

# 热包装对蒲城椽头馍保鲜作用的研究

周文利, 张建新, 曹志勇, 李赛杰, 李春花

(西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨凌 712100)

**摘要:** 为延长蒲城椽头馍货架期, 研究热包装对椽头馍的保鲜效果, 以常温包装作为对照, 测定椽头馍在 25℃ 储藏过程中微生物、理化及感官评价指标的变化。研究显示, 热包装椽头馍在储藏过程中的细菌菌落总数变化幅度小于对照组, 对照组椽头馍第 6 d 发霉变质, 热包装椽头馍 15 d 内未被霉菌污染。储藏过程中椽头馍的硬度、黏着性、咀嚼性上升, 水分含量、持水力和内聚力下降, 与对照组相比, 储藏前 6 d, 热包装椽头馍的水分含量、持水力、内聚性较高, 硬度和黏着性较低。新鲜椽头馍中共有 26 种挥发性物质, 储藏过程中酸类、酯类、醇类含量下降, 醛类、酮类和烃类含量增加。热包装椽头馍在储藏 6~15 d 内, 细菌总数增多, 感官品质逐渐下降, 到第 13 d 时, 感官总分 65.19, 综合微生物、理化指标和感官评价, 热包装技术可将椽头馍的保质期延长到 13 d。

**关键词:** 椽头馍; 热包装; 保鲜; 货架期

**文章编号:** 1673-9078(2017)11-180-190

**DOI:** 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.11.026

## Effect of the Thermal Packaging on Preservation of PuCheng ChuanToumo

ZHOU Wen-li, ZHANG Jian-xin, CAO Zhi-yong, LI Sai-jie, LI Chun-hua

(College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** The effect of thermal packaging on the quality of Chuan Toumo was studied for prolonging the shelf-life of Pu cheng Chuan Toumo. The changes of microorganism, physicochemical indexes and sensory evaluation indexes were measured at 25°C using the product packaged at room temperature as a control. The results showed that the total number of bacterial colony changes in thermal packaging was smaller than that in the control group during the storage. The control group got mouldy in 6 days, and no mould was detected in the experimental group within 15 days. The hardness, adhesiveness and chewiness of Chuan Toumo increased during the storage, while the moisture content, water holding capacity and cohesiveness decreased. Compared with the control group, the moisture content, water holding capacity and cohesiveness were higher within the 6 days, while the hardness and adhesiveness were lower. There were 26 kinds of volatile compounds in Chuan Toumo, and the content of esters, alcohols and acids decreased during the storage, while the content of aldehydes, ketones and hydrocarbons increased. The total number of bacteria in the experimental group increased during the storage of 6~15 d, the sensory quality decreased gradually, and the sensory score was 65.19 in thirteen day. Considering the microorganisms, physicochemical indexes and sensory evaluation indexes, the thermal packaging could prolong the shelf-life of ChuanTouMo for about 13 days.

**Key words:** Chuan Toumo; thermal packaging; preservation; shelf-life

蒲城椽头馍是陕西省蒲城县的传统名吃, 历史悠久, 色味俱佳, 其制作工艺被评定为陕西省非物质文化遗产, 良好的声誉让其受到越来越广泛的关注。然而, 椽头馍保质期短暂, 在储藏过程中容易腐败变质却成为制约其工业化发展重要的因素, 因此, 探索合适的保鲜方法, 延长椽头馍保质期, 对推动其工业化和商业化发展是至关重要的。目前关于食品保鲜方法的研究主要集中在使用添加剂和改进生产工艺两方

收稿日期: 2017-05-11

基金项目: 西北农林科技大学科技推广专项 (K403021509)

作者简介: 周文利 (1992-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品工程

通讯作者: 张建新 (1959-), 男, 教授, 研究方向: 食品营养安全与标准化

用, 结果表明汉堡中添加质量分数为 3% 的丙酸钙, 能明显抑制大肠菌和霉菌的新陈代谢, 使汉堡保持较好的口感和风味。Khoshakhlagh K 等<sup>[2]</sup>研究了 CO<sub>2</sub> 对面包货架期的影响, 结果发现面包的货架期随着二氧化碳浓度(0~60%)的增加而延长。宋茹等<sup>[3]</sup>研究了微波杀菌对延长新鲜面包保质期的效果, 结果发现不经任何处理的面包货架期只有 3~4 d, 而经微波杀菌处理的面包保质期可以延长至 12 d。虽然这些方法可延长食品储藏期, 然而, 有关食品添加剂的安全问题层出不穷, 有悖于现代人崇尚营养健康的消费时尚<sup>[4]</sup>, 且 CO<sub>2</sub> 会抑制有益菌的生长, 微波穿透性强, 也不利于人身安全, 此外这些防腐方法也会对产品品质产生一

定的影响。热包装技术是将产品不经冷却直接用无菌均质袋密封包装,避免了使用食品添加剂和改进生产工艺所存在的缺点。

本课题以新鲜馒头为原料,通过研究馒头在储藏过程中微生物指标、理化指标及感官品质的变化,分析热包装技术对延长馒头货架期的效果,为馒头的工业化生产提供科学依据和理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

面粉:蒲城建恒特一粉;发酵剂:馒头老面酵头;包装袋:无菌均质袋,青岛高科技工业园海博生物技术有限公司;营养琼脂培养基,马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA):北京奥博星生物技术有限责任公司。

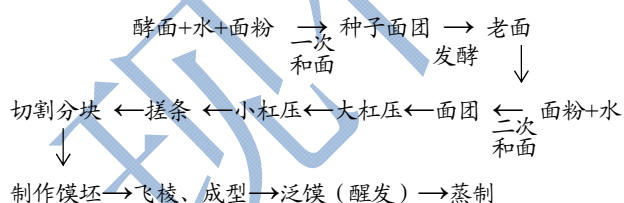
### 1.2 主要仪器设备

CJ-1D 超净工作台天津市泰斯特仪器有限公司;TA.XTPLUS/50 物性测试仪,英国 stable micro-systems 公司;气相色谱质谱联用仪(GC-MS)日本岛津制造所;SC-3610 低速离心机,安徽中科中佳科学仪器有限公司;101-2 电热鼓风干燥箱,北京科伟永兴仪器有限公司;LRH-150 生化培养箱,上海印溪仪器仪表有限公司;LCJ-25C 冷冻干燥机,北京四环科学仪器厂有限公司;FA2004 分析天平,北京赛多利斯仪器系统有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 馒头制作、包装及储藏

馒头制作:



馒头包装:馒头蒸熟后,一部分热包装,另一部分冷却至常温包装。

馒头储藏:25℃储藏。

#### 1.3.2 微生物检测

细菌总数检测:依据 GB 4789.2-2010 进行测定;

霉菌总数检测:依据 GB 4789.15-2010 进行测定。

#### 1.3.3 水分检测

直接干燥法(参照 GB 5009.3-2010)。

#### 1.3.4 持水力测定

将 10 g 冷冻干燥的样品加入 50 mL 去离子水中,浸泡 30 min,放入离心机中 4500 r/min 离心 10 min,测定沉淀物中的含水量<sup>[5]</sup>。其中:

持水性  $WHC(g/g)=A/B$

式中:A,沉淀物的含水量(g);B,沉淀物的干基质量(g)。

#### 1.3.5 红外吸收光谱分析

将冷冻干燥后的蒲城馒头用多功能粉碎机进行粉碎,称量 2 mg,将其放入研钵中,再加入 150 mg 经干燥处理恒重的纯 KBr,在研钵中不断研磨使它们充分混合,然后用成型模具压成厚度为 1 mm 左右的片状,在波数 400~4000  $cm^{-1}$  区间内进行红外扫描<sup>[6]</sup>。

#### 1.3.6 质构特性的测定

采用 TA.XTPLUS/50 物性测试仪进行 TPA 测定,测量前切掉馒头表皮,采用 p/6 探头,TPA 参数设定如下:触发类型设置为“Auto”,起点感应力为 5 g,数据采集速率为 200 pps,测试时测试的前速率为 1.0 mm/s,测试后的速率 11.0 mm/s,测试速率为 1.0 mm/s,两次压缩之间的时间间隔为 5 s,探头起始高度为 60 mm<sup>[7,8]</sup>。从 TPA 试验曲线上得到 7 个质构指标:硬度、黏着性、弹性、内聚性、胶着性、咀嚼性和回复性。

#### 1.3.7 挥发性物质测定

称取 1 g 馒头中心部分至于 10 mL 萃取瓶,至于仪器样品槽中,自动进样<sup>[9,10]</sup>。

色谱条件:载气为高纯氦气,载气速度为 1.0 mL/min,采用不分流进样;进样口温度 240℃;分离用毛细管柱:DB-17MS(30 m×0.25 mm×0.25 mm)。

升温程序:初始温度 40℃,保持 3 min,以 4℃/min 升至 120℃,然后 6℃/min 升至 240℃,保持 9 min。

质谱条件:离子源温度为 230℃,传输线温度为 230℃,离子化模式:EI;电子能 70 eV,质量扫描范围 35~500 u。

馒头挥发性物质经 GC-MS 联用仪进行分离及鉴定,通过化学工作站数据处理系统,检索 NIST11.L 图谱库,确定挥发性成分,采用峰面积归一化法计算各成分的相对含量。

#### 1.3.8 馒头感官评价

感官评分标准在 GB/T 21118-2007 基础上结合馒头特征稍作修改,选取 10 人组成感官评定小组,对馒头品质进行感官评价。

表1 感官评分标准

Table 1 Standard of sensory evaluation

项目	评价标准
外观形状 (10分)	表面光滑、对称、有馒头要求的棱角 8~10; 中等 6~8; 表面粗糙有气泡、不对称、坍塌明显、棱角不明显, 1~6
结构 (10分)	气孔较小而均匀 8~10; 中等 6~8; 气孔大而不均匀 1~6
弹性 (15分)	手指压恢复性好 12~15; 中等 8~12; 弹性差 1~8
粘牙 (10分)	嘴嚼爽口不黏牙 8~10; 中等 5~8; 嘴嚼不爽口、粘牙 0~5
气味 (15分)	有馒头馍香味、略有酸味 12~15; 酸味较浓 9~12; 过酸 1~9
色泽 (10)	洁白 8~10; 中等 5~8; 发灰、发暗 1~5
比容 (20分)	1.70~1.74 为满分, 之外每增加、减少 0.2 g 扣 1 分
高径比 (10分)	0.72 以上为满分, 每减少 0.1 扣 1 分

### 1.3.9 数据统计分析

结果以重复的均值±标准差表示, 试验数据采用软件 Mintab 16.2.3, 在  $p < 0.05$  检验水平下, 进行显著性检验, 并用 Excel 绘图软件进行图形绘制。

## 2 结果与讨论

### 2.1 微生物数目的变化

每 1 mL 或 1 g 检样中所含的菌落总数可以反映食品的新鲜度; GB/T 21118-2007 规定小麦粉馒头的霉菌数  $\leq 200$  cfu/g。

从表 2 可知, 储藏过程中, 菌落总数不断上升,

且对照组的细菌增值速度比热包装快, 食品安全标准未规定可食用馒头中的菌落总数, 但其数量的增多会影响馒头品质, 对消费者健康构成潜在的威胁。热包装馒头馍在储藏过程中无霉菌检出, 而对照组第 6 d 就已经超出国家标准。

高温蒸汽对微生物细胞有致死作用, 刚蒸出来的馒头馍中几乎没有微生物<sup>[11]</sup>。馒头馍腐败变质是由冷却、包装及贮藏过程中引入的微生物污染导致的, 热包装的馒头馍表面温度高, 有效抑制了微生物生长, 若采取常温包装, 由于表面温度的降低, 容易引起微生物污染。

表2 微生物数量的变化

Table 2 Changes of microorganism quantity

储藏时间/d	包装方式	细菌总数/(lg cfu/g)	霉菌总数/(cfu/g)
1	R	1.1±0.17 <sup>a</sup>	-
	CK	1.97±0.13 <sup>a</sup>	-
2	R	2.21±0.05 <sup>b</sup>	-
	CK	2.87±0.12 <sup>b</sup>	-
3	R	2.57±0.13 <sup>c</sup>	-
	CK	3.8±0.09 <sup>c</sup>	-
4	R	3.56±0.05 <sup>d</sup>	-
	CK	4.72±0.07 <sup>d</sup>	-
5	R	4.31±0.05 <sup>d</sup>	-
	CK	5.93±0.04 <sup>de</sup>	133
6	R	4.89±0.07 <sup>e</sup>	-
	CK	7.11±0.07 <sup>e</sup>	300
7	R	5.67±0.12 <sup>e</sup>	-
9	R	6.47±0.08 <sup>f</sup>	-
11	R	7.09±0.06 <sup>f</sup>	-
13	R	7.7±0.08 <sup>f</sup>	-
15	R	8.29±0.06 <sup>h</sup>	-

注: R 表示热包装, CK 表示对照组, 同列不同字母表示有显著性差异 ( $p < 0.05$ ); “-”表示未检出。



## 2.2 水分含量的变化

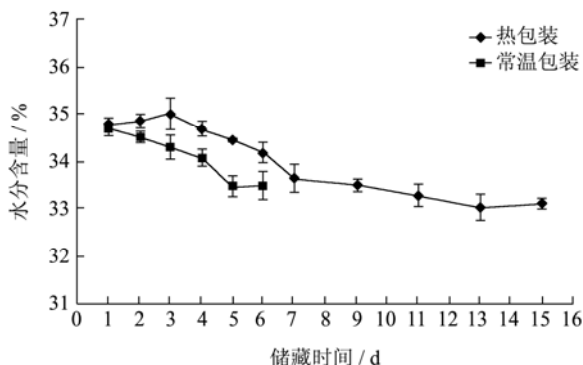


图1 储藏过程中水分含量的变化

Fig.1 Change of the moisture content

如图1所示,两种包装方法的馒头水分含量的变化趋势有所不同,热包装馒头的水分含量先上升后下降再上升,而常温包装先下降后上升,储藏前6d热包装馒头水分含量比对照组高。

馒头热包装后,包装袋内会集聚一部分水珠,使馒头内外形成较大的水分梯度,这些水珠一部分通过包装袋向外散失,散失量和散失速率包装材料的密封性和储藏环境的温湿度紧密相关,另一部分会向馒头内部迁移,热包装馒头储藏前3d水分含量的上升可能与此有关。所以热包装馒头的水分散失比对照组需要更长的时间,水分含量略高,在储藏6~15d过程中,热包装馒头水分含量变化幅度较前6d减缓。储藏后期两种包装方式的馒头水分含量均略有上升,这可能与微生物新陈代谢产生大量的水有关。

## 2.3 持水力的变化

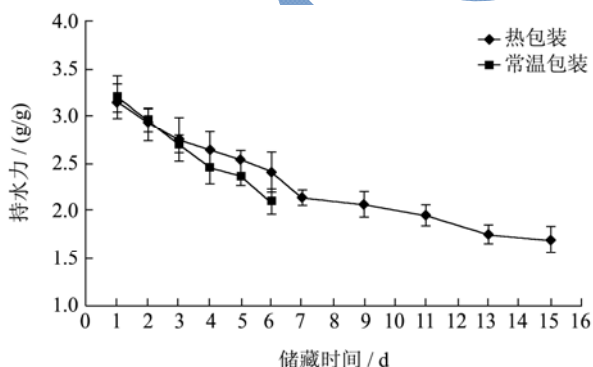


图2 储藏过程中持水力的变化

Fig.2 Changes of the water holding capacity

持水力表示食品中凝胶淀粉空间网络结构能够包围自由水的能力<sup>[12]</sup>,是表征馒头老化程度的重要参数,持水力高,说明淀粉与自由水结合能力强,感官上表现为馒头质地疏松柔软,弹性十足。

由图2知馒头的持水力随着储藏时间的延长不断下降,说明馒头内的淀粉发生了老化。馒头在蒸制过程中淀粉发生糊化作用吸水溶胀,分子体积变大,固定于蛋白网络结构中,糊化后的淀粉在储藏过程中由于温度的降低,缺乏能量,整个体系呈不稳定的状态,发生老化作用,其包含的自由水不断挥发散失,淀粉分子体积变小,分子链重新盘绕缔合,由无序结构逐渐转变为有序结构,最终形成晶体。老化结晶后的淀粉比原来淀粉结构更加紧密复杂,复水能力变弱,持水力下降<sup>[13]</sup>。

储藏前6d热包装馒头持水力高于对照组,这与水分含量和微生物有关,新鲜馒头中的淀粉因糊化作用吸水溶胀,储藏过程中水分的散失导致淀粉中的自由水含量降低,加快了淀粉老化速度<sup>[14]</sup>,微生物繁殖代谢分解淀粉也促进了老化。热包装与对照组相比,水分含量高,微生物数目少,有利于持水能力的保持。

## 2.4 红外吸收光谱分析

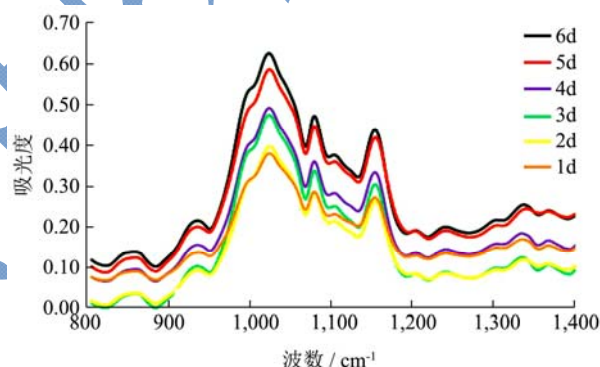


图3 蒲城馒头的红外光谱图(从下至上,1~6d)

Fig.3 FT-IR spectra of Pucheng Chuantoumo (from bottom to top, 1~6 d)

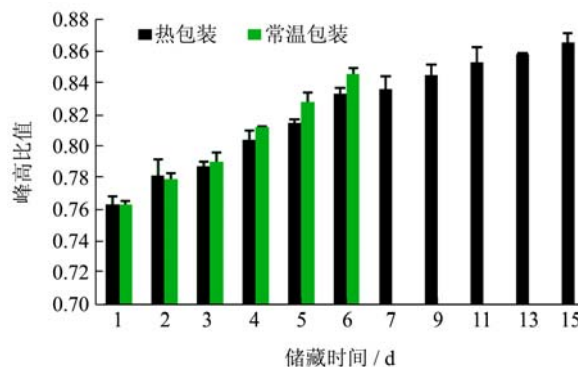


图4 不同包装方法的蒲城馒头红外吸收峰高比值

Fig.4 P Peak heights ratio of Pucheng Chuan Toumo with different packaging methods

红外光谱分析技术是确定物质分子组成和机构的重要手段。根据所测物质的红外光谱曲线中吸收峰的

波段、形状及强度,可以确定未知物中含有的化学官能团,从而可确定其分子结构,既可定性分析,也能定量分析。在淀粉老化的研究中,红外光谱分析技术也有广泛的应用。淀粉分子在近红外光谱敏感区域(1400~800  $\text{cm}^{-1}$ )吸光度比值的变化,可用来表示淀粉分子内部结构的变化<sup>[15]</sup>,图3为蒲城椹头馍样品在储藏过程中的近红外光谱曲线图。

蒲城椹头馍淀粉的红外光谱吸收带主要集中在波数 1153  $\text{cm}^{-1}$ 、1082  $\text{cm}^{-1}$ 、1047  $\text{cm}^{-1}$ 、1022  $\text{cm}^{-1}$  和 930  $\text{cm}^{-1}$  五处位置,且 1047  $\text{cm}^{-1}$  和 1022  $\text{cm}^{-1}$  分别表示已结晶淀粉和未结晶淀粉,这两处峰高的比值可表征蒲城椹头馍淀粉在储藏过程中老化程度的变化趋势<sup>[16]</sup>。由图4知热包装蒲城椹头馍的峰高比值由 0.763 增加到 0.858,常温包装蒲城椹头馍由 0.763 增加到 0.831,峰高比值逐渐变大,表示蒲城椹头馍内已结晶淀粉含量在上升,体系结晶度上升。

储藏前 6 d,热包装蒲城椹头馍的峰高比值低于常温包装,说明常温包装蒲城椹头馍的淀粉老化速率较快。它们之间的差异与水分含量的不同有关,热包装蒲城椹头馍水分含量高,挥发散失需要更长的时间,可以延缓淀粉的老化。

## 2.5 质构指标的变化

如表3所示,椹头馍的硬度、内聚力、胶着性、咀嚼性和回复值等指标均发生了明显的变化,总体表现为硬度、黏着性、咀嚼性显著上升( $p<0.05$ ),内聚力显著下降( $p<0.05$ ),弹性无明显变化,储藏前 6 d,热包装椹头馍硬度和黏着性低于对照组,内聚性高于对照组。在储藏 6~15 d 过程中,热包装椹头馍质构指标变化幅度较前 6 d 减缓。

椹头馍硬度与其含水量和老化密切相关,储藏过程中水分的迁移和散失会引起硬度增加<sup>[17-19]</sup>,支链淀粉的重结晶,蛋白网络结构的破坏也会导致硬度增大<sup>[20]</sup>。对照组椹头馍硬度高于热包装,这是由水分含量不同导致的,水分可提高食品的延展性和柔韧性<sup>[21]</sup>,由 2.2 知热包装椹头馍的水分含量比常温包装的高,故硬度相对较低。

内聚性是指椹头馍内部结合力的大小,感官表现为掉渣程度。内聚性的下降与老化及微生物代谢有关。新鲜蒲城椹头馍内部形似多孔海绵组织,面筋蛋白相互缠绕构成复杂的网络结构,淀粉分子位于孔中,支撑着骨架结构,老化使淀粉分子体积变小,从网络结构中脱离,此外微生物代谢也会损坏网络结构,导致淀粉与蛋白结合力变弱。热包装与常温包装相比,水分含量高,延缓淀粉老化速度,且能有效控制微生物的生长,内聚性略高。

表3 质构指标的变化

Table 3 Changes of texture parameters

时间	包装方式	硬度	黏着性	弹性	内聚性	胶着性	咀嚼性	回复性
1	R	562.94±25.14 <sup>d</sup>	-28.83±3.15 <sup>a</sup>	0.91±0.02 <sup>a</sup>	0.42±0.01 <sup>a</sup>	219.11±14.26 <sup>a</sup>	201.08±16.66 <sup>a</sup>	0.15±0.00 <sup>a</sup>
	CK	570.2±21.2 <sup>a</sup>	-31.35±2.62 <sup>a</sup>	0.94±0.00 <sup>a</sup>	0.43±0.03 <sup>a</sup>	226.78±4.38 <sup>a</sup>	213.9±4.3 <sup>a</sup>	0.16±0.00 <sup>a</sup>
2	R	621.34±21.93 <sup>a</sup>	-38.7±13.74 <sup>ab</sup>	0.96±0.01 <sup>a</sup>	0.38±0.04 <sup>ab</sup>	240.63±19.88 <sup>ab</sup>	231.02±17.28 <sup>a</sup>	0.14±0.01 <sup>ab</sup>
	CK	667.4±21.7 <sup>a</sup>	-41.24±15.31 <sup>ab</sup>	0.96±0.01 <sup>a</sup>	0.38±0.00 <sup>a</sup>	254.72±8.4 <sup>a</sup>	225.01±3.67 <sup>a</sup>	0.13±0.01 <sup>b</sup>
3	R	648.73±36.42 <sup>a</sup>	-53.66±6.83 <sup>ab</sup>	0.90±0.02 <sup>a</sup>	0.39±0.02 <sup>ab</sup>	238±14.42 <sup>ab</sup>	247.41±11.12 <sup>ab</sup>	0.13±0.03 <sup>abc</sup>
	CK	832.9±24.6 <sup>b</sup>	-75.83±14.38 <sup>ab</sup>	0.95±0.02 <sup>a</sup>	0.3±0.03 <sup>b</sup>	250.58±27.34 <sup>a</sup>	238.83±25.61 <sup>a</sup>	0.10±0.01 <sup>c</sup>
4	R	855.15±9.96 <sup>b</sup>	-52.57±4.64 <sup>ab</sup>	0.98±0.01 <sup>a</sup>	0.34±0.02 <sup>bc</sup>	273.27±14.75 <sup>bc</sup>	235.3±17.14 <sup>ab</sup>	0.12±0.01 <sup>bcd</sup>
	CK	955.58±57.2 <sup>c</sup>	-80.54±31.24 <sup>ab</sup>	0.95±0.03 <sup>a</sup>	0.29±0.02 <sup>b</sup>	275.2±26.79 <sup>a</sup>	244.84±6.47 <sup>a</sup>	0.09±0.00 <sup>cd</sup>
5	R	913.0±15.03 <sup>bc</sup>	-54.23±5.69 <sup>ab</sup>	0.94±0.02 <sup>a</sup>	0.32±0.01 <sup>cd</sup>	286.7±17.07 <sup>bcd</sup>	249.44±14.83 <sup>abc</sup>	0.11±0.01 <sup>cde</sup>
	CK	997.2±51.7 <sup>c</sup>	-81.61±34.84 <sup>ab</sup>	0.97±0.01 <sup>a</sup>	0.26±0.02 <sup>b</sup>	264.44±31.88 <sup>a</sup>	257.81±34.77 <sup>a</sup>	0.09±0.01 <sup>cd</sup>
6	R	931.04±19 <sup>bc</sup>	-75.91±13.45 <sup>abc</sup>	0.95±0.05 <sup>a</sup>	0.28±0.02 <sup>d</sup>	317.58±19.14 <sup>cde</sup>	302.73±31.92 <sup>bcd</sup>	0.11±0.01 <sup>cde</sup>
	CK	936.8±18.2 <sup>c</sup>	-99.2±28.82 <sup>b</sup>	0.94±0.02 <sup>a</sup>	0.25±0.01 <sup>b</sup>	237.71±7.93 <sup>a</sup>	262.33±33.78 <sup>a</sup>	0.08±0.00 <sup>d</sup>
7	R	947.15±36.6 <sup>bc</sup>	-80.22±12.58 <sup>bc</sup>	0.97±0.02 <sup>a</sup>	0.28±0.01 <sup>de</sup>	336.29±18.23 <sup>de</sup>	318.37±13.74 <sup>cde</sup>	0.10±0.00 <sup>de</sup>
9	R	971.32±35.5 <sup>cd</sup>	-104.34±8.32 <sup>cd</sup>	0.94±0.05 <sup>a</sup>	0.27±0.01 <sup>e</sup>	323.05±6.32 <sup>cde</sup>	327.33±21.07 <sup>de</sup>	0.10±0.01 <sup>de</sup>
11	R	1106.37±31.2 <sup>de</sup>	-108.38±24.7 <sup>cd</sup>	0.98±0.02 <sup>a</sup>	0.25±0.02 <sup>e</sup>	334.17±25.62 <sup>de</sup>	345.89±18.19 <sup>de</sup>	0.09±0.00 <sup>e</sup>
13	R	1150.34±26.9 <sup>ef</sup>	-120.87±20.28 <sup>cd</sup>	0.99±0.09 <sup>a</sup>	0.25±0.02 <sup>e</sup>	320.92±22.06 <sup>cde</sup>	364.22±53.25 <sup>de</sup>	0.08±0.00 <sup>e</sup>
15	R	1043.28±33.6 <sup>f</sup>	-146.78±24.37 <sup>d</sup>	0.98±0.01 <sup>a</sup>	0.23±0.01 <sup>e</sup>	358.43±6.86 <sup>e</sup>	382.65±13.52 <sup>e</sup>	0.08±0.00 <sup>e</sup>

