

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.02.021

游静, 孙强, 麻琳, 等. 黑芝麻复合蜜丸货架期预测及包装方式对其贮藏品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(2): 176-182.

YOU J, SUN Q, MA L, et al. Shelf-life prediction of black sesame compound honey pill and the effect of packaging method on its storage quality[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(2): 176-182.

黑芝麻复合蜜丸货架期预测及包装方式对其贮藏品质的影响

游 静, 孙 强✉, 麻 琳, 宋国辉, 黄纪念, 魏松丽

(1. 河南省农业科学院 农副产品加工中心, 河南 郑州 450000;

2. 河南省农科院 农副产品加工所, 河南 郑州 450000)

摘 要: 以黑芝麻复合蜜丸为研究对象, 以酸价和过氧化值为评价指标, 考察不同储藏温度对其品质的影响; 在此基础上, 通过构建 Arrhenius 模型对裸包装条件下的黑芝麻复合蜜丸的货架期进行预测。为进一步延长货架期, 设置 4 种不同包装形式对黑芝麻复合蜜丸进行包装, 同时考察不同包装方式对其水分、质构、理化特性等贮藏品质的影响。结果表明: 与对照组相比, 充氮、包壳、蜡封对阻止黑芝麻复合蜜丸水分下降、硬度和酸价上升均有一定的作用, 其中以蜡纸+药丸壳+蜡封+锡箔纸+聚乙烯塑料袋这种包装形式效果最佳。该研究结果为蜜丸类产品的储存提供参考。

关键词: 黑芝麻蜜丸; 贮藏温度; 货架期; 包装方式; 贮藏品质

中图分类号: TS229 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)02-0176-07

Shelf-life Prediction of Black Sesame Compound Honey Pill and the Effect of Packaging Method on its Storage Quality

YOU Jing, SUN Qiang✉, MA Lin, SONG Guo-hui, HUANG Ji-nian

(1. Center of Agricultural and Sideline Products Processing, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450000, China; 2. Agricultural and Sideline Products Processing Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450000, China)

Abstract: Taking the black sesame compound honey pill as the research object, the acid value and peroxide value are used as evaluation indicators to investigate the influence of different storage temperatures on its quality; on this basis, the shelf life of the black sesame compound honey pill under naked packaging conditions is predicted by constructing an Arrhenius model. In order to further extend the shelf life, four different packaging forms were set up to package the black sesame compound honey pill, and the effects of different packaging methods on its storage quality such as moisture, texture, and physical and chemical properties were investigated at the same time. The results showed that: compared with the control group, nitrogen filling, shelling and wax sealing have a certain effect on preventing the black sesame compound honey pill from decreasing moisture and increasing hardness and acid value. The packaging form of wax

收稿日期: 2021-10-12

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助 (CARS-4); 河南省农业科学院创新团队 (2021TD08)

Supported by: China Agriculture Research System of MOF and MARA (No. CARS-4); Innovation Team of Henan Academy of Agricultural Sciences (No. 2021TD08)

作者简介: 游静, 女, 1993 年出生, 硕士, 研究实习员, 研究方向为油料资源精深加工及产品开发。E-mail: 81227487@qq.com.

通讯作者: 孙强, 男, 1973 年出生, 硕士, 副研究员, 研究方向为油脂加工研究。E-mail: qiangsunxy@126.com.

paper + pill shell + wax seal + tin foil paper + polyethylene plastic bag has the best effect. The research results provide a reference for the storage of honey pill products.

Key words: black sesame honey pill; storage temperature; acid value; peroxide value; packaging material

近年来,随着“药食同源”概念的提出和“预防为主”观念的深入人心,人们对健康食品的需求日益增加^[1-2]。黑芝麻为胡麻科脂麻的黑色种子,含有大量的脂肪和蛋白质,营养价值丰富^[3],食疗作用广泛。黑芝麻蜜丸是黑芝麻产品中备受关注的健康食品之一,是以黑芝麻为主要原料,经研细末等制成的蜜丸,具有乌发、润发^[4]、补气养血^[5]等功效,深受群众喜爱。随着消费者养生意识的增强,近年来发展迅速,在健康食品的市场掀起热潮。

尽管黑芝麻蜜丸营养丰富,但其容易酸败,使品质受到影响。这是由于富含油脂的食品,在加工或储存过程中因高温、微生物或酶的作用,油脂中不饱和脂肪酸被氧化形成不稳定的氢过氧化物,从而对产品品质及营养价值产生影响^[6-7]。了解产品的货架期对维护产品品质具有重大意义,而目前关于蜜丸货架期的研究鲜有报道,如何快速准确地预测蜜丸的货架期变得尤为重要。货架期预测食品加工中大多遵循零级或者一级反应模型,其中一级反应模型应用最为广泛及精准^[8]。因此本实验以黑芝麻蜜丸为实验对象,采用加速实验,分析温度与其酸价和过氧化值的关系,建立相关 Arrhenius 货架期预测模型。

此外,产品包装对产品品质也有较大影响。食品的包装以产品为基础,其新颖、独特的设计不仅可以带给消费者美味、卫生、安全等一系列直观感受,其最大的作用是作为保护食品的载体,防止食品在运输、销售等过程中受到外部环境如光照、氧气、温湿度、微生物等影响,保护食品质量的稳定,延长其货架期^[9]。前期研究表明:蜜丸在储藏期间易发生失水、变硬、氧化、变质等情况,选用适宜的包装和储藏条件可有效延长产品的货架期。因此,我们以黑芝麻复合蜜丸为研究对象,在明确不同贮藏温度对品质影响的基础上,通过构建模型对其货架期预测;并选用常见的包装形式,于常温下探索黑芝麻复合蜜丸贮藏过程中水分、硬度、酸价和过氧化值的变化规

律,以期筛选出可显著延长蜜丸储存时间、保护产品品质的包装形式,为蜜丸类产品的生产、储藏提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

黑芝麻(实验室自制,其中黄精粉、茯苓粉、百合粉:上海今良食品有限公司;酸枣仁:神农金康原生态茶业有限责任公司;槐花蜂蜜:久创科技有限公司);

冰乙酸、三氯甲烷、碘化钾、硫代硫酸钠、石油醚(沸程为 30~60 °C)、无水硫酸钠、重铬酸钾、95%乙醇、无水硫酸钠、无水乙醚:天津市富宇精细化工有限公司,所用试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

ACS 型电子天平:广州广衡电子衡量器有限公司;GTJ 型滚筒炒锅:青岛德维机械制造有限公司滚筒炒锅;全自动大蜜丸机:山东精诚医药装备制造有限公司大蜜丸机;DXF-060 型手提式中药粉碎机:广州市大祥电子机械设备有限公司;TMS-Pro 型质构仪:美国 FTC 公司;XMTD-8222 型电热恒温鼓风干燥箱:上海佳胜实验设备有限公司;DHP-9012 型恒温培养箱:上海一恒科学仪器有限公司恒温培养箱;酸、碱式滴定管:江苏三爱思科学仪器有限公司;HH-4 型恒温水浴锅:常州市亿能实验仪器厂恒温水浴锅;500 mL 索氏脂肪提取装置:蜀牛玻璃仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 黑芝麻复合蜜丸制备工艺

采用滚筒炒锅对黑芝麻进行炒制(炒至黑芝麻的温度达到 160 °C),后将黑芝麻打粉过 40 目筛网,称取适量黑芝麻粉(占比 47.9%)与中药粉(酸枣仁 3%、黄精 3%、茯苓 2%、百合 2%)采用粉碎机进行预先混合,而后加入已炼制好的蜂蜜(占比 42.1%,炼制至蜂蜜温度达到 110 °C 左右)中进行总混制团后,投入全自动大蜜丸机

中进行制丸，得到每丸约 6 g（直径为 22 mm）的黑芝麻复合蜜丸，包装后即可得到成品。

1.3.2 预测模型的建立

1.3.2.1 加速实验设计 按照图 1 制取相同批次黑芝麻复合蜜丸产品，采用食用裸包装形式（蜡纸+聚乙烯塑料袋）统一包装（100 g/袋）后，同时置于恒温箱中，分别设置破坏温度为 40、50、60 °C，每隔 3 d 检测酸价和过氧化值。

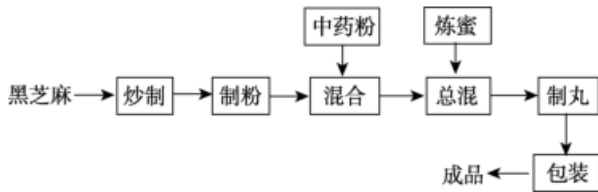


图 1 黑芝麻复合蜜丸制备工艺流程图
Fig.1 Process flow chart for preparing black sesame compound honey pills

1.3.2.2 酸价和过氧化值 按照 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》、GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》检测酸价和过氧化值。

1.3.2.3 货架期预测模型的建立 食品贮藏过程中，大多数遵循一级动力学模型（公式（1））^[10]，Arrhenius 方程（公式（2））可用于描述反应速率常数与温度之间的关系^[11]，将 1.3.2.2 中得到的不同温度下黑芝麻复合蜜丸随储藏时间变化的酸价，与一级反应动力学方程进行拟合，建立随时间变化的反应动力学模型，最后结合 Arrhenius 方程构建酸价的货架期预测模型（公式（3））。

$$\frac{d(A)}{dt} = k[A]^n \quad A = A_0 \times e^{kt} \quad (1)$$

式中：A 为油脂酸价或过氧化值指标；A₀ 为品质指标初始值；t 为储藏时间/d；k 为反应速率；n 为反应级数（n=1）。

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{RT} \quad (2)$$

式中：k 为反应速率常数，k₀ 为方程指前因子，E_a 为活化能，kJ/mol，R 为气体常数，8.314 44 J/(mol·K)，T 为热力学温度/K。

$$S = \frac{\ln(A) - \ln(A_0)}{e^{\left(\ln k_0 - \frac{E_a}{RT}\right)}} \quad (3)$$

式中：S 为货架期模型的预测值，d；A 为货架期终点时的过氧化值或者酸价值；A₀ 为初期过氧化值或者酸价值。

1.3.3 包装方式对蜜丸品质的影响

1.3.3.1 不同包装方式设置

表 1 不同包装设置
Table 1 Different packaging settings

序号	组别	包装方式
1	对照组	蜡纸+聚乙烯塑料袋
2	包壳组	蜡纸+药丸壳+锡箔纸+聚乙烯塑料袋
3	蜡封组	蜡纸+药丸壳+蜡封+锡箔纸+聚乙烯塑料袋
4	充氮组	蜡纸+充氮+聚乙烯塑料袋

1.3.3.2 水分 水分含量参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中恒温烘干法进行测定。

1.3.3.3 硬度 通过全质构分析仪测定，测定参数如下：直径 5 cm 的圆柱形平板探头，压缩程度为 50%，测试速率为 60 nm/min，触发力为 5 N，暂停时间 1 s。每个样品测定 5 次，结果以平均值表示。根据前期预实验，黑芝麻复合蜜丸的硬度保持在 30~45 N 之间接受度最高。

1.3.3.4 实验方法 室温（25 °C）贮藏期间，每隔一个月检测不同包装的黑芝麻复合蜜丸的酸价和过氧化值，每隔两周检测不同包装的蜜丸的水分及硬度。

1.4 数据分析

使用 Excel、SPSS 软件对数据进行处理，采用 Origin 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 黑芝麻复合蜜丸裸包装条件下货架期预测

2.1.1 不同储藏温度下黑芝麻复合蜜丸品质变化结果

酸价和过氧化值是评判高油脂食物氧化酸败程度的重要指标^[12-13]，从图 2 结果可看出：在不同储藏温度条件下，酸价随储藏时间延长而快速增加，储藏温度越高，上升速率越快。这可能是因为蜜丸本身含 8%~9% 水分，储藏过程中油脂在水分、微生物和热的作用下，会有利于产生脂肪酸，高温使得脂肪酶活性不断提高，加速脂肪分解，进而酸价快速升高^[14]。

从图3结果可看出：过氧化值的整体变化趋势呈现“V”型，在40、50、60℃条件下放置第3d时，过氧化值降至最低，而后随着放置时间延长，不同温度条件下的过氧化值逐步缓慢上升，直至第12d，在50、60℃条件下样品的过氧化值超过初始过氧化值。这可能是由于高温下过氧化物形成的速率高于分解速率，其平衡倾向于过氧化物的积累，超过一定时间后过氧化物分解速率加快导致过氧化值的降低^[15]。

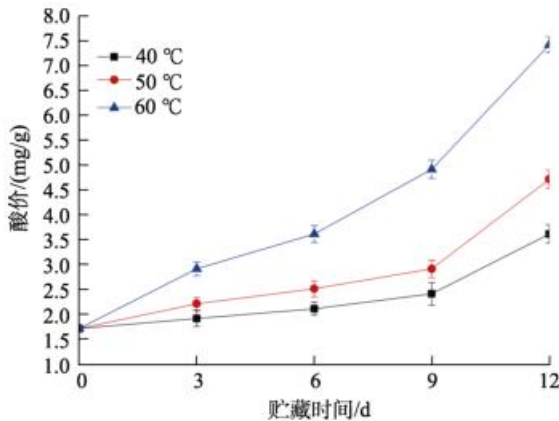


图2 温度对黑芝麻复合蜜丸酸价的影响

Fig.2 The influence of temperature on the acid value of black sesame compound honey pills

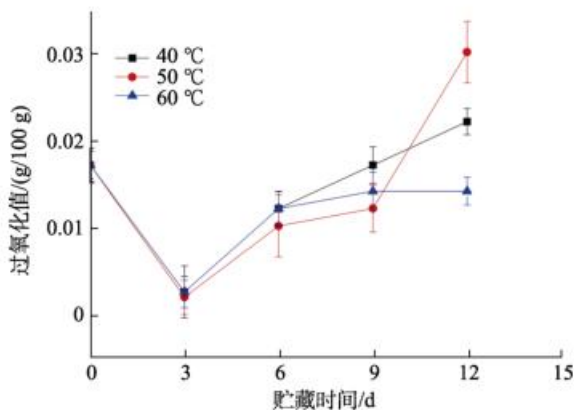


图3 温度对黑芝麻复合蜜丸过氧化值的影响

Fig.3 Effect of temperature on peroxide value of black sesame compound honey pills

2.1.2 架期模型的建立

由于过氧化值的变化并不符合一级动力学模型，酸价的变化符合一级动力学模型，故选取酸价的变化作为黑芝麻复合蜜丸货架期预测的关键因子。我们以指数函数将酸价做回归方程分析，如表2，随着温度的升高，酸价变化速率常数k值逐渐增大，表明温度与酸价变化速率密切相关，符合一级动力学模型。以lnk和热力学温度的倒

数1/T作图，得到一条以 $-\frac{E_a}{R}$ 为斜率的直线方程， $y=-3776.2X+9.1629$ ($R^2=0.9927$)，回归方程 $R^2>0.9$ ，表明建立的Arrhenius方程相关性好，能够准确描述lnk和1/T之间的关系，最后根据一级动力学模型Arrhenius方程，得到黑芝麻复合蜜丸的酸价架期预测公式：

$$S = \frac{\ln(AV_L) - \ln(AV_0)}{e^{\left(\frac{-3776.9}{T} + 9.1629\right)}} \quad (4)$$

表2 不同温度下黑芝麻复合蜜丸的酸价动力学模型

Table 2 Kinetic model of acid value of black sesame compound honey pills at different temperatures

指标	温度/°C	方程	k	R ²
酸价(AV)	40	$y=1.6047e^{0.0559x}$	0.0559	0.9045
	50	$y=1.6611e^{0.077x}$	0.0770	0.9339
	60	$y=1.8224e^{0.1155x}$	0.1155	0.9823

2.1.3 货架期确定

采用酸价来预测黑芝麻复合蜜丸在裸包装条件下的理论货架期，根据芝麻油标准GB/T 8233—2008中规定芝麻油酸价4mg/g为蜜丸货架期的终点。在常温(25℃)、40、50、60℃温度下，黑芝麻复合蜜丸(初始酸价1.7mg/g)在裸包装条件下的理论货架期分别是28.6、15.6、10.7、7.5d。可看出，裸包装条件下，黑芝麻复合蜜丸存在保质期较短的问题。

2.2 包装形式对黑芝麻复合蜜丸品质的影响

由于在裸包装条件下，黑芝麻复合蜜丸的保质期较短，故考虑通过改良包装的形式来改善产品贮藏期间的品质，以期延长其产品货架期至六个月以上。目前市面上，蜜丸最常见的包装形式是蜡纸+塑料盒包装或者蜡纸+药丸壳+锡箔纸包装；中药蜜丸蜡封技术也为常见技术，蜡封技术目前较广泛的应用于保护植物活体材料，提高种子发芽率方面^[16]；充氮包装是目前食品保鲜包装中较为常见的一种包装形式^[17]。我们采取常见的包装材料，设置四种不同的包装形式(表1)，研究黑芝麻复合蜜丸贮藏期间的品质变化。

2.2.1 包装形式对储藏过程中黑芝麻复合蜜丸水分含量的影响

水分含量是影响蜜丸口感品质的关键内在因素，水分含量越高，越有利于蜜丸口感品质的保

持。食品的水分含量与外部温度、湿度、自身水分含量等都有关系^[18]。从表 3 可知, 室温下不同包材处理的黑芝麻复合蜜丸的水分含量随着贮藏时间延长而降低, 黑芝麻复合蜜丸初始水分含量为 8.47%, 放置至第 6 个月结束时, 对照组水分含量降低至 5.62%, 包壳组水分含量降低至 5.87%, 充氮组降低至 5.98%, 蜡封组水分含量降低至 6.83%。通过 SPSS 软件分析, 在 6 个月的贮藏期限内, 与对照组相比, 蜡封组能显著抑制黑芝麻复合蜜丸的水分流失情况 ($P < 0.05$), 包壳组与充氮组未能显著抑制黑芝麻复合蜜丸水分流失的情况 ($P > 0.05$)。

表 3 不同包装对黑芝麻复合蜜丸水分变化的影响

Table 3 Effect of different packaging on the moisture change of black sesame compound honey pills %

时间/月	水分			
	对照组	包壳组	蜡封组	充氮组
0	8.47±0.01 ^a	8.47±0.01 ^a	8.47±0.01 ^a	8.47±0.01 ^a
0.5	8.47±0.02 ^a	8.47±0.04 ^a	8.42±0.03 ^a	8.43±0.03 ^a
1	8.33±0.02 ^b	8.40±0.02 ^a	8.42±0.01 ^a	8.23±0.06 ^c
1.5	8.23±0.05 ^b	8.34±0.03 ^a	8.31±0.01 ^a	8.15±0.04 ^c
2	8.17±0.13 ^b	8.26±0.03 ^a	8.30±0.04 ^a	8.15±0.05 ^b
2.5	7.50±0.04 ^d	7.92±0.04 ^c	8.54±0.02 ^a	8.09±0.05 ^b
3	7.48±0.05 ^c	7.76±0.04 ^a	7.82±0.01 ^a	7.40±0.01 ^b
3.5	7.03±0.01 ^d	7.23±0.03 ^b	7.54±0.02 ^a	7.14±0.01 ^c
4	6.73±0.01 ^c	6.92±0.06 ^b	7.67±0.01 ^a	6.97±0.05 ^b
4.5	6.76±0.03 ^c	7.05±0.05 ^b	7.23±0.01 ^a	6.82±0.01 ^c
5	6.51±0.02 ^c	6.85±0.03 ^b	7.24±0.02 ^a	6.52±0.08 ^c
5.5	5.87±0.20 ^c	6.25±0.01 ^b	6.93±0.02 ^a	5.95±0.03 ^c
6	5.62±0.073 ^c	5.87±0.043 ^b	6.83±0.023 ^a	5.98±0.05 ^b

注: 不同字母的数据表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: The data with different letters show significant differences ($P < 0.05$).

2.2.2 包装形式对储藏过程中黑芝麻复合蜜丸硬度变化的影响

硬度是使蜜丸达到一定程度的形变所需要的力, 硬度大小是长期困扰蜜丸的重要问题^[19]。由表 4 可看出, 室温下不同包材处理的黑芝麻复合蜜丸的硬度随着贮藏时间的增加而呈现增幅, 可能在样品贮藏过程中水分的流失有关^[20]。黑芝麻复合蜜丸在第 4~5 个月时, 由于北方天气寒冷, 达到零下, 整体硬度都触及顶峰, 而后有所回升。经 SPSS 软件分析, 在贮藏期内与对照组相比, ③蜡封组可显著减缓黑芝麻复合蜜丸硬度增加 ($P < 0.05$), 包壳组与充氮组未能显著控制黑芝麻

复合蜜丸的硬度增加情况 ($P > 0.05$)。

表 4 不同包装对黑芝麻复合蜜丸硬度变化的影响

Table 4 The effect of different packaging on the hardness change of black sesame compound honey pills N

时间/月	硬度			
	对照组	包壳组	蜡封组	充氮组
0	33.52±0.43 ^a	33.52±0.43 ^a	33.52±0.43 ^a	33.52±0.43 ^a
0.5	33.81±0.16 ^a	32.65±0.82 ^b	32.36±0.36 ^b	32.48±0.29 ^b
1	34.43±0.38 ^a	32.31±0.19 ^b	31.65±0.43 ^b	30.09±0.32 ^c
1.5	34.76±0.75 ^a	33.49±0.29 ^b	30.76±0.25 ^c	31.59±0.52 ^c
2	34.94±0.19 ^a	34.14±0.22 ^b	32.57±0.04 ^c	31.90±0.26 ^d
2.5	37.35±0.06 ^a	35.18±0.07 ^b	32.86±0.06 ^c	34.60±0.19 ^d
3	41.74±0.22 ^a	37.75±0.37 ^b	33.64±0.75 ^d	38.75±0.57 ^c
3.5	48.72±0.12 ^a	44.42±0.09 ^b	42.66±0.04 ^d	43.17±0.06 ^c
4	54.20±0.65 ^a	47.35±1.14 ^b	41.24±0.57 ^c	47.47±0.99 ^b
4.5	63.42±0.22 ^a	63.57±0.33 ^a	48.96±0.65 ^b	63.29±1.77 ^a
5	62.59±0.47 ^a	60.35±0.27 ^b	41.91±0.07 ^d	54.54±0.31 ^c
5.5	56.19±0.71 ^a	50.79±0.06 ^c	36.18±0.18 ^d	51.56±0.34 ^b
6	49.81±0.20 ^a	43.56±0.19 ^c	33.85±0.14 ^d	44.48±0.32 ^b

注: 不同字母的数据表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: The data with different letters show significant differences ($P < 0.05$).

2.2.3 包装形式对储藏过程中黑芝麻复合蜜丸过氧化值的影响

从表 5 可看出, 不同包材处理的黑芝麻复合蜜丸过氧化值在贮藏第 2 个月有所上升, 而后均开始大幅下降, 可能是黑芝麻复合蜜丸中的中药粉含有的天然抗氧化活性提高了黑芝麻蜜丸的抗氧化活性, 且相较于加速实验, 室温贮藏条件下, 温度较低, 对过氧化值的影响相对较小^[21-22]。室温放置样品 3 个月后, 以蜡封组的过氧化值最低, 对照组过氧化值较高, 包壳组充氮组居中, 4 种包装形式的黑芝麻复合蜜丸的过氧化值在贮藏期

表 5 不同包装对黑芝麻复合蜜丸过氧化值变化的影响

Table 5 Effect of different packaging on the peroxide value of black sesame compound honey pills g/100 g

时间/月	过氧化值			
	对照组	包壳组	蜡封组	充氮组
0	0.10±0.00 ^a	0.10±0.00 ^a	0.10±0.00 ^a	0.10±0.00 ^a
1	0.11±0.10 ^a	0.09±0.00 ^b	0.08±0.01 ^c	0.08±0.00 ^c
2	0.09±0.00 ^c	0.11±0.00 ^b	0.12±0.0 ^a	0.10±0.00 ^c
3	0.12±0.01 ^a	0.07±0.00 ^b	0.05±0.00 ^c	0.05±0.00 ^c
4	0.03±0.00 ^a	0.02±0.00 ^b	0.01±0.00 ^b	0.02±0.00 ^c
5	0.03±0.00 ^a	0.02±0.00 ^b	0.01±0.00 ^c	0.02±0.00 ^b
6	0.01±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a

注: 不同字母的数据表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: The data with different letters show significant differences ($P < 0.05$).

内均未超标。但经 SPSS 软件分析,包壳组、蜡封组和充氮组的过氧化值与对照组相比较皆没有显著性差异 ($P>0.05$)。

2.2.4 包装形式对储藏过程中黑芝麻复合蜜丸酸价的影响

酸价是影响食品品质的重要因素,由表 6 可知,不同包材的黑芝麻复合蜜丸的酸价随着贮藏时间增长均呈现上升趋势。在 6 个月的贮藏期内,初始酸价 1.2 mg/g 的情况下,4 种包装形式的黑芝麻复合蜜丸的酸价均未超标,黑芝麻复合蜜丸酸价变化由大到小对应的包材依次为:对照组>充氮组>包壳组>蜡封组。经 SPSS 软件分析,与对照组相比较,蜡封组可显著抑制酸价的增长 ($P<0.05$),同样,与对照组相比较,包壳组与充氮组无显著性差异 ($P>0.05$)。

表 6 不同包装对黑芝麻复合蜜丸酸价变化的影响

Table 6 The effect of different packaging on the acid value of black sesame compound honey pills mg/g

时间/月	酸价			
	对照组	包壳组	蜡封组	充氮组
0	1.20±0.02 ^a	1.20±0.02 ^a	1.20±0.02 ^a	1.20±0.02 ^a
1	1.30±0.02 ^a	1.20±0.02 ^c	1.21±0.01 ^c	1.25±0.02 ^b
2	1.60±0.02 ^a	1.50±0.10 ^{ab}	1.42±0.08 ^b	1.22±0.08 ^c
3	1.72±0.02 ^a	1.65±0.03 ^b	1.40±0.01 ^d	1.45±0.02 ^c
4	1.82±0.06 ^a	1.70±0.06 ^b	1.50±0.02 ^c	1.55±0.02 ^c
5	2.30±0.05 ^a	1.76±0.02 ^b	1.50±0.01 ^d	1.65±0.02 ^c
6	1.85±0.02 ^a	1.60±0.01 ^b	1.95±0.02 ^d	2.69±0.01 ^c

注:不同字母的数据表示差异显著 ($P<0.05$)。

Note: The data with different letters show significant differences ($P<0.05$).

3 结论

在高温储藏条件下,裸包装黑芝麻复合蜜丸酸价随着温度上升而上升,其过氧化值呈现先升后降的趋势,通过一级动力学模型结合 Arrhenius 方程构建的酸价货架期模型预测结果表明,其在常温下货架期预测值为 28.6 d,且温度越高,贮藏时间越短,表明裸包装黑芝麻复合蜜丸产品宜在低温条件下储存,且存在货架期较短的问题。

在室温贮藏条件下,研究 4 种不同的包装形式(①蜡纸+聚乙烯塑料袋、②蜡纸+药丸壳+锡箔纸+聚乙烯塑料袋、③蜡纸+药丸壳+蜡封+锡箔纸+聚乙烯塑料袋、④蜡纸+充氮+聚乙烯塑料袋)

对黑芝麻复合蜜丸理化指标的影响。6 个月的贮藏期实验表明,4 种不同包装形式的黑芝麻复合蜜丸的水分含量显著下降,硬度则持续上升直至第 4~5 个月时触及顶峰后有所回升,过氧化值只在第 2 个月稍微上升而后快速下降,酸价整体呈现缓慢上升的趋势,但 4 种包装形式在 6 个月贮藏期限内的酸价均未超标。与对照组相比,充氮包装、药丸壳包装和蜡封包装均能在一定程度上抑制黑芝麻复合蜜丸的水分、硬度、酸价和过氧化值的变化情况,其中,以蜡封组的效果最好,与对照组相比具有显著性 ($P<0.05$),能保持黑芝麻复合蜜丸产品在 6 个月的储存期内品质最佳。这对延长黑芝麻复合蜜丸产品的货架期有重要意义,同时为蜜丸的合理储存提供了一定的技术支持与理论参考。

参考文献:

- [1] 谢果珍,唐雪阳,梁雪娟,等.药食同源的源流内涵及定义[J].中国现代中药,2020,22(9):1423-1427+1462.
XIE G Z, TANG X Y, LIANG X J, et al. The origin and definition of the homology of medicine and food[J]. Modern Chinese Medicine, 2020, 22(9): 1423-1427+1462.
- [2] 肖热风,赖怀恩,肖海霞.药食同源理论的研究与应用探讨[J].中国卫生产业,2013,10(12):177-178.
XIAO R F, LAI H E, XIAO H X. Research and application of the theory of medicine and food homology[J]. China Health Industry, 2013, 10(12): 177-178.
- [3] 邵家威,祁国栋,张桂香,等.芝麻的营养与功能价值评价研究进展[J].粮油食品科技,2019,27(6):86-92.
SHAO J W, QI G D, ZHANG G X, et al. Research progress in evaluation of nutritional and functional value of sesame[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2019, 27(6): 86-92.
- [4] 金征宇,蔡灿欣,田耀旗,等.黑芝麻功能成分的构效关系[J].食品科学技术学报,2019,37(6):1-7.
JIN Z Y, CAI C X, TIAN Y Q, et al. Structure-activity relationship of black sesame functional components[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 37(6): 1-7.
- [5] ELHARDALLOU S B, FARH S, GOBOURI A. Production, storage and evaluation of homemade and processed diet, based on wheat, legumes, sesame and dates; for under-five children[J]. Food and Nutrition Sciences, 2015, 6(7): 605-611.
- [6] 庞晓慧,李俊健,吴俏樵,等.美藤果油、亚麻籽油和紫苏籽油氧化稳定性对比研究[J].中国油脂,2021,46(1):32-37.
PANG X H, LI J J, WU Q J, et al. Comparative study on oxidation stability of vine fruit oil, linseed oil and perilla seed oil[J]. China Oils and Fats, 2021, 46(1): 32-37.
- [7] 王赛楠,郭立净,智文莉,等.食用油、油脂及其制品的质量

- 安全风险分析与监管对策研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(9): 38-42.
- WANG S N, GUO L J, ZHI W L, et al. Research on the quality and safety risk analysis and regulatory countermeasures of edible oils, fats and their products[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(9): 38-42.
- [8] 牛耀星, 王霆, 毕阳, 等. 温度对金针菇贮藏品质的影响及货架期的预测模型[J]. 食品科学, 2021, 42(1): 264-271.
- NIU Y X, WANG TING, BI Y, et al. The influence of temperature on the storage quality of Flammulina velutipes and the prediction model of shelf life[J]. Food Science, 2021, 42(1): 264-271.
- [9] 邢海亮, 余旭亚, 耿树香, 等. 虾青素油对核桃油抗氧化性及货架期的影响[J]. 中国油脂, 2020, 45(5): 105-109.
- XING H L, YU X Y, GENG S X, et al. The effect of astaxanthin oil on the antioxidant properties and shelf life of walnut oil[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(5): 105-109.
- [10] 李伟岸, 徐俐, 张东亚, 等. 包装对薏仁桃酥油脂氧化的影响及其货架期模型建立[J]. 食品工业, 2018, 39(1): 173-176.
- LI W A, XU L, ZHANG D Y, et al. The effect of packaging on the oxidation of barley peach butter and its shelf life model establishment[J]. Food Industry, 2018, 39(1): 173-176.
- [11] 余立, 林渊智, 段宁宇, 等. 福州鱼丸常温包装条件下货架期模型构建[J]. 包装学报, 2018, 10(4): 56-61.
- YU L, LIN Y Z, DUAN N N, et al. Construction of shelf life model of Fuzhou fish balls under normal temperature packaging conditions[J]. Packaging Journal, 2018, 10(4): 56-61.
- [12] 徐芳, 卢立新. 油脂氧化机理及含油脂食品抗氧化包装研究进展[J]. 包装工程, 2008(6): 23-26.
- XU F, LU L X. The oxidation mechanism of oils and the research progress of anti-oxidant packaging of oil-containing foods[J]. Packaging Engineering, 2008(6): 23-26.
- [13] 刘芳, 王超, 杨菊, 等. 油脂酸价和过氧化值检测方法的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(14): 4478-4482.
- LIU F, WANG C, YANG J, et al. Research progress on detection methods of oil acid value and peroxide value[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2019, 10(14): 4478-4482.
- [14] TEKIN L, SECKIN M, YILMAZ E. Physicochemical changes in hazelnut, olive pomace, grapeseed and sunflower oils heated at frying temperatures[J]. Food Science and Technology Research, 2009, 15(5): 519-524.
- [15] 姚云平, 杜乐, 宋洁, 等. 高温条件下亚麻籽油二次氧化产物的动态变化[J]. 中国油脂, 2019, 44(8): 77-81.
- YAO Y P, DU L, SONG J, et al. Dynamic changes of secondary oxidation products of linseed oil under high temperature conditions[J]. China Oils and Fats, 2019, 44(8): 77-81.
- [16] 刘海刚, 孟富宣, 段元杰, 等. 蜡封对木薯种茎贮藏活力的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2020, 35(3): 386-391.
- LIU H G, MENG F X, DUAN Y J, et al. The effect of wax seal on the storage vigor of cassava stems[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2020, 35(3): 386-391.
- [17] 桑跃, 冯海红, 蒙璐, 等. 充氮包装和储藏温度对益生菌粉储藏稳定性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(19): 143-147.
- SANG Y, FENG H H, MENG L, et al. The effect of nitrogