

马蹄糕杀菌条件优化及贮存期的品质变化

王晨祥¹, 罗文珊¹, 傅曼琴¹, 周晓君², 曾劲², 周晓愉², 黄健恒², 徐玉娟^{1*}

(1. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610) (2. 广州市洲星食品有限公司, 广东广州 510450)

摘要: 马蹄糕是一种老少皆宜的食物, 入口甘甜而不腻, 但因马蹄糕自身营养物质丰富, 导致其成品马蹄糕极易因微生物的生长而出现腐败变质。该研究以现有马蹄糕制备工艺为基础, 通过单因素和正交实验, 研究不同杀菌温度、时间、防腐剂种类和防腐剂添加量对于马蹄糕抑菌效果及储存品质的影响。杀菌温度 110 °C, 杀菌时间 30 min, 杀菌效果较好; 通过几种防腐剂的筛选, 选择脱氢乙酸钠作为马蹄糕的防腐剂; 添加 0.32 g/kg 的脱氢乙酸钠, 15 d 菌落总数为 6363 cfu/g, 表明 15 d 可作为马蹄糕有效贮藏期; 进一步对其贮藏过程中品质变化进行探究, 在贮藏 10 d 后 ΔE^* 值明显提升 ($p < 0.05$), 而 15 d 后 ΔE^* 值大于 2, 表明其已出现视觉上的颜色差异; 马蹄糕弹性、黏性、内聚性咀嚼性在 0~5 d 内无显著 ($p > 0.05$) 变化, 而 15 d 时候质构数据均出现显著性差异 ($p < 0.05$); 结合微生物生长情况、色泽与质构数据变化, 认为现有杀菌条件下马蹄糕的贮藏期为 15 d, 而 0~5 d 则为马蹄糕的最佳食用期。该研究可为工业生产马蹄糕产品提供理论和技术支持。

关键词: 马蹄糕; 杀菌; 品质; 保存期; 防腐剂

文章编号: 1673-9078(2022)06-152-159

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.6.0899

Optimization of Sterilization Conditions of Water Chestnut Cake and Quality Change of Storage Period

WANG Chenxiang¹, LUO Wenshan¹, FU Manqin¹, ZHOU Xiaojun², ZENG Jin², ZHOU Xiaoyu², HUANG Jianheng², XU Yujuan^{1*}

(1. Guangdong Provincial Academy of Agricultural Sciences, Sericulture and Agricultural Products Processing Research Institute, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Provincial Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China)
(2. Guangzhou Zhouxing Food Co. Ltd., Guangzhou 510450, China)

Abstract: Water chestnut Cake is a favorite food for all ages. It tastes sweet but not greasy. Due to its rich nutrients, horseshoe cake is prone to spoiling as the microorganisms grow. In this study, the single factor and orthogonal experiments were conducted to study the effect of different sterilization temperature, time, preservatives and addition on the antibacterial effect and the quality during storage. The results indicated that when the sterilization condition was set 110 °C for 30 min, the sterilization effect was better than other conditions. According to single factor test, sodium dehydroacetate was selected as the preservative for horseshoe cake, and 0.32 g/kg of sodium dehydroacetate was added, the total number of colonies after 15 days of the horseshoe cake was 6363 cfu/g, indicating that the storage period of horseshoe cake could be prolonged to 15 days. Furthermore, the quality changes during storage were explored, after 10 days of storage, the ΔE^* value increased significantly ($p < 0.05$), and after 15 days, the ΔE^* value was more than 2, which could be caused a visual color difference. The elasticity, stickiness, cohesive and chewiness of cakes showed no significant changes ($p > 0.05$) from 0~5 days, while the texture storage after 15 days

引文格式:

王晨祥, 罗文珊, 傅曼琴, 等. 马蹄糕杀菌条件优化及贮存期的品质变化[J]. 现代食品科技, 2022, 38(6): 152-159

WANG Chenxiang, LUO Wenshan, FU Manqin, et al. Optimization of sterilization conditions of water chestnut cake and quality change of storage period [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(6): 152-159

收稿日期: 2021-08-16

基金项目: 广东省农业科学院学科团队建设 (202109TD); 广东省农业科学院人才项目 (R2020PY-JX011)

作者简介: 王晨祥 (1997-), 男, 硕士, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: 846620817@qq.com

通讯作者: 徐玉娟 (1974-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 农产加工及贮藏, E-mail: guoshuxuyujuan@163.com

showed significant differences ($p < 0.05$). Combined the growth of microorganisms with the changes in color and texture, it can be concluded that the storage period of horseshoe cake could be prolonged to 15 days, and the best edible period of horseshoe cake should be 0~5 days. This research can provide theoretical and technical support for the industrial production of horseshoe cake products.