注: R 表示热包装, CK 表示对照组, 同一包装方式, 不同天数相比, 角标字母不同表示有显著性差异 ( $p<0.05$ )。

黏着性是指当食物附着在牙齿表面时, 剥离它们所需要的力, 越难剥离, 说明黏性越大<sup>[22]</sup>。热包装馒头黏性比常温包装的低。热包装馒头水分含量高, 水作为食品体系中的溶剂, 可提高馒头颗粒的流动性, 故黏性小。此外, 黏性也与微生物污染有关, 新鲜馒头质地柔软、韧性好, 表面光滑不黏牙, 而微生物代谢使馒头出现拉丝、粘手不光滑的情况, 黏性增加<sup>[23]</sup>。

## 2.6 挥发性物质的变化

由表 4 和表 5 可知新鲜馒头中的风味物质共有 26 种, 包括酯类 3 种、醇类 6 种、酸类 4 种、醛类 5 种、烃类 7 种、杂环类 1 种, 其中酸类化合物占比最高 (53.18%)。随着储藏时间的延长, 风味物质的种类和相对含量不断发生变化, 酯类、醇类和酸类的含量下降, 醛类、酮类和烃类含量增加, 储藏过程中新增了 3 种烃类和 3 种酮类化合物。

风味物质中乙酸含量最高, 储藏第 1 d 相对含量为 42.94%, 这与制作工艺有关, 馒头采用老面发酵, 整个制作过程中不加任何碱性物质, 口感略酸。

随着储藏时间延长, 馒头香味变淡, 感官品质下降, 一方面与酯、醇和酸等芳香阈值低的化合物扩散有关, 此外, 还与微生物代谢有关, 如酯被分解为酸和醇, 蛋白质降解产生氨和胺等碱性物质, 还有某

些物质转化为烃类和酮类等。而烃类和酮类化合物大都具有较高的芳香阈值, 对香味贡献较小。腐败微生物的代谢会产生一些难闻的、令人不愉快的挥发性物质, 有研究发现, 面包储藏过程中发黏拉丝, 并伴随有腐烂的水果味时, 就是由于丝状细菌在代谢过程中产生了 3-羟基-2-丁酮和丁二酮等挥发性代谢产物<sup>[24]</sup>。

对照组馒头的风味物质含量变化幅度整体比热包装的大。储藏前 6 d 热包装的酯类含量由 16.3% 降到 8.55%, 而对照组的由 16.3% 降到 7.1%, 热包装酸类含量由 53.18% 降到 42.5%, 而常温包装由 53.18% 降到 39.28%, 酯、醇、酸减少的同时, 其他物质含量在逐渐增加, 如热包装烃类物质由 4.26% 升到 17.46%, 对照组的升至 21.26%, 二者之间的差异与微生物繁殖代谢有关, 对照组馒头中的微生物数量多, 营养物质被快速分解, 风味物质挥发及转化速度快。

对照组第 6 d 已经发霉变质, 热包装馒头在 15 d 内没有被霉菌污染, 但其风味物质的含量仍在发生着变化, 到第 15 d 时, 烃类 (29.69%) 成了含量最高的物质, 其次是醛类 (24.76%), 酸类 (22.77%), 醇 (12.52%), 酯类 (4.55%), 酮类 (4.05%), 杂环类 (1.66%)。可以看出在储藏过程中芳香阈值低, 容易挥发的物质含量不断越低, 而芳香阈值高, 风味活性差的物质含量不断增高, 所以随着储藏时间的延长, 热包装馒头的香味也在逐渐变淡。

表4 椽头馍储藏过程中不同挥发性风味物质相对含量 (%)

Table 4 Relative content of different volatile compounds in Chuan Toumo during the storage

种类	名称	储藏时间/d																	
		1		2		3		4		5		6		7	9	11	13	15	
		R	CK	R	CK	R	CK	R	CK	R	CK	R	CK	R	R	R	R	R	
酯	乳酸乙酯	5.98	5.98	5.69	5.92	4.49	4.51	4.64	3.94	3.50	4.18	2.94	2.28	3.05	2.28	1.74	1.05	1.64	
	乙酸乙酯	8.70	8.70	7.24	7.89	6.74	7.76	5.60	5.34	4.19	3.88	4.36	3.69	3.49	3.53	4.27	4.49	2.59	
	2-苯乙醇乙酸酯	1.62	1.62	1.30	1.72	2.10	1.37	1.31	2.57	1.12	1.48	1.25	1.13	0.96	0.77	0.31	0.67	0.32	
醇	乙醇	4.24	4.24	4.07	4.16	4.67	4.84	3.83	3.20	3.43	3.58	4.11	3.98	3.36	4.10	3.40	2.93	3.38	
	3-甲基-1-丁醇	8.27	8.27	9.19	8.84	7.77	7.10	8.24	7.23	7.16	5.97	4.71	5.63	5.89	5.72	5.35	4.07	4.56	
	己醇	2.81	2.81	2.72	2.90	2.36	2.56	1.96	2.43	1.86	2.29	2.09	1.73	1.95	1.43	1.20	1.95	1.91	
	庚醇	0.16	0.16	0.13	0.27	0.29	0.26	0.21	0.30	0.39	0.51	0.31	0.44	0.40	0.56	0.70	0.65	1.02	
	2-丁基-1-辛醇	0.26	0.26	0.32	0.32	0.56	0.39	0.49	0.46	0.29	0.29	0.24	0.32	0.27	0.32	0.41	0.55	0.43	
	苯基乙醇	0.89	0.89	1.35	0.97	0.94	0.85	0.98	1.33	1.27	1.31	1.42	0.98	1.58	1.38	2.03	1.28	1.22	
	2-乙基丁酸	1.15	1.15	1.16	0.94	0.76	1.05	0.79	0.89	0.88	0.76	0.83	0.65	0.77	0.59	0.61	0.53	0.41	
酸	乙酸	42.94	42.94	42.36	41.68	39.21	38.85	39.93	35.80	37.31	36.97	34.47	31.87	33.04	24.85	22.58	20.78	18.50	
	丙酸	8.82	8.82	8.79	7.66	7.98	8.09	8.38	8.52	7.84	6.53	7.03	6.62	6.29	6.75	4.96	4.19	3.52	
	丁酸	0.27	0.27	0.32	0.36	0.22	0.47	0.27	0.21	0.24	0.19	0.18	0.14	0.18	0.20	0.19	0.32	0.34	
	戊醛	4.49	4.49	4.83	4.67	5.95	5.39	6.20	6.47	6.13	6.35	6.77	7.76	7.30	8.36	8.41	9.24	10.63	
醛	己醛	2.67	2.67	2.97	3.28	3.39	3.16	3.69	3.24	3.11	3.64	4.30	4.06	4.11	6.20	6.43	7.47	7.41	
	庚醛	0.47	0.47	0.47	0.40	0.52	0.54	0.50	0.60	0.94	0.74	0.85	0.78	1.24	1.31	1.49	1.20	1.28	
	苯甲醛	0.23	0.23	0.35	0.28	0.93	0.74	0.76	1.33	1.42	1.37	1.53	1.69	1.76	2.41	2.12	3.08	3.37	
	反-2-庚烯醛	0.29	0.29	0.23	0.34	0.51	0.50	0.62	0.45	0.81	0.65	1.13	0.86	1.44	1.84	1.50	2.40	2.07	
	2-甲基丙烷	0.27	0.27	0.85	0.73	0.69	0.91	0.91	1.21	1.34	1.70	1.50	1.72	1.53	1.04	1.83	2.65	2.95	
烃	十四烷	1.51	1.51	1.41	1.19	1.95	2.68	1.79	2.82	3.53	2.45	3.42	4.05	3.96	4.03	5.43	4.65	5.98	
	十五烷	0.56	0.56	0.64	0.44	1.17	0.95	1.12	1.28	1.58	1.37	1.31	1.81	1.14	1.31	1.30	1.38	1.79	
	十六烷	1.07	1.07	1.39	1.60	1.97	1.64	1.39	2.25	2.10	2.41	3.04	4.32	3.89	3.74	3.72	3.70	3.84	
	十八烷	0.43	0.43	0.37	0.66	0.52	0.77	0.61	0.70	0.92	1.22	1.19	1.27	1.03	1.00	1.59	2.10	1.37	
	二十烷	0.18	0.18	0.23	0.20	0.38	0.24	0.54	0.67	0.65	0.42	0.71	0.52	0.49	0.75	1.26	1.13	1.33	
	壬基环己烷	0.23	0.23	0.23	0.32	0.56	0.36	0.64	0.35	0.38	0.52	0.55	0.79	0.70	1.08	0.97	2.03	1.81	
	十一烷	-	-	-	-	-	-	0.95	1.63	1.29	2.41	2.09	2.50	2.49	3.26	4.02	3.59	3.19	
	3-甲基庚烷	-	-	-	0.49	0.84	0.68	1.32	1.10	2.31	1.91	2.22	2.69	2.43	3.71	4.20	3.80	4.84	

转下页



接上页

种类	名称	储藏时间/d																
		1		2		3		4		5		6		7	9	11	13	15
		R	CK	R	CK	R	CK	R	CK	R	CK	R	CK	R	R	R	R	R
烃	1,3-二叔丁基苯	-	-	-	-	-	0.20	-	0.52	0.42	1.38	1.43	1.59	1.43	2.30	3.49	2.81	2.60
杂环	2-戊基呋喃	1.47	1.47	1.40	1.57	2.09	2.36	1.68	1.78	1.82	1.49	1.84	1.36	1.64	1.84	1.48	1.20	1.66
	5-甲基-2-呋喃酮	-	-	-	-	-	0.32	-	0.50	0.36	0.78	0.81	0.78	1.01	1.17	0.91	1.29	1.24
酮	丁二酮	-	-	-	0.21	0.44	0.25	0.67	0.50	1.07	0.76	0.97	1.12	0.54	1.24	0.99	1.15	1.39
	3-羟基-2-丁酮	-	-	-	-	-	0.20	-	0.36	0.34	0.50	0.41	0.86	0.66	0.93	1.10	1.67	1.42

注: R 表示热包装, CK 表示对照组, “-”表示未检出。

表 5 椽头馍储藏过程中不同种类挥发性风味物质相对含量的变化 (%)

Table 5 Relative content of different kinds of volatile compounds in Chuan Toumo during the storage

储藏时间/d	酯类		醇类		酸类		醛类		烃类		杂环类		酮类	
	R	CK	R	CK	R	CK	R	CK	R	CK	R	CK	R	CK
1	16.30	16.30	16.64	16.64	53.18	53.18	8.16	8.16	4.26	4.25	1.47	1.47	0	0
2	14.23	15.53	17.77	17.45	52.63	50.63	8.84	8.97	5.12	5.63	1.40	1.57	0	0.21
3	13.33	13.64	16.59	16.00	48.17	48.46	11.30	10.33	8.08	8.43	2.09	2.36	0.44	0.77
4	11.55	11.85	15.70	14.95	49.37	45.43	11.77	12.08	9.26	12.54	1.68	1.78	0.67	1.37
5	8.81	9.53	14.40	13.94	46.28	44.45	12.41	12.75	14.51	15.79	1.82	1.49	1.77	2.04
6	8.55	7.10	12.89	13.08	42.50	39.28	14.58	15.15	17.46	21.26	1.84	1.36	2.19	2.76
7	7.50		13.45		40.27		15.86		19.07		1.64		2.21	
9	6.58		13.51		32.38		20.13		22.42		1.84		3.14	
11	6.33		13.09		28.34		19.95		27.80		1.48		3.01	
13	6.21		11.43		25.82		23.40		27.84		1.20		4.11	
15	4.55		12.52		22.77		24.76		29.69		1.66		4.05	

注: R 表示热包装, CK 表示对照组。



### 2.7 感官评价

通过感官评定,对馒头的外观状态、结构、风味、口感及整体可接受性进行评分,结果如表6所示,在储藏过程中馒头的各项感官指标评分均在下降,其中结构、黏牙程度和气味变化较大。储藏前6d,热包装馒头微生物数目少,水分含量略高,品质优于

对照组馒头,感官评分整体较高,第6d热包装馒头的综合感官评分为80.82,品质优良,符合食用需求,而对照组的馒头在第6d已经发霉,并伴有明显异味,不能食用。热包装馒头虽然在15d内没有被霉菌污染,但随着储藏时间的延长,其菌落总数不断增多,老化程度加重,感官品质下降,在第13d时,感官总分为65.19,仍可食用。

表6 感官评价标准

Table 6 Standards of sensory evaluation

时间/d	包装方法	外观	结构	弹性	黏牙	气味
1	R	9.23±0.15 <sup>a</sup>	9.7±0.1 <sup>a</sup>	14.57±0.21 <sup>a</sup>	9.6±0.2 <sup>a</sup>	13.9±0.2 <sup>a</sup>
	CK	9.51±0.15 <sup>a</sup>	9.7±0.1 <sup>a</sup>	14.57±0.21 <sup>a</sup>	9.6±0.2 <sup>a</sup>	13.9±0.2 <sup>a</sup>
2	R	9.03±0.16 <sup>ab</sup>	8.93±0.22 <sup>b</sup>	14.23±0.16 <sup>ab</sup>	9.27±0.06 <sup>ab</sup>	12.63±0.15 <sup>b</sup>
	CK	9.27±0.26 <sup>a</sup>	8.97±0.36 <sup>b</sup>	13.53±0.21 <sup>b</sup>	9.3±0.1 <sup>a</sup>	12.77±0.21 <sup>b</sup>
3	R	8.83±0.19 <sup>abc</sup>	8.33±0.15 <sup>c</sup>	13.67±0.25 <sup>bc</sup>	9.03±0.25 <sup>ab</sup>	12±0.27 <sup>cd</sup>
	CK	9.01±0.22 <sup>b</sup>	8.33±0.42 <sup>c</sup>	13.37±0.15 <sup>c</sup>	8.95±0.35 <sup>b</sup>	12.1±0.2 <sup>c</sup>
4	R	8.57±0.12 <sup>bc</sup>	8.03±0.16 <sup>cd</sup>	13.27±0.23 <sup>cd</sup>	8.36±0.31 <sup>bc</sup>	10.57±0.32 <sup>d</sup>
	CK	8.48±0.3 <sup>bc</sup>	7.27±0.15 <sup>d</sup>	12.33±0.35 <sup>cd</sup>	8.07±0.15 <sup>c</sup>	9.63±0.21 <sup>d</sup>
5	R	8.53±0.25 <sup>cd</sup>	7.47±0.21 <sup>d</sup>	12.9±0.17 <sup>d</sup>	8.07±0.28 <sup>c</sup>	10.2±0.27 <sup>de</sup>
	CK	7.37±0.25 <sup>cd</sup>	6.59±0.1 <sup>e</sup>	11.9±0.17 <sup>d</sup>	7.23±0.31 <sup>c</sup>	7.83±0.32 <sup>e</sup>
6	R	8.5±0.17 <sup>cd</sup>	7.27±0.12 <sup>e</sup>	11.57±0.15 <sup>e</sup>	7.78±0.11 <sup>d</sup>	9.93±0.12 <sup>ef</sup>
	CK	5.81±0.3 <sup>d</sup>	5.97±0.32 <sup>f</sup>	9.43±0.25 <sup>e</sup>	5.39±0.15 <sup>d</sup>	6.53±0.35 <sup>f</sup>
7	R	8.01±0.15 <sup>d</sup>	7.03±0.35 <sup>f</sup>	10.67±0.32 <sup>f</sup>	7.47±0.21 <sup>de</sup>	9.5±0.4 <sup>f</sup>
9	R	7.53±0.25 <sup>e</sup>	6.57±0.21 <sup>g</sup>	9.77±0.25 <sup>g</sup>	7.03±0.15 <sup>e</sup>	9.1±0.34 <sup>g</sup>
11	R	6.93±0.17 <sup>f</sup>	6.03±0.26 <sup>h</sup>	8.36±0.2 <sup>h</sup>	6.53±0.15 <sup>f</sup>	8.77±0.45 <sup>h</sup>
13	R	6.43±0.16 <sup>g</sup>	5.83±0.36 <sup>i</sup>	8.1±0.2 <sup>h</sup>	5.8±0.36 <sup>g</sup>	8.21±0.25 <sup>i</sup>
15	R	5.87±0.21 <sup>h</sup>	5.68±0.2 <sup>j</sup>	7.87±0.25 <sup>i</sup>	5.43±0.15 <sup>h</sup>	6.93±0.18 <sup>j</sup>
时间/d	包装方法	色泽	比重	高径比	总分	
1	R	9.57±0.12 <sup>a</sup>	19.33±0.06 <sup>a</sup>	9.63±0.22 <sup>a</sup>	95.53±1.32 <sup>a</sup>	
	CK	9.57±0.12 <sup>a</sup>	19.33±0.06 <sup>a</sup>	9.63±0.22 <sup>a</sup>	95.81±1.32 <sup>a</sup>	
2	R	9.63±0.15 <sup>a</sup>	19.08±0.1 <sup>a</sup>	9.23±0.46 <sup>b</sup>	92.03±1.15 <sup>b</sup>	
	CK	9.53±0.15 <sup>a</sup>	19.15±0.14 <sup>ab</sup>	9.23±0.46 <sup>b</sup>	91.75±1.52 <sup>b</sup>	
3	R	9.24±0.41 <sup>ab</sup>	18.83±0.21 <sup>a</sup>	9.19±0.15 <sup>ab</sup>	89.12±2.3 <sup>c</sup>	
	CK	9.23±0.23 <sup>b</sup>	18.97±0.27 <sup>b</sup>	9.2±0.2 <sup>b</sup>	89.16±2.36 <sup>c</sup>	
4	R	9.07±0.26 <sup>ab</sup>	18.37±0.15 <sup>a</sup>	9.11±0.06 <sup>b</sup>	85.35±2.62 <sup>d</sup>	
	CK	8.9±0.27 <sup>b</sup>	18.33±0.25 <sup>c</sup>	9.15±0.17 <sup>bc</sup>	82.46±1.73 <sup>d</sup>	
5	R	8.86±0.35 <sup>bc</sup>	18.2±0.27 <sup>a</sup>	8.77±0.21 <sup>bc</sup>	82.4±1.46 <sup>d</sup>	
	CK	8.83±0.46 <sup>b</sup>	18.0±0.18 <sup>c</sup>	8.9±0.47 <sup>c</sup>	76.65±1.03 <sup>e</sup>	
6	R	8.37±0.21 <sup>cd</sup>	18.07±0.21 <sup>a</sup>	8.53±0.22 <sup>cd</sup>	80.82±0.53 <sup>e</sup>	
	CK	7.53±0.25 <sup>c</sup>	17.6±0.36 <sup>c</sup>	8.27±0.46 <sup>d</sup>	66.53±1.38 <sup>f</sup>	
7	R	8.21±0.38 <sup>d</sup>	17.83±0.35 <sup>a</sup>	8.33±0.35 <sup>d</sup>	77.05±2.03 <sup>f</sup>	
9	R	7.83±0.19 <sup>e</sup>	17.27±0.42 <sup>ab</sup>	8.27±0.31 <sup>d</sup>	73.07±1.14 <sup>g</sup>	
11	R	7.57±0.35 <sup>e</sup>	16.97±0.21 <sup>abc</sup>	8.23±0.25 <sup>e</sup>	68.79±2.51 <sup>h</sup>	
13	R	6.88±0.21 <sup>f</sup>	15.77±0.26 <sup>bc</sup>	8.17±0.15 <sup>e</sup>	64.59±2.72 <sup>i</sup>	
15	R	6.13±0.25 <sup>g</sup>	15.47±0.42 <sup>c</sup>	8.07±0.2 <sup>e</sup>	61.45±1.11 <sup>j</sup>	

注: R 表示热包装, CK 表示对照组。同一指标, 不同天相比, 角标字母不同表示有显著性差异 ( $p < 0.05$ )。

### 3 结论

3.1 微生物污染是导致馒头腐败变质的重要原因, 从高温不利于大多数微生物生长的角度出发, 研究探索热包装对延长馒头保质期期的效果。研究发现, 热包装能有效抑制微生物污染, 对照组馒头在第 6 d 已经发霉变质, 而热包装馒头 15 d 内未被霉菌污染, 且储藏前 6 d 热包装馒头的细菌总数低于对照组。此外, 与对照组相比, 热包装馒头水分含量较高, 可以延缓馒头中淀粉的老化, 同时降低硬度、黏着性和内聚性等质构指标的变化速率, 还能降低风味物质被分解转化的速度, 使馒头维持较好的品质, 增加其储藏稳定性。

3.2 常温包装馒头的保质期为 5 d, 热包装馒头虽在 15 d 内未被霉菌污染, 但随着储藏时间的延长, 细菌总数增多, 老化程度加重, 感官品质不断下降, 在第 13 d 时, 感官总分为 65.19, 仍可食用。综合微生物、理化和感官评价指标, 热包装技术可将馒头的保质期延长至 13 d。

### 参考文献

- [1] 王海蓝, 马亭, 石晶盈. 丙酸钙处理对汉堡保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(10): 218-222  
WANG Hai-lan, MA Ting, SHI Jing-ying. Effect of calcium propionate treatment on preservation of hamburger [J]. Food Science, 2014, 35(10): 218-222
- [2] Khoshakhlagh K, Hamdami N, Shahedi M, et al. Quality and microbial characteristics of part-baked Sangak bread packaged in modified atmosphere during storage [J]. Journal of Cereal Science, 2014, 30: 1-6
- [3] 宋茹, 徐依景, 杜建艳. 微波杀菌保鲜面包的技术研究[J]. 食品工业科技, 2005, 4: 74-76  
SONG Ru, XU Yi-jing, DU Jian-yan. Research on the technology of microwave sterilization in bread [J]. Science and Technology of Food Industry, 2005, 4: 74-76
- [4] Shim S, Seo S H, Lee Y, et al. Consumers' knowledge and safety perceptions of food additives: evaluation on the effectiveness of transmitting information on preservatives [J]. Food Control, 2011, 22: 1054-1060
- [5] Pinnavaia G G, Pizzirani S. Evaluation of the degree of gelatinization of starchy products by water holding capacity [J]. Starch/Starke, 1998, 50: 64-67
- [6] 纪莹. 传统米制松糕的货架期预测模型研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008
- [7] JI Ying. Predictive modeling of the shelf life of traditional rice cake [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008
- [8] 冯世德, 孙太凡. 玉米粉对小麦面团和馒头质构特性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(1): 101-104  
FENG Shi-de, SUN Tai-fan. Effect of corn flour on textural properties of wheat dough and Chinese steamed bread [J]. Food Science, 2013, 34(1): 101-104
- [9] 崔丽琴, 崔素萍, 马平等. 豆渣粉对小麦面团、馒头质构特性及馒头品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 85-88  
CUI Li-qin, CUI Su-ping, MA Ping, et al. Effect of soybean dregs powder on sensory evaluation of Chinese steamed (CSB) and textural properties of wheat dough and CSB [J]. Food Science, 2014, 35(5): 85-88
- [10] Pellatía F, Benvenutía S, Yoshizakib E, et al. Headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry analysis of the volatile compounds of *Evodia* species fruits [J]. Journal of Chromatography A, 2005, 1087(1-2): 265-273
- [11] Ibáñez E, López-Sebastián S, Ramos E, et al. Analysis of volatile fruit components by headspace solid-phase microextraction [J]. Food Chemistry, 1998, 63(2): 281-286
- [12] 邵源. 延长馒头保质期措施的研究和实施[D]. 郑州: 河南工业大学, 2014  
SHAO Yuan. Extending the shelf life of Chinese steamed bread validation and implementation of measures [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2014
- [13] 琚亚丽, 刘国琴, 阎乃珺, 等. 增筋剂对小麦面筋蛋白持水力影响研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2013, 34(2): 34-38  
JU Ya-li, LIU Guo-qin, YAN Nai-jun, et al. Study on the effect of reinforcing bars on the water holding capacity of wheat gluten [J]. Journal of Henan University of Technology (Nature Science Edition), 2013, 34(2): 34-38
- [14] 纪莹, 周惠明. 米制松糕淀粉回生动力学研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(1): 118-120  
JI Ying, ZHOU Hui-ming. Study on the kinetics of starch retrogradation of migao [J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(1): 118-120
- [15] 谭瑶瑶, 吴亨, 古碧, 等. 不同酶制备木薯抗性淀粉的性质比较[J]. 食品工业科技, 2013, 34(11): 88-91  
TAN Yao-yao, WU Heng, GU Bi, et al. Property comparison of cassava resistant starch prepared by different amylases [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(11): 88-91

- [15] Singh N, Kaur L, Sandhu K S, et al. Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches [J]. *Food Hydrocolloids*, 2006, 20(4): 532-542
- [16] 曹立松,刘亚伟,刘洁,等.淀粉老化测定技术研究进展[J].粮食与饲料工业,2014,12(3):30-34  
CAO Li-song, LIU Ya-wei, LIU Jie, et al. Study on the technology of measuring starch staling [J]. *Cereal & Feed Industry*, 2014, 12(3): 30-34
- [17] Willhoft E M A. Bread staling. III. Measurement of the redistribution of moisture in bread by gravimetry [J]. *Sci. Food Agric.*, 1971, 22: 647-649
- [18] Martin M L, Zeleznak K J, Hosney R C. A mechanism of bread firming. I. Role of starch swelling [J]. *Cereal Chem.*, 1991, 68: 498-507
- [19] Zanoni B, Peri C, Pierucci S. A study of the bread-making process. I. A phenomenological model [J]. *Food Eng.*, 1993, 19(4): 389-398
- [20] 沙坤,张泽俊,刘海杰,等.贮存温度对馒头硬化和淀粉回生的影响研究[J].食品科技,2009,34(2):146-149  
SHA Kun, ZHANG Ze-jun, LIU Hai-jie, et al. Effects of storage temperature on firming and retrogradation of amylopectin in steamed bread [J]. *Food Science and Technology*, 2009, 34(2): 146-149
- [21] 李田田,王晓曦,马森,等.储藏条件对生鲜湿面条水分状态及相关品质的影响[J].粮食与饲料工业,2014,12(7):31-35  
LI Tian-tian, WANG Xiao-xi, MA Sen, et al. Effects of storage conditions on the moisture state and quality of fresh wet noodles [J]. *Cereal & Feed Industry*, 2014, 12(7): 31-35
- [22] 郝红涛,赵改名,柳艳霞,等.利用硬度、脆性和黏着性对火腿肠等级的判别分析[J].中国农业科学,2010,43(10):2182-2188  
HAO Hong-tao, ZHAO Gai-ming, LIU Yan-xia, et al. Discriminant analysis of the grades of ham sausages based on hardness, fracturability and adhesiveness properties [J]. *Science Agriculture Sinica*, 2010, 43(10): 2182-2188
- [23] 杨柳.馒头在贮存过程中的品质变化[D].长春:吉林大学,2010  
YANG Liu. The character change during Chinese steamed bread in storage [D]. Changchun: Jilin University, 2010
- [24] Legan J D. Spoilage of bakery products and confectionery [J]. *PHLS Microbiology Digest*, 1994, 11(2): 114-7