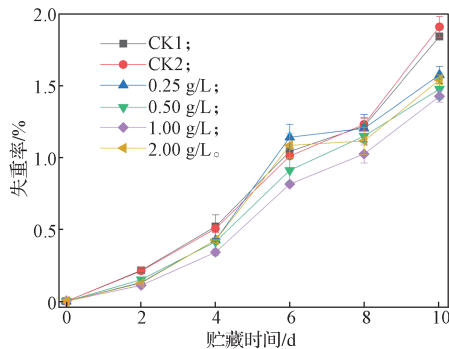
失重率是指番茄贮藏期间因为细胞呼吸和蒸腾作用致使内部营养成分下降或者水分含量减少, 从而导致番茄出现皱缩的现象。失重率是评价番茄果实保鲜效果最直观的指标^[31]。硬度也是衡量果实衰老及果实品质变化的重要指标之一^[32]。不同浓度艾叶精油及空白对照组对番茄失重率和硬度的影响如图1所示。

由图1a可知, 随着贮藏时间延长, 番茄果实失重率整体呈现上升的趋势。贮藏第10 d, CK2组失重率与CK1组差异不显著, 艾叶精油各处理组失重率均显著低于两个空白对照组($P < 0.05$)。番茄后熟阶段, 艾叶精油处理不仅可以在番茄表面形成一层“屏障”, 减弱其呼吸作用和蒸腾作用, 有效降低番茄的失重率, 同时可以在一定程度上有效阻挡外来病原菌的侵染, 减缓番茄的腐败变质。其中, 1.00 g/L的艾叶精油处理组失重率最低, 这可能是因为低浓度艾叶精油还无法达到较好的保鲜效果; 高浓度艾叶精油有较强的刺激作用, 会破坏番茄表皮细胞, 使残余病菌进入番茄果实内部, 同时加快孢子萌发, 反而降低番茄果实的保鲜效果^[33]。

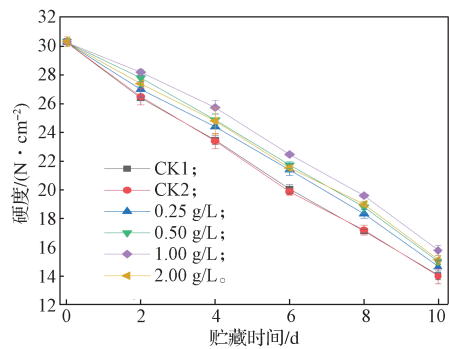
由图1b可知, 番茄果实硬度随着贮藏时间呈现下降的趋势, CK1和CK2组硬度下降较快, 分别从贮藏初期的 $30.267\text{ N}/\text{cm}^2$ 下降到 $14.067\text{ N}/\text{cm}^2$ 和 $14.000\text{ N}/\text{cm}^2$; 经艾叶精油处理的番茄在贮藏期的硬度均高于两个对照组($P > 0.05$), 贮藏第10天时, 1.00 g/L艾叶精油处理的番茄硬度最高。艾叶精油处理后减缓了番茄果实硬度下降速率, 这可能是因为艾叶精

油处理抑制了番茄中水解果胶物质和纤维素相关酶的活性,使番茄果实的胶层溶解速率变慢,延缓了其软化。

综合不同浓度艾叶精油对番茄失重率和硬度的影响,艾叶精油的质量浓度选择 1.00 g/L 为宜。



a) 失重率



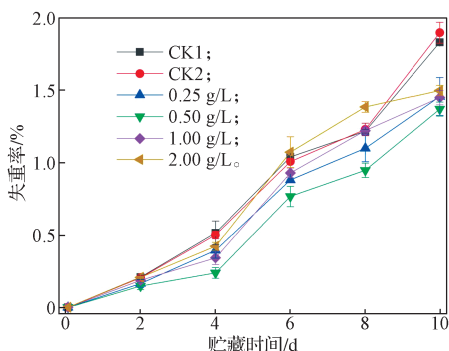
b) 硬度

图1 不同浓度艾叶精油及空白组对番茄失重率和硬度的影响

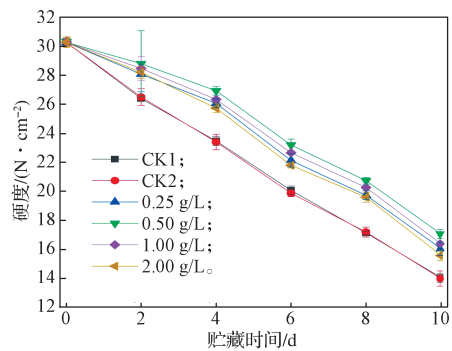
Fig. 1 Effect of different concentrations of essential oil of mugwort and blank group on weight loss ratio and hardness of tomato

3.1.2 不同浓度丁香精油对番茄失重率和硬度的影响

不同浓度丁香精油及空白对照组对番茄失重率和硬度的影响如图2所示。



a) 失重率



b) 硬度

图2 不同浓度丁香精油及空白组对番茄失重率和硬度的影响

Fig. 2 Effect of different concentrations of clove essential oil and blank group on weight loss ratio and hardness of tomato

由图2a可知,随着贮藏时间延长,番茄失重率整体呈现上升的趋势。贮藏第10天,丁香精油各处理组失重率均显著低于CK1组和CK2组($P<0.05$),其中,0.50 g/L的丁香精油处理组失重率最低。由图2b可知,在室温贮藏条件下,随着贮藏时间的延长,番茄果实硬度整体呈现下降的趋势,CK1组硬度下降最快,CK2组次之,分别从30.267 N/cm²下降到14.000 N/cm²和14.067 N/cm²;丁香精油处理后果实硬度下降较为缓慢,0.50 g/L丁香精油处理的效果最好。当丁香精油的质量浓度高于0.50 g/L时,过量的丁香精油会对番茄果实造成“药害”^[34],而丁香精油质量浓度低于0.50 g/L时,又无法达到预期保鲜效果,因此,丁香精油的质量浓度选择0.50 g/L为宜。

3.1.3 不同浸泡时间对番茄失重率和硬度的影响

不同浸泡时间对番茄失重率和硬度的影响如图3所示。由图3a可知,随着贮藏时间延长,番茄失重率整体呈现上升的趋势。贮藏第10天,经浸泡处理的各组番茄失重率均显著低于CK1组和CK2组($P<0.05$);其中浸泡3 min组失重率最低,3 min组与CK1、CK2和1 min组均有极显著差异($P<0.01$),与2 min组和4 min组无显著差异($P>0.05$)。这可能是由于浸泡时间越长,植物精油附着在番茄果实表面的浓度会变高,药害作用严重,反之则精油无法在番茄表面全部覆盖,保鲜效果欠佳^[35]。

由图3b可知,随着贮藏时间的延长,番茄果实硬度整体呈现下降的趋势;与对照组相比,经浸泡处理的番茄果实硬度下降较为缓慢,浸泡时间为3 min时可以较好地维持番茄果实的硬度。贮藏第10天时,

浸泡 3 min 组番茄的果实硬度与 CK1、CK2 有极显著差异 ($P<0.01$), 与浸泡 1 min 和 2 min 组有显著差异 ($P<0.05$), 与 4 min 组无显著差异 ($P>0.05$)。这可能是由于浸泡时间较短时, 浸泡液无法与番茄果实充分接触, 无法充分发挥浸泡液中精油的作用^[36], 而浸泡时间过长, 可能导致番茄果实吸水过多, 破坏番茄果实细胞结构和内环境稳态^[37]。因此, 综合考虑时间成本、失重率和硬度的保鲜效果, 确定浸泡时间为 3 min 是最佳时间。

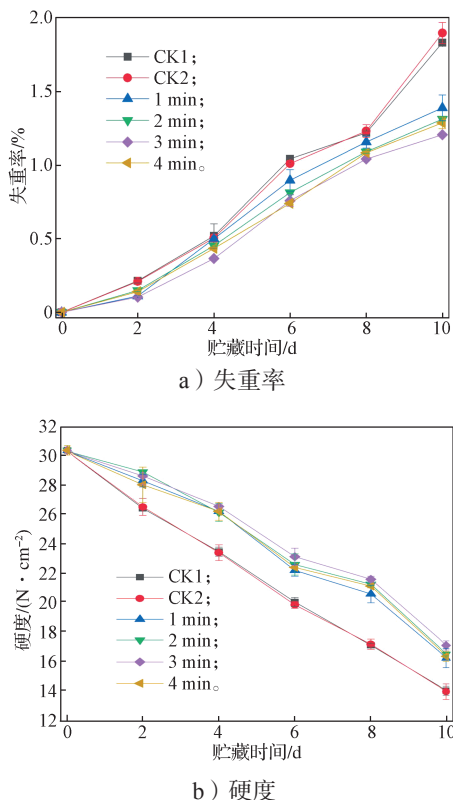


图3 不同浸泡时间对番茄失重率和硬度的影响
Fig. 3 Effect of different soaking time treatment on tomato weight loss ratio and hardness

3.2 正交试验结果与分析

番茄复配正交试验结果如表2所示。由表2可知, 艾叶精油浓度、丁香精油浓度、浸泡时间对番茄在贮藏期间失重率的影响由大到小依次为: 丁香精油浓度、艾叶精油浓度、浸泡时间。若只考虑失重率这一指标, 最佳配方组合为 $A_2B_2C_2$ 。艾叶精油浓度、丁香精油浓度、浸泡时间对番茄硬度的影响规律与失重率的一致。因此, 可确定正交试验复配的最佳配方工艺组合为 $A_2B_2C_2$, 即艾叶精油质量浓度为 1.00 g/L、丁香精油质量浓度为 0.50 g/L, 浸泡时间为 3 min。

采用正交试验得到的最佳复配工艺组合进行验证试验, 平行实验 3 次。在第 10 天测得番茄果实的失重率和硬度分别为 $(0.585 \pm 0.018)\%$ 和 $(23.667 \pm 0.153) N/cm^2$, 与正交试验最佳工艺所得结果基本一致, 同时也表明所优选的工艺稳定、可行。

表2 番茄复配正交试验结果

Table 2 Results of tomato compound orthogonal experiment-weight loss ratio and hardness

序号	A/(g·L ⁻¹)	B/(g·L ⁻¹)	C/min	失重率/%	硬度/(N·cm ⁻²)
1	1	1	1	1.122	19.4
2	1	2	2	0.944	22.8
3	1	3	3	1.543	18.8
4	2	1	2	0.984	22.0
5	2	2	3	0.587	23.6
6	2	3	1	1.012	20.8
7	3	1	3	1.419	19.2
8	3	2	1	1.022	20.6
9	3	3	2	1.053	20.4
K_1	1.203	1.175	1.062		
K_2	0.861	0.851	0.983		
K_3	1.165	1.203	1.183		
k_1	20.333	20.200	20.267	最佳试验条件: $A_2B_2C_2$	
k_2	22.133	22.333	21.733		
k_3	20.067	20.000	20.533		
R	0.342	0.352	0.200		
R'	2.066	2.333	1.466		

3.3 最佳复配工艺对番茄保鲜效果的影响

最佳复配工艺对番茄的失重率、硬度、TSS 含量、抗坏血酸含量、POD 活性、MDA 含量的影响如图 4 所示。

由图 4 可知, 随着贮藏时间的延长, 番茄果实的失重率和 MDA 含量整体呈现上升的趋势, 硬度、TSS 含量、抗坏血酸含量、POD 活性整体呈现下降趋势; T 组的保鲜效果明显优于 CK1、CK2 组。贮藏第 10 天, T 组番茄果实的失重率和硬度分别为 0.991% 和 21.2 N/cm^2 , 较单因素试验中 1.00 g/L 艾叶精油组和 0.50 g/L 丁香精油组, 失重率分别降低约 30.26%、26.88%, 硬度提高约 26.42%、20.75%。T 组的失重率均显著低于 CK1 组和 CK2 组 ($P<0.05$), 硬度、TSS 含量均显著高于 CK1 组和 CK2 组 ($P<0.05$)。这可能是因为精油复配处理可以有效减弱番茄可溶性糖等营养物质的消耗, 且精油可以抑制致病菌利用番茄的营养物质而生长繁殖^[38]。T 组的抗坏血酸含量的下降速率明显变缓, 这是因为两种精油复配处理可以明显提高番茄果实的抗坏血酸酶等抗氧化酶的活性, 可以很好地提高番茄果实的抗氧化能力及抗逆能力^[39]。在贮藏期间, POD 活性显著

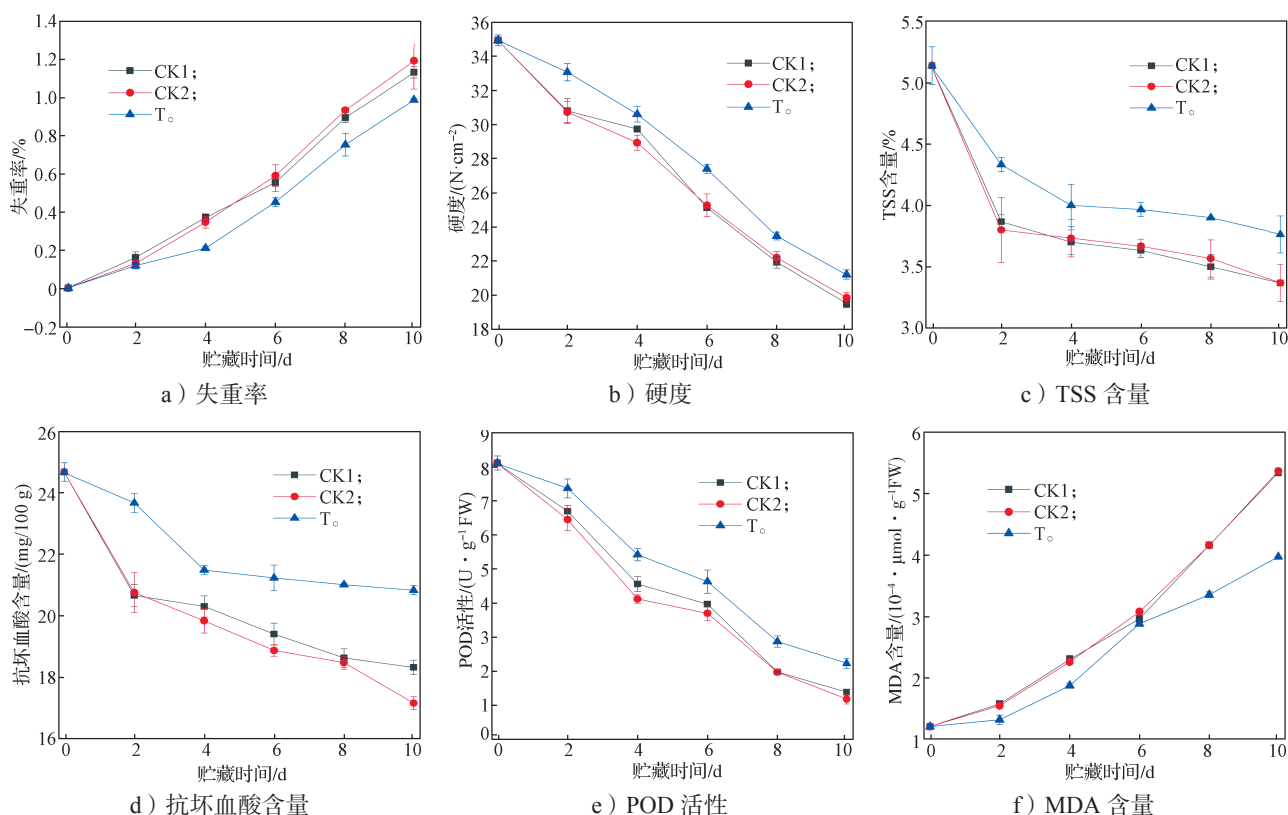


图 4 最佳复配工艺组合对番茄保鲜效果的影响

Fig. 4 Effect of optimal combination of compound technology on fresh-keeping effect of tomatoes

高于 CK1、CK2 组 ($P < 0.05$), MDA 含量显著低于 CK1、CK2 组 ($P < 0.05$)。这是因为番茄细胞中产生的自由基可由复配精油中的酚醛类等活性物质吸收, 形成一种稳定结构^[40]。综上, 最佳复配工艺组合对于减小番茄果实的膜脂过氧化, 延长贮藏时间有着较好的效果^[32]。

4 结语

本研究将艾叶和丁香两种精油进行复配, 探索二者复配后对番茄的保鲜效果。发现艾叶和丁香精油复配对番茄保鲜有明显的作用, 吐温-80 处理组与无处理组的各指标差异不大。单因素和正交试验结果表明, 1.00 g/L 的艾叶精油、0.50 g/L 的丁香精油及 3 min 的浸泡时间处理对番茄保鲜效果最佳; 在此条件下, 两种精油复配后可以较好地维持番茄果实的硬度、TSS 含量和抗坏血酸含量, 延缓失重率的上升, 减小 MDA 含量, 较好地保持 POD 活性。艾叶精油和丁香精油作为生物保鲜剂的前景广阔, 成本低廉、高效快速, 但艾叶精油和丁香精油复配对番茄果实的

抑菌机理有待进一步的研究。同时, 本研究主要采用浸泡的方式对番茄的保鲜效果进行了研究, 下一步可将植物精油与生物基成膜材料复合, 通过涂覆、熔融、共混等方式制备新型保鲜包装, 更好地保持食品新鲜度、延长食品保质期, 以期推进植物精油在食品工业领域的应用进程。

参考文献:

- [1] 胡亚云, 傅虹飞, 寇莉萍. 模拟超市销售期间圣女果质构特性变化的研究 [J]. 食品工业科技, 2012, 33(4): 383-386.
HU Yayun, FU Hongfei, KOU Liping. Study on Texture Characteristic Changes of Cherry Tomato During the Shelf Phase [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(4): 383-386.
- [2] 任邦来, 靳文生. 赤霉素对番茄保鲜效果的影响 [J]. 中国食物与营养, 2012, 18(4): 22-25.
REN Banglai, JIN Wensheng. The Preservation Effects of Tomato by Gibberellin [J]. Food and Nutrition in

- China, 2012, 18(4): 22-25.
- [3] 姚依妮, 孙建明, 李 昭, 等. 可食性涂膜在番茄贮藏保鲜中的研究进展 [J]. 包装与食品机械, 2021, 39(5): 55-61.
YAO Yini, SUN Jianming, LI Zhao, et al. Progress in Research of Edible Coating in the Storage and Preservation of Tomato[J]. Packaging and Food Machinery, 2021, 39(5): 55-61.
- [4] 邵海燕, 吴伟杰, 穆宏磊, 等. 食品新技术在生鲜农产品供应链绿色保鲜中的应用 [J]. 中国食品学报, 2022, 22(9): 1-12.
GAO Haiyan, WU Weijie, MU Honglei, et al. The Application of New Food Technology in Fresh Agricultural Product Supply Chain Green Preservation[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(9): 1-12.
- [5] 宋 耀, 张 静. 樱桃番茄采后贮藏保鲜技术研究进展 [J]. 保鲜与加工, 2016, 16(5): 116-120.
SONG Yao, ZHANG Jing. Research Progress on Storage Technology of Postharvest Cherry Tomato[J]. Storage and Process, 2016, 16(5): 116-120.
- [6] 刘 畅. 生物技术在果蔬保鲜中的发展与应用 [J]. 食品界, 2021(10): 120.
LIU Chang. Development and Application of Biotechnology in Fruit and Vegetable Preservation[J]. Food Industry, 2021(10): 120.
- [7] 隋思瑶, 马佳佳, 陆皓茜, 等. 不同涂膜处理对樱桃番茄保鲜效果的影响 [J]. 保鲜与加工, 2019, 19(5): 40-45.
SUI Siyao, MA Jiajia, LU Haoqian, et al. Effect of Different Coating Treatments on the Preservation Effect of Cherry Tomato[J]. Storage and Process, 2019, 19(5): 40-45.
- [8] 王 怡, 袁 宁, 王佳宇, 等. 鲜切黄瓜保鲜技术研究进展 [J]. 包装工程, 2022, 43(15): 96-104.
WANG Yi, YUAN Ning, WANG Jiayu, et al. Research Progress of Fresh-Cut Cucumber Preservation Technology[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(15): 96-104.
- [9] 弓德强, 李 敏, 高兆银, 等. 1-甲基环丙烯处理对樱桃番茄果实低温贮藏品质的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(4): 116-122, 129.
GONG Deqiang, LI Min, GAO Zhaoyin, et al. Effect of 1-Methylcyclopropene Treatment on Quality of Cherry Tomatoes Stored at Low Temperature[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(4): 116-122, 129.
- [10] 杨晓仪, 刘 浩, 庞 杰. 魔芋葡甘聚糖复合涂膜在食品中的应用研究进展 [J]. 粮食与油脂, 2022, 35(9): 7-9, 17.
YANG Xiaoyi, LIU Hao, PANG Jie. Research Progress on Application of *Konjac Glucomannan* Composite Coating in Food[J]. Cereals & Oils, 2022, 35(9): 7-9, 17.
- [11] 郝恩瑞, 柴春祥. 贝类生物保鲜技术研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(19): 6361-6368.
HAO Enrui, CHAI Chunxiang. Research Progress of Shellfish Biological Preservation Technology[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(19): 6361-6368.
- [12] 蔡纪元, 余响华. 4 种中草药复配保鲜剂的制备及其对番茄保鲜的影响 [J]. 浙江农业科学, 2020, 61(10): 2106-2108, 2112.
CAI Jiyuan, YU Xianghua. Preparation of Four Kinds of Chinese Herbal Medicine Compound Preservatives and Their Effects on Tomato Preservation[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2020, 61(10): 2106-2108, 2112.
- [13] 王素朋, 马利华, 赵功伟. 超声波辅助涂膜保鲜对番茄贮藏品质的影响 [J]. 食品科技, 2020, 45(8): 44-50.
WANG Supeng, MA Lihua, ZHAO Gongwei. Effect of Ultrasonic Assisted Film Preservation on Storage Quality of Tomato[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(8): 44-50.
- [14] 张 璐. 3 种天然保鲜剂对番茄的保鲜效果 [J]. 江苏农业科学, 2022, 50(8): 176-182.
ZHANG Lu. Effects of Three Kinds of Natural Preservatives on Preservation of Tomato[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2022, 50(8): 176-182.
- [15] 罗 丹, 吴 昊, 陈存坤, 等. 姜油处理对番茄保鲜效果的影响 [J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(4): 1410-1414.
LUO Dan, WU Hao, CHEN Cunkun, et al. Effect of Ginger Oil on Preservation of Tomatoes[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2017, 8(4): 1410-1414.

- [16] 张阳阳, 雷磊, 王荣荣, 等. 葫芦巴精油对采后樱桃番茄果实贮藏品质的影响[J]. 食品科技, 2022, 47(6): 52-57.
- ZHANG Yangyang, LEI Lei, WANG Rongrong, et al. Effects of Fenugreek Essential Oil on Storage Quality of Postharvest Cherry Tomato Fruits[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(6): 52-57.
- [17] 李姗姗, 钟献坤, 杨黎, 等. 三种植物精油对樱桃番茄保鲜效果的影响[J]. 北方园艺, 2020(23): 108-114.
- LI Shanshan, ZHONG Xiankun, YANG Li, et al. Effects of Three Essential Oil on Preservation of Cherry Tomato[J]. Northern Horticulture, 2020(23): 108-114.
- [18] 田双娥, 赵晶. 7种植物精油对霉菌的抑制作用研究[J]. 中国文物科学研究, 2021(3): 60-64.
- TIAN Shuang'e, ZHAO Jing. Inhibitory Effect of Seven Kinds of Plant Essential Oils on Mold[J]. China Cultural Heritage Scientific Research, 2021(3): 60-64.
- [19] 朱莉, 李远颂, 尹学琼. 壳聚糖-茶树油复合保鲜液对香蕉的保鲜效果[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(15): 167-169.
- ZHU Li, LI Yuansong, YIN Xueqiong. Preservation Effect of Chitosan-Tea Tree Oil Compound Preservative Solution on Bananas[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(15): 167-169.
- [20] 石素素. 月桂酸对金黄色葡萄球菌的抑菌机制及其在熟鸡肉中的应用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2023.
- SHI Susu. Study on Bacteriostatic Mechanism of Lauric Acid Against *Staphylococcus Aureus* and Its Application in Cooked Chicken[D]. Changchun: Jilin University, 2023.
- [21] 刘树萍, 彭秀文, 张佳美, 等. 蛋白/植物精油基复合膜的形成机制及在食品保鲜上的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(22): 342-351.
- LIU Shuping, PENG Xiuwen, ZHANG Jiamei, et al. Research Progress on the Formation Mechanism of Protein/Essential Oil-Based Composite Films and Application in Food Preservation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(22): 342-351.
- [22] BENTO M H L, OUWEHAND A C, TIIHONEN K, et al. Essential Oils and Their Use in Animal Feeds for Monogastric Animals-Effects on Feed Quality, Gut Microbiota, Growth Performance and Food Safety: A Review[J]. Veterinárni Medicína, 2013, 58(9): 449-458.
- [23] FALLEH H, BEN JEMAA M, SAADA M, et al. Essential Oils: A Promising Eco-Friendly Food Preservative[J]. Food Chemistry, 2020, 330: 127268.
- [24] 周晓薇, 王静, 顾镍, 等. 植物精油对果蔬防腐保鲜作用研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 427-430.
- ZHOU Xiaowei, WANG Jing, GU Nie, et al. Research Progress in Preservative Effect of Plant Essential Oil on Fruits and Vegetables[J]. Food Science, 2010, 31(21): 427-430.
- [25] 兰晓燕, 张元, 朱龙波, 等. 艾叶化学成分、药理作用及质量研究进展[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(17): 4017-4030.
- LAN Xiaoyan, ZHANG Yuan, ZHU Longbo, et al. Research Progress on Chemical Constituents from *Artemisiae Argyi Folium* and Their Pharmacological Activities and Quality Control[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2020, 45(17): 4017-4030.
- [26] 路露, 姚琪, 束成杰, 等. 陕西商洛艾叶精油和醇提物成分分析及其抗菌抗氧化活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2020, 32(11): 1852-1859.
- LU Lu, YAO Qi, SHU Chengjie, et al. Composition, Antibacterial and Antioxidant Activities of Essential Oil and Alcohol Extract from *Artemisia Argyi* in Shangluo, Shaanxi Province[J]. Natural Product Research and Development, 2020, 32(11): 1852-1859.
- [27] SIVAKUMAR D, BAUTISTA-BAÑOS S. A Review on the Use of Essential Oils for Postharvest Decay Control and Maintenance of Fruit Quality During Storage[J]. Crop Protection, 2014, 64: 27-37.
- [28] 王欣格, 赵璐, 叶俊伟, 等. 艾粉提取物及其复合保鲜剂对圣女果番茄和葡萄的保鲜效果研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(7): 2084-2089.
- WANG Xinge, ZHAO Lu, YE Junwei, et al. Study on the Preservation Effect of *Artemisia Argyi* extract and Its Compound Preservative on Cherry Tomatoes and Grapes[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(7): 2084-2089.
- [29] 张 慇, 冯彦君. 果蔬生物保鲜新技术及其研究进展

- [J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(5): 449-455.
ZHANG Min, FENG Yanjun. New Bio-Preservation Technology of Fruits & Vegetables and Its Research Progress[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2017, 36(5): 449-455.
- [30] 李忠光, 龚明. 愈创木酚法测定植物过氧化物酶活性的改进[J]. 植物生理学通讯, 2008, 44(2): 323-324.
LI Zhongguang, GONG Ming. Improvement of Guaiacol Method for Determination of Plant Peroxidase Activity[J]. Plant Physiology Journal, 2008, 44(2): 323-324.
- [31] IMAHORI Y, BAI J H, BALDWIN E. Antioxidative Responses of Ripe Tomato Fruit to Postharvest Chilling and Heating Treatments[J]. Scientia Horticulturae, 2016, 198: 398-406.
- [32] 张晓虎, 李倩, 魏夏夏, 等. 连翘果实多酚提取及其复合涂膜保鲜剂在葡萄保鲜中的应用[J]. 中国农学通报, 2020, 36(4): 135-141.
ZHANG Xiaohu, LI Qian, WEI Xiaxia, et al. Application Extraction from *Forsythia Suspensa* Fruit and Application of Compound Coating Preservative in Grape Freshness Preservation[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(4): 135-141.
- [33] 许泽文, 李环通, 王绮潼, 等. 柠檬草精油成分分析、抑菌性及对巨峰葡萄保鲜研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(1): 51-59.
XU Zewen, LI Huantong, WANG Qitong, et al. Analysis of Volatile Components, Antibacterial Activity and Perseveration on Kyoho Grapes of Lemongrass Essential Oil[J]. Food Research and Development, 2020, 41(1): 51-59.
- [34] 吴富旺, 何业懿, 黄婵婵, 等. 13 种植物精油对香蕉保鲜作用的初步研究[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版), 2019, 37(4): 10-16.
WU Fawang, HE Yeyi, HUANG Chanchan, et al. A Preliminary Study on Preservation Effects of Thirteen Essential Oils on Postharvest Banana Fruit[J]. Journal of Foshan University (Natural Science Edition), 2019, 37(4): 10-16.
- [35] 李子和, 夏洪斌, 张忠, 等. 复配精油纳米乳雾化处理对马铃薯发芽的抑制作用及机理探讨[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(2): 30-37.
LI Zihe, XIA Yibing, ZHANG Zhong, et al. Antigermination Effect of Compound Essential Oil Nanoemulsion Fogging on Potato Tuber and the Exploration of the Mechanism[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(2): 30-37.
- [36] 李泽润, 朱坤福, 田延军, 等. 抗性糊精对冷鲜猪肉保鲜的研究[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(04): 161-171.
LI Runze, ZHU Kunfu, TIAN Yanjun, et al. Study On the Preservation of Cold Pork by Resistant Dextrin[J]. China Food Additives, 2022, 33(04): 161-171.
- [37] 杨蕊, 周嘉文, 沈海阳, 等. 丁香精油-壳聚糖复合保鲜剂的青椒保鲜工艺优化[J/OL]. 宜宾学院学报, 2023: 1-11 [2023-08-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1630.Z.20230605.1416.004.html>.
YANG Rui, ZHOU Jiawen, SHEN Haiyang, et al. Optimization for the Green Pepper Preservation Process of Clove Essential Oil - Chitosan Compound Preservative[J/OL]. Journal of Yibin University, 2023: 1-11 [2023-08-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1630.Z.20230605.1416.004.html>.
- [38] 张旭伟, 徐明磊, 李红艳, 等. 番茄果实可溶性固形物的作用及研究概况[J]. 科技资讯, 2011, 9(15): 160-161.
ZHANG Xuwei, XU Minglei, LI Hongyan, et al. Function and Research Survey of Soluble Solids in Tomato Fruit[J]. Science & Technology Information, 2011, 9(15): 160-161.
- [39] 李逸, 王子鑫, 韩延超, 等. 可降解包装膜的制备及在水蜜桃保鲜中的应用[J]. 包装工程, 2019, 40(23): 23-31, 10.
LI Yi, WANG Zixin, HAN Yanchao, et al. Preparation and Application of Degradable Filmin Peach Preservation[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(23): 23-31, 10.
- [40] 柴向华, 刘智臻, 吴克刚. 液相及气相植物精油清除 DPPH 自由基的研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(11): 218-222.
CHAI Xianghua, LIU Zhizhen, WU Kegang. Scavenging of DPPH Free Radicals by Plant Essential Oils in Gas and Liquid Phases[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(11): 218-222.

(责任编辑: 李玉华)

Study on the Effect of Tomato Preservation Packaging Based on Compounding of Mugwort-Clove Essential Oils

LI Linlin¹, SUN Jianming^{1,2}, LIU Hui^{1,2}, CAO Qianrong¹

(1. Department of Packaging Engineering, School of Art & Design, Henan University of Science and Technology, Luoyang Henan 471000, China; 2. Henan Intelligent and Protective Packaging Design Engineering Research Center, Luoyang Henan 471000, China)

Abstract: The preservation effect of mugwort-clove essential oils compound on tomato was investigated. Firstly, the optimal concentration and soaking time of the two essential oils were obtained by using single factor test with the concentration of mugwort and clove essential oils and the soaking time as the variables. Then, an orthogonal test was carried out with the weight loss ratio and hardness as the test indexes to obtain the optimal blending ratio, and the weight loss ratio, hardness, soluble solid (TSS) content, ascorbic acid content, peroxidase (POD) activity, malondialdehyde (MDA) content were tested to study the effects of the two essential oil compounding on tomato preservation. The results of single factor and orthogonal tests showed that the best preservation effect was achieved when the mass concentration of mugwort essential oil was 1.00 g/L, the mass concentration of clove essential oil was 0.50 g/L, and the soaking time was 3 min. Applying the tomato in this ratio, after 10 d of storage, the weight loss ratio and hardness of tomato were 0.991% and 21.2 N/cm² respectively. The weight loss ratio were about 30.26% and 26.88% lower than that of the 1.00 g/L mugwort essential oil group and the 0.50 g/L clove essential oil group in the single factor experiments, and the hardness increased by about 26.42% and 20.75% respectively. The compounding of mugwort essential oil and clove essential oil could improve tomato preservation.

Keywords: mugwort essential oil; clove essential oil; tomato; soaking; preservation

.....
(上接第 8 页)

Research and Application of Fragility of Red Pottery Products Under Influence of Multiple Factors

LI Guozhi¹, LIU Di¹, LUO Bobo², LI Wenfeng³, LI Yingxin¹, TAN Sike¹

(1. Department of Packaging Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China;
2. Emperor Qinshihuang's Mausoleum Site Museum, Xi'an 710600, China;
3. School of Design and Art, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: In order to explore the influence of structural factors on the fragility of red pottery products and accurately discriminate the fragility of red pottery products, a method of estimating the fragility of red pottery products by dividing them into pottery sherd units is proposed. Taking red pottery sherds as the research object, the effects of mass, width-thickness ratio, curvature and their interaction on fragility were explored by single factor experiments and $L_{27}(3^{13})$ orthogonal interaction experiments, and the fragility of different pottery sherds were obtained by Ansys simulation and test. The results of single factor experiments showed that the mass was negatively correlated with the fragility, and the width-thickness ratio was positively correlated with the fragility. With the increase of curvature, the fragility increased first and then decreased, with a maximum value at 24 m⁻¹. According to the orthogonal interaction experiment, the degree of influence of each factor and its interaction on the fragility was from large to small as follows: mass, width-thickness ratio, curvature, mass × curvature, mass × width-thickness ratio, width-thickness ratio × curvature. The influence of single factor on pottery sherds was more significant, so the influence of single factor should be given priority when determining the fragility of pottery products. Comparing the test results of eight groups of specimens with the simulation results, the maximum error between them was 5.1%, which proved the reliability of the Ansys simulation.

Keywords: red pottery product; fragility; experimental design; Ansys simulation