Key words: water chestnut cake; sterilization; quality; shelf life; preservative

马蹄 (*Eleocharis qinghaiensis*) 又称为荸荠、地梨, 是莎草科植物荸荠属的一种水生草本植物, 主要分布于我国长江流域及其以南地区^[1]。马蹄中含有荸荠英、多酚、多糖、黄酮类、甾醇等多种功能活性成分^[2-4]。据《本草纲目》记载, 马蹄具有清热生津、利咽化痰、预防便秘、明目醒酒、滋阴消肿的功效, 可用于治疗胃肠炎和呼吸道疾病, 是一种深受消费者喜爱的食物^[5-7]。鲜马蹄中水分含量较高, 易引发微生物生长而导致马蹄腐败变质^[8]。研究表明, 不同加工方式对于马蹄的活性成分影响较大, 鲜切处理后的马蹄活性成分损失迅速, 而适当的预处理可以更好地保留其活性成分^[9]。食品工业中常以马蹄为原料, 生产不同类型的马蹄产品, 如马蹄汁、发酵饮料、果酒果醋、马蹄淀粉等, 在保留其活性成分的同时可延长马蹄产业链和增加马蹄产品的附加值。

马蹄糕作为马蹄淀粉类主要加工产品^[10], 一直是备受人们喜爱的传统中国特色甜食, 尤其是在广东、福建、广西等地, 作为当地茶点文化的代表性美食之一, 马蹄糕几乎红遍大街小巷^[11-13]。由于马蹄糕营养丰富、水分含量高, 导致微生物生长速度快, 因此成品马蹄糕极易出现水样、胀气、白斑等现象, 一般保质期不超过 2 周^[14], 极大地限制了马蹄糕市场流通能力, 使其市场竞争力下降。因此, 探究如何延长马蹄糕保质期是促进马蹄糕产业进一步发展的必要举措。本研究以现有马蹄糕生产工艺为基础, 通过研究不同杀菌温度、时间及食品防腐剂种类和添加含量对于马蹄糕微生物生长的影响, 进一步采用正交实验设计获得最佳抑菌工艺, 并在此基础探究了不同贮藏时间对马蹄糕品质的影响, 以期对现有马蹄糕生产企业提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 原料

马蹄粉由采用广州市州星食品有限公司提供 (原大田马蹄粉厂); 蔗糖 (市售)、双乙酸钠、山梨酸钾、丙酸钙、脱氢乙酸钠、乳酸链球菌素均为食品级, 河南清源食品配料有限公司。

1.2 仪器

电磁炉, 浙江苏泊尔股份有限公司; 60 目网筛, 浙江上虞市道墟五四仪器纱筛厂; Ultra Scan VISX 型全自动色差仪, 美国 Hunter Lab 公司; TA-XT.PLUS 物性分析仪, 英国 SMS 公司; 立式压力蒸汽灭菌锅, 上海博讯实业有限公司; MJX-250B-Z 型培养箱, 上海博讯视野有限公司。

1.3 马蹄糕制作方法

1.3.1 工艺流程

蔗糖:水 (1:3) → 煮沸

马蹄粉:水 (1:2.5) + 防腐剂 → 制备生浆 → 生浆和糖水混合 → 蒸煮成型 → 冷却切块 → 真空包装 → 高温杀菌 → 常温保存

1.3.2 工艺操作要点

(1) 制备生浆所用马蹄粉使用前过 60 目筛, 避免因存在小颗粒等杂质而影响产品整体外观;

(2) 糖水完全煮沸后关火, 将全部生浆加入至沸腾糖液中, 反复搅拌至均匀粘稠状;

(3) 混合后的粘稠浆倒入模具后放入蒸锅, 置于电磁炉上以 1600 kW 的功率蒸煮 45 min, 直至马蹄糕呈透明状;

(4) 冷却至室温后进行切块包装、杀菌。

1.4 实验方法

1.4.1 单因素实验

通过考察杀菌温度、杀菌时间和不同食品防腐剂种类及添加量对马蹄糕中微生物含量的影响, 进行单因素实验。

1.4.1.1 杀菌温度

将制备的马蹄糕用真空袋包装, 置于高温灭菌锅中, 分别以 90、100 和 110 °C 杀菌 30 min, 随后将马蹄糕放置在 28 °C 条件下贮藏 15 d, 测定样品微生物生长情况。

1.4.1.2 杀菌时间

将制备的马蹄糕用真空袋包装, 置于高温灭菌锅中, 110 °C 分别杀菌 15、30 和 45 min, 测定杀菌后 28 °C 条件下贮藏 15 d 后马蹄糕样品微生物生长情况。

1.4.1.3 不同防腐剂

筛选了 5 种可以用于马蹄糕中添加的食品防腐剂, 根据 GB 8957-2016《糕点面包卫生规范》和 GB 2760-2014《食品添加剂使用标准》最大添加量要求,

分别添加丙酸钙 2.5 g/kg、双乙酸钠 4.0 g/kg、山梨酸钾 1.0 g/kg、脱氢乙酸钠 0.5 g/kg、乳酸链球菌素 0.3 g/kg 至马蹄糕中,真空包装后,于 110 °C 条件下杀菌 30 min,测定杀菌后 28 °C 条件下贮藏 15 d 后马蹄糕样品微生物生长情况。

1.4.1.4 防腐剂含量

制备脱氢乙酸钠添加量不同的马蹄糕,真空包装后于 110 °C 杀菌 30 min,测定杀菌后 28 °C 条件下贮藏 15 d 后马蹄糕样品微生物生长情况,筛选出符合标准的添加剂含量。

1.4.2 正交实验优化

在单因素优化的基础上,通过正交实验进行优化,从不同杀菌时间、不同杀菌温度、不同食品防腐剂添加量 3 个方面进行 $L_9(3^3)$ 的正交实验,以菌落总数为评价指标,确定马蹄糕抑制微生物生长的最优实验方案,并在此基础上研究不同贮藏时间马蹄糕品质变化。

1.4.3 指标测定

1.4.3.1 微生物测定

参考 GB 4789.2-2016《食品微生物学检验 菌落总数测定》和 GB 4789.15-2016《食品微生物学检验 霉菌和酵母计数》的平板计数法,在无菌条件下取 10 g 贮藏 15 d 的马蹄糕 1 g 置于 0.9% 生理盐水中,震荡培养 2 h,采用平板倾注法,选取 1 mL 样液倾注至培养基中,选择 3 个连续稀释度,取 1 mL 样液至于 9 mL 生理盐水中,进行梯度稀释,培养基在 37 °C 培养箱中培养 24 ± 2 h,然后进行菌落总数和霉菌测定,根据 GB 7099-2015 微生物限量的要求,菌落总数限量应 $< 10^4$ cfu/g,霉菌限量应 < 150 cfu/g,大肠菌群限量应 < 10 cfu/g。

1.4.3.2 质构测定

使用物性分析仪,选择 TPA 模式测定,在吴宗帅^[15]的方法基础上略作修改,探头选择 P36/R,测试条件:前探头速度 2.0 mm/s,测定时 1.0 mm/s,测定结束 2.0 mm/s,应变:30%,触发点负载 5.0 g。

1.4.3.3 色泽测定

取 $2 \times 2 \times 5$ cm 小块的马蹄糕,置于比色皿中,使用 Ultra Scan VISX 型全自动色差仪进行测定,以 L^* 、 a^* 、 b^* 值为评价指标, L^* 值表示(明/暗)、 a^* 值表示(红/绿)、 b^* 值表示(黄/蓝)。

在李依娜^[16]的方法上略作修改,计算总的色泽变化 (ΔE^*)。每组样品测试五次,取平均值, ΔE^* 的大小表示试验样品的色泽变化程度 (ΔE^* 值越小,表示颜色变化越小), ΔE^* 按下式计算。

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$$

1.4.4 数据处理

每组实验 3 个平行,数据用 Excel 2015 进行整理,采用 SPSS 软件进行数据显著性分析和正交实验设计,并用 Origin 2017 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同杀菌温度对马蹄糕微生物的影响

分别检测了马蹄糕中细菌、霉菌及大肠菌群,在未杀菌组和杀菌组均未检测到霉菌与大肠菌群,未杀菌组的菌落总数达 1260 cfu/g (结果未列出),因此后续实验仅以菌落总数作为实验结果参考。不同温度杀菌结果如图 1 所示,100 °C 和 110 °C 处理组均能有效控制马蹄糕中细菌生长,菌落总数在贮藏期间内显著增长,可能是由于高温处理的亚致死的微生物的活性复苏和繁殖^[17]。经 110 °C 处理的马蹄糕中未检测到任何微生物生长,且在贮藏 15 d 后其菌落总数为 6781 cfu/g,低于 GB 8957-2016 中微生物限量 $< 10^4$ cfu/g 要求,故选择 110 °C 作为杀菌温度。

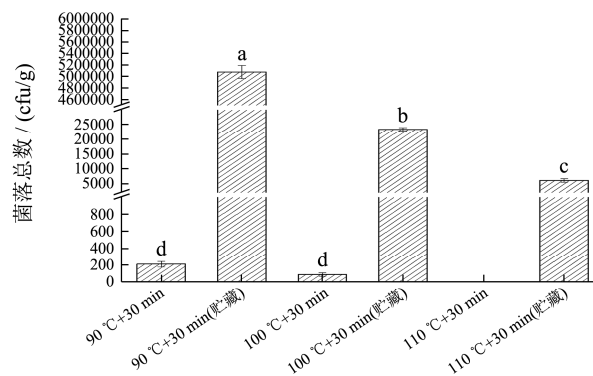


图 1 不同杀菌温度对马蹄糕菌落总数的影响

Fig.1 The effect of different sterilization temperatures on the total number of water chestnut cake colonies

2.2 不同杀菌时间对马蹄糕微生物的影响

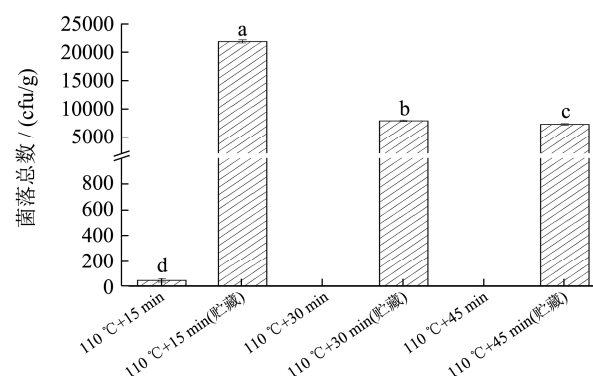


图 2 不同杀菌时间对马蹄糕菌落总数的影响

Fig.2 The effect of different sterilization time on the total number of water chestnut cake colonies

对经不同杀菌时间处理的马蹄糕细菌总数进行分

析,结果如图 2 所示,马蹄糕经 110 °C 杀菌 30 和 45 min 均能有效控制马蹄糕中的微生物含量;在经过 15 d 贮藏后,110 °C 杀菌 15 min 组的菌落总数超标,而 110 °C 杀菌 30 min 和 110 °C 杀菌 45 min 均未超标,综合考虑选择 110 °C 杀菌 30 min 作为马蹄糕杀菌条件。

2.3 不同防腐剂添加对马蹄糕微生物的影响

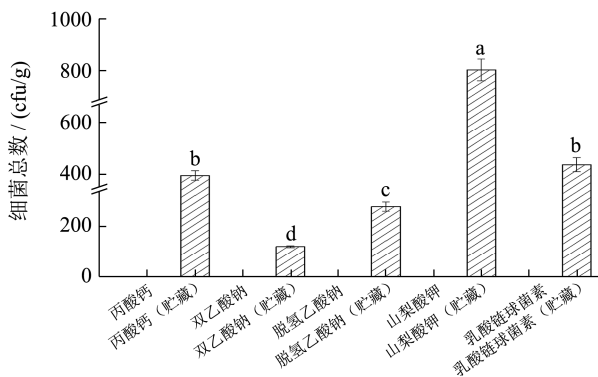


图 3 不同防腐剂对马蹄糕菌落总数的影响

Fig.3 The effect of different preservatives on the total number of water chestnut cake colonies

微生物添加不同种类添加剂马蹄糕菌落总数结果如图 3 所示,经杀菌后,所有样品中菌落总数均未检出,28 °C 储藏 15 d 后,不同处理组的马蹄糕中菌落总数较未储藏前均有不同程度的增加,其中双乙酸钠组储藏 15 d 菌落总数最少 (<200 cfu/g),但其使马蹄糕失去原有色泽,呈现漂白色,其 L*值明显高于其余组别(数据未展示);剩余组别中,脱氢乙酸钠组的菌落总数最少,保存效果相对较好。综合考虑到防腐剂用量与经济成本,且脱氢乙酸钠为一种糕点中常用的防腐剂^[18],故选择脱氢乙酸钠作为马蹄糕抑菌添加剂。

2.4 不同添加量的脱氢乙酸钠对马蹄糕微生物的影响

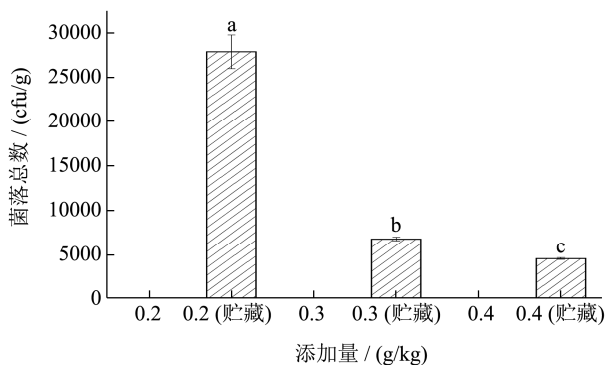


图 4 不同添加剂含量对马蹄糕微生物的影响

Fig.4 The effect of different additive content on the microorganisms of water chestnut cake

选择脱氢乙酸钠作为食品防腐剂添加到马蹄糕中,选择了 0.2、0.3、0.4 g/kg 等 3 个浓度作为 3 组实验对象,结果如图 4 所示,3 个不同组别的马蹄糕在贮藏 15 d 后,0.4 g/kg 组和 0.3 g/kg 组马蹄糕中菌落总数均未超标,而 0.2 g/kg 组菌落总数超标,综合考虑成本,选择添加浓度为 0.3 g/kg 的脱氢乙酸钠作为下一步优化条件。

2.5 正交实验结果与分析

2.5.1 极差分析结果

表 1 正交实验设计表

Table 1 Orthogonal experimental design table

水平	因素		
	A 杀菌温度/°C	B 杀菌时间/min	C 添加量/(g/kg)
1	105	25	0.28
2	110	30	0.30
3	115	35	0.32

正交实验的结果如表 2 所示,通过极差分析可知,影响马蹄糕菌落总数的因素排序为:防腐剂添加量>杀菌温度>杀菌时间,在 28 °C 的储藏条件下贮藏 15 d,防腐剂添加量是影响马蹄糕菌落总数的主要因素。菌落总数最少的条件为杀菌温度 110 °C,杀菌时间 30 min,脱氢乙酸钠的添加量 0.32 g/kg,此时的微生物生长情况可以得到较好的抑制。

2.5.2 方差分析结果

通过 SPSS 软件对上述数据进行方差分析,分析的结果如表 3 所示,由表可知,影响因素排序为:防腐剂添加量>杀菌温度>杀菌时间,菌落总数最少的优化项为:杀菌温度 110 °C,杀菌时间 30 min,防腐剂添加量为 0.32 g/kg,这与极差分析结果一致。

2.6 正交实验结果验证分析

2.6.1 马蹄糕微生物变化

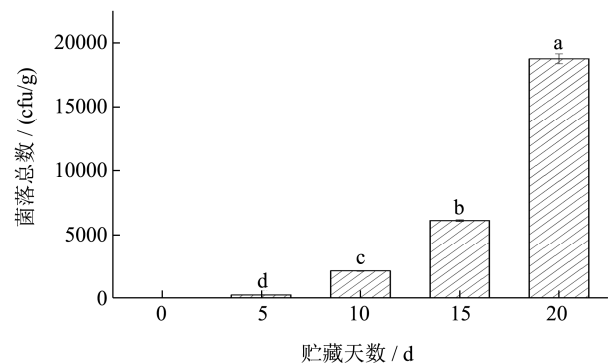


图 5 不同贮藏天数对马蹄糕微生物的影响

Fig.5 The effect of different storage days on the microorganisms of water chestnut cake

表2 正交实验极差结果

Table 2 Extremely poor results of orthogonal experiment

编号	A 杀菌温度/°C	B 杀菌时间/min	C 添加量/(g/kg)	菌落总数/(cfu/g)
1	1	1	1	33050
2	1	2	2	8113
3	1	3	3	6059
4	2	1	2	6981
5	2	2	3	6363
6	2	3	1	7977
7	3	1	3	7231
8	3	2	1	7695
9	3	3	2	13227
K ₁	15740.67	15754	16240.67	
K ₂	7107	7390.34	6107	
K ₃	9384.34	9087.67	9440.34	
R	8639.67	8363.66	10133.67	

影响因素排序: 添加量>杀菌温度>杀菌时间
最佳方法: A₂B₂C₃

表3 正交实验方差分析结果

Table 3 ANOVA results of orthogonal experiment

来源	III 类平方和	自由度	均方	F	显著性
修正模型	358315035.333a	6	59719172.56	0.435	0.818
截距	369869824	1	369869824	2.696	0.242
杀菌温度	121192754	2	60596377	0.442	0.694
杀菌时间	105395860.7	2	52697930.33	0.384	0.722
添加量	131726420.7	2	65863210.33	0.48	0.676
误差	274386464.7	2	137193232.3		
总计	1002571324	9			
修正后总计	632701500	8			

影响因素排序: 添加量>杀菌温度>杀菌时间
最佳方法: A₂B₂C₃

对正交实验结果进行验证分析, 分别测定最优条件制备马蹄糕在 0、5、10、15、20 d 的菌落总数, 结果如图 5 所示, 由图 5 可知, 菌落总数在 5~20 d 之间呈现快速上升趋势, 这可能与马蹄糕中微生物生长进入对数期有关^[19]。马蹄糕贮藏过程中, 其 0、5、10、15 d 中霉菌均未检测出霉菌与大肠菌群, 0 d 未检测出细菌菌落, 5 d 检测出其菌落总数为 300 cfu/g, 15 d 菌落总数为 6363 cfu/g, 而 20 d 其菌落总数 $>10^4$ cfu/g, 超过 GB 7099-2015 中微生物限量要求。根据其规定, 15 d 马蹄糕微生物指标符合要求, 后面马蹄糕品质分析选取 0~15 d 作为贮藏期。

2.6.2 马蹄糕色泽变化

测定最优条件制备马蹄糕在贮藏 0、5、10、15 d 的色泽变化, 结果如表 4 所示, 贮藏 10 d 的马蹄糕的 L*

值较未贮藏马蹄糕无显著 ($p>0.05$) 变化, 而贮藏 15 d 后 L*值显著性降低 ($p<0.05$), 表明随着贮藏时间的延长, 马蹄糕亮度下降, 其中 10 d 后 L*值下降幅度显著 ($p<0.05$) 高于 10 d 之前; 总的色泽变化 ΔE^* 方面, 随着贮藏天数的增加, ΔE^* 值在 5 和 10 d 无显著 ($p>0.05$) 变化, 而 10 d 后 ΔE^* 值明显提升 ($p<0.05$), 而 15 d 后 ΔE^* 值大于 2, 表明其较未贮藏马蹄糕已有视觉上的颜色差异^[20], 其感官接受程度大幅度降低, 该研究结果与杨君等^[21]研究结果相近。通过对贮藏期颜色变化分析, Craig 等^[22]研究表明淀粉透光率随贮存期的增加而降低。马蹄糕在贮藏过程中色泽发生变化, 这可能是其淀粉颗粒在高温下破裂, 释放出直链淀粉的短链, 在贮藏过程中这些链重新结合形成网络并导致马蹄糕色泽变得混浊, 透光率降低, 从而使其色泽改变^[23]。

表4 不同贮藏天数对马蹄糕色泽的影响

Table 4 Effect of different storage days on color of water chestnut cake

贮藏天数/d	L*	a*	b*	ΔE*
0	43.86±0.85 ^a	-0.57±0.36 ^b	-2.18±0.30 ^c	/
5	43.16±1.18 ^a	-0.27±0.08 ^{ab}	-1.58±0.14 ^a	0.94±0.12 ^c
10	42.30±0.79 ^a	-0.19±0.13 ^{ab}	-1.68±0.33 ^b	1.64±0.13 ^b
15	39.16±1.08 ^b	-0.22±0.19 ^{ab}	-1.79±0.36 ^b	4.73±0.17 ^a

注: a、b、c表示不同样品间亮度差异的显著性 ($p<0.05$), 相同字母表示无显著差异, 不同字母表示有显著差异。

表5 不同贮藏天数对马蹄糕质构品质的影响

Table 5 The effect of different storage days on the texture and quality of water chestnut cake

贮藏天数/d	硬度/g	粘性/g.s	弹性/g	内聚性/g	咀嚼性/g
0	1286.23±62.70 ^a	-204.54±37.55 ^c	0.91±0.01 ^b	0.91±0.01 ^b	277.05±19.14 ^c
5	985.24±41.27 ^b	-128.63±7.80 ^b	0.94±0.01 ^b	0.91±0.01 ^b	303.72±78.06 ^c
10	1033.12±37.06 ^b	-6.95±2.14 ^a	1.03±0.04 ^b	0.92±0.02 ^b	1163.37±186.56 ^b
15	635.32±81.96 ^c	-32.51±6.13 ^a	2.50±0.01 ^a	0.97±0.01 ^a	1693.63±143.97 ^a

注: a、b、c表示不同样品间质构品质差异的显著性 ($p<0.05$), 相同字母表示无显著差异, 不同字母表示有显著差异。

2.6.3 马蹄糕质构品质变化

随后对经不同贮藏时间的马蹄糕质构品质进行分析, 分别检测马蹄糕的硬度、粘性、弹性、内聚性和咀嚼性。硬度指使马蹄糕发生断裂时所需最大的力, 粘性指马蹄糕对测试探头的吸附能力, 内聚性表示马蹄糕内部粘合的强度, 而弹性表示马蹄糕受到外力作用后恢复的程度^[24,25]。由表5可知, 灭菌后, 马蹄糕在0、5 d的粘性、弹性、内聚性、咀嚼性等数值均无显著 ($p>0.05$) 变化, 而在10 d后其质构数据均发生显著性 ($p<0.05$) 变化, 贮藏15 d较未贮藏硬度值下降51%, 而弹性数值增加174%, 粘性数值增加629%, 咀嚼性数值增加621%。这可能与马蹄糕内部水的组分变化导致其吸水溶胀能力变化相关^[26]。马蹄淀粉天然结构在各种食品加工条件下会表现出低抗高剪切速率、热分解、高老化和脱水特性^[27]。在贮藏过程中, 随着贮藏时间的增加, 马蹄糕中淀粉老化时间延长, 其内部淀粉链形成氢键缔合速度加快, 促使水分子与淀粉链之间氢键断裂, 淀粉凝胶持水能力下降, 水分子由结合状态转化为自由水, 导致水分从淀粉中释放, 马蹄糕出现脱水、出水等现象^[28,29]。Ding等^[30]研究表明, 淀粉在储藏过程中的变化可以通过硬度、咀嚼性等指标来反应。Zhang^[31]则指出储存期间淀粉凝胶硬度的评估显示与淀粉老化存在高度相关关系。Fu等^[32]通过添加多糖限制淀粉与面筋网络氢键作用, 导致面包咀嚼性降低。随着马蹄糕贮藏时间延长, 淀粉分子链之间的作用, 水结合能力下降, 内部水分渗析至表面, 这可能是马蹄糕硬度数值降低, 而弹性、粘性值、咀嚼性值上升的原因^[33]。

3 结论

3.1 以马蹄糕在28℃的条件下贮藏15 d后的菌落总数为评价指标, 结果表明: 灭菌温度110℃, 灭菌时间30 min, 脱氢乙酸钠(食品防腐剂)添加量为0.32 g/kg可达到最佳的抑菌效果, 此条件下的马蹄糕在经过15 d贮藏后, 菌落总数为6363 cfu/g, 内部微生物生长繁殖未超过GB 8957-2016中微生物限量要求, 表明15 d可作为马蹄糕有效贮藏期。本研究较赵力超等^[34]研究将马蹄糕贮藏期增加5 d。

3.2 进一步对其贮藏过程中品质变化进行探究, 在贮藏10 d后 ΔE^* 值明显提升 ($p<0.05$), 而15 d后 ΔE^* 值大于2, 表明其已出现视觉上的颜色差异; 马蹄糕弹性、黏性、内聚性咀嚼性在0、5 d无显著 ($p>0.05$) 变化, 而15 d时候质构数据均出现显著性差异 ($p<0.05$), 贮藏15 d马蹄糕较未贮藏硬度值下降51%, 而弹性数值增加174%, 粘性数值增加629%, 咀嚼性数值增加621%, 结合质构数据与色泽变化情况, 得出马蹄糕最佳食用期为0~5 d, 10 d后其微生物增值速度加快, 虽未超过GB 8957-2016微生物限量要求, 但其质构品质与色泽发生显著 ($p<0.05$) 变化, 使其食用价值大幅度降低。本研究可为相关企业生产与加工马蹄糕产品提供理论依据。

参考文献

- [1] 赵广河, 陈振林. 荸荠活性成分与功能作用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(9): 235-237
ZHAO Guanghe, CHEN Zhenlin. Research progress on active components and functions of water chestnut [J]. Food Research and Development, 2011, 32(9): 235-237
- [2] 刘艳, 段振华, 商飞飞, 等. 荸荠皮的加工利用研究进展[J]. 保

- 鲜与加工,2018,18(1):129-133
LIU Yan, DUAN Zhenhua, SHANG Feifei, et al. Research progress on processing and utilization of water chestnut peel [J]. Preservation and Processing, 2018, 18(1): 129-133
- [3] Baehaki Ace, Widiastuti Indah, Lestari Susi, et al. Antidiabetic and anticancer activity of Chinese water chestnut (*Eleocharis dulcis*) extract with multistage extraction [J]. Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research, 2021, 12(1): 40-44
- [4] 伍淑婕,黄双全,聂辉,等.荸荠皮活性成分提取分离研究进展[J].食品科技,2018,43(10):289-293
WU Shujie, HUANG Shuangquan, NIE Hui, et al. Research progress on extraction and separation of active components from water chestnut peel [J]. Food Science and Technology, 2018, 43(10): 289-293
- [5] Fanke Zeng, Wenbo Chen, Ping He, et al. Structural characterization of polysaccharides with potential antioxidant and immunomodulatory activities from Chinese water chestnut peels [J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 246: 116551
- [6] Yasuda Midori, Ikeoka Masaki, Kondo Shinichi. Skin-related enzyme inhibitory activity by hydrolyzable polyphenols in water chestnut (*Trapa natans*) husk [J]. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry, 2021, 85(3): 666-674
- [7] 马淑然,李洪利,沈海滨.寒凉水果的食疗价值[J].生命世界, 2020,11:56-63
MA Shuran, LI Hongli, SHEN Haibin. Therapeutic value of cold fruit [J]. Life World, 2020, 11: 56-63
- [8] 肖立志.荸荠保鲜及抗氧化作用研究[D].长沙:湖南农业大学,2017
XIAO Lizhi. Study on preservation and antioxidation of water chestnut [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2017
- [9] Hui Nie, Huangcan Chen, Guanli Li, et al. Comparison of flavonoids and phenylpropanoids compounds in Chinese water chestnut processed with different methods [J]. Food Chemistry, 2021, 335: 127662
- [10] 刘小林,孟祥志.荸荠的资源开发利用研究进展[J].食品研究与开发,2021,42(3):212-217
LIU Xiaolin, MENG Xiangzhi. Research progress of water chestnut resources development and utilization [J]. Food Research and Development, 2021, 42(3): 212-217
- [11] 刘世军,阿迪来·艾尔肯,唐志书,等.大枣椰浆马蹄糕的研制[J].中国食物与营养,2019,25(7):59-61
LIU Shijun, ADILAI Elken, TANG Zhishu, et al. Development of jujube and coconut milk horseshoe cake [J]. Chinese Food and Nutrition, 2019, 25(7): 59-61
- [12] 李淼,谢梦洲,陈禧音,等.一款药食同源马蹄糕的研制[J].农产品加工,2020,17:11-13
LI Miao, XIE Mengzhou, CHEN Xiyin, et al. Development of a kind of horseshoe cake with the same origin of medicine and food [J]. Agricultural Products Processing, 2020, 17: 11-13
- [13] 杨君,黄丽,林丹琼.马蹄糕生产工艺及其对质量的影响[J].粮油加工,2008,11:103-106
YANG Jun, HUANG Li, LIN Danqiong. Production technology of horseshoe cake and its effect on quality [J]. Grain and Oil Processing, 2008, 11: 103-106
- [14] 芮汉明,周礼娟,郑枫.微波技术在马蹄糕生产中的应用研究[J].食品工业科技,2008,8:161-163
RUI Hanming, ZHOU Lijuan, ZHENG Feng. Application of microwave technology in the production of horseshoe cake [J]. Food Industry Science and Technology, 2008, 8: 161-163
- [15] 吴宗帅,张淑芬,吴磊,等.预糊化改性淀粉对米发糕品质的影响[J].中国食品添加剂,2021,32(3):33-39
WU Zongshuai, ZHANG Shufen, WU Lei, et al. Effect of pregelatinized modified starch on quality of rice cake [J]. China Food Additive, 2021, 32(3): 33-39
- [16] 李依娜,邹颖,余元善,等.不同酚酸对三华李清汁贮藏期间色泽稳定性的比较分析[J].现代食品科技,2020,36(7):165-172,16
LI Yina, ZOU Ying, YU Yuanshan, et al. Comparative analysis of color stability of Sanhua plum juice during storage with different phenolic acids [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(7): 165-172, 16
- [17] 庄平.食品基质中亚致死沙门氏菌诱导与复苏的研究[D].广州:华南理工大学,2017
ZHUANG Ping. Study on the induction and recovery of lethal Salmonella in food matrix [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017
- [18] 赵力超,刘欣,陈永泉.荸荠功能组分在马蹄糕防腐保鲜中的应用初探[J].食品科学,2005,8:422-424
ZHAO Lichao, LIU Xin, CHEN Yongquan. Application of water chestnut functional components in preservation of horseshoe cake [J]. Food Science, 2005, 8: 422-424
- [19] Kuai Lingyun, Liu Fei, Chiou Bor Sen, et al. Controlled release of antioxidants from active food packaging: a review [J]. Food Hydrocolloids, 2021, 120(11): 106992
- [20] 赵凤,梅潇,张焱,等.超高压和热杀菌对枸杞汁品质的影响[J].中国食品学报,2018,18(3):169-178

- ZHAO Feng, MEI Xiao, ZHANG Yan, et al. Effects of ultra-high pressure and thermal sterilization on the quality of *Lycium barbarum* juice [J]. *Chinese Journal of Food*, 2018, 18(3): 169-178
- [21] Li Cheng, Hu Yiming. Antagonistic effects of amylopectin and amylose molecules on the starch inter- and intramolecular interactions during retrogradation [J]. *LWT*, 2021, 148(3-4): 111942
- [22] Craig S A S, Maningat C C, Seib P A, et al. Starch paste clarity [J]. *Cereal Chemistry*, 1989, 66(14): 173-182
- [23] Lutfi Zubala, Kalim Qudsia, Shahid Asifa, et al. Water chestnut, rice, corn starches and sodium alginate. A comparative study on the physicochemical, thermal and morphological characteristics of starches after dry heating [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 184: 476-482
- [24] 陈伟,陈建设.食品的质构及其性质[J].*中国食品学报*,2021, 21(1):377-384
- CHEN Wei, CHEN Jianshe. Texture and properties of food [J]. *Chinese Journal of Food*, 2021, 21(1): 377-384
- [25] Amorim Cláudia, Cardoso Beatriz B, Silvério Sara C, et al. Designing a functional rice muffin formulated with prebiotic oligosaccharides and sugar reduction [J]. *Food Bioscience*, 2021, 40: 100858
- [26] 付丽莎,胡侠.糕点中纳他霉素和脱氢乙酸实验方法的改进 [J].*食品安全导刊*,2017,21:73
- FU Lisa, HU Xia. Improvement of experimental methods for natamycin and dehydroacetic acid in cakes [J]. *Food Safety Guide*, 2017, 21: 73
- [27] Baljeet S Yadav, Prixit Guleria, Ritika B Yadav. Hydrothermal modification of Indian water chestnut starch: Influence of heat-moisture treatment and annealing on the physicochemical, gelatinization and pasting characteristics [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2013, 53(1): 211-217
- [28] Janya Muadklay, Sanguansri Charoenrein. Effects of hydrocolloids and freezing rates on freeze-thaw stability of tapioca starch gels [J]. *Food Hydrocolloids*, 2008, 22(7): 1268-1272
- [29] 张晓宇,张丹丹,李荣芳,等.皂荚糖胶对玉米淀粉老化性质的影响及体系的水分分布[J].*食品科学*,2021,42(12):31-36
- ZHANG Xiaoyu, ZHANG Dandan, LI Rongfang, et al. Effect of acacia gum on aging properties of corn starch and water distribution of the system [J]. *Food Science*, 2021, 42(12): 31-36
- [30] Shiyong Ding, Bo Peng, Youqian Li, et al. Evaluation of specific volume, texture, thermal features, water mobility, and inhibitory effect of staling in wheat bread affected by maltitol [J]. *Food Chemistry*, 2019, 283: 123-130
- [31] ZHANG Haihua, SUN Binghua, ZHANG Shikang, et al. Inhibition of wheat starch retrogradation by tea derivatives [J]. *Carbohydrate polymers*, 2015, 134: 413-417
- [32] FU Yang, LIU Xiaorong, XIE Qianran, et al. Effects of *Laminaria japonica* polysaccharides on the texture, retrogradation, and structure performances in frozen dough bread [J]. *LWT*, 2021, 151(9): 112239
- [33] Taziki Shams-abadi Shokufeh, Razavi Seyed Mohammad Ali. Cress seed gum improves rheological, textural and physicochemical properties of native wheat starch-sucrose mixture [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 181: 945-955
- [34] 赵力超,刘欣,黄卉,等.不同防腐措施对马蹄糕防腐效果的研究[J].*食品工业科技*,2004,25(6):59-59
- ZHAO Lichao, LIU Xin, HUANG Hui, et al. Study on the anti-corrosion effect of different anti-corrosion measures on water chestnut cake [J]. *Food Industry Science and Technology*, 2004, 25 (6): 59-59
-
- (上接第 266 页)
- [35] Varlet V, Knockaert C, Prost C, et al. Comparison of odor-active volatile compounds of fresh and smoked salmon [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(9): 3391-3401
- [36] Ruiz J, Ventanas J, Cava R. New device for direct extraction of volatiles in solid samples using SPME [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(11): 5115-5121
- [37] Liu H, Wang Z, Zhang D, et al. Characterization of key aroma compounds in Beijing roasted duck by gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry, odor-activity values, and aroma-recombination experiments [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(20): 5847-5856
- [38] Ying W, Yating J, Jinxuan C, et al. Study on lipolysis-oxidation and volatile flavour compounds of dry-cured goose with different curing salt content during production [J]. *Food Chemistry*, 2016, 190: 33-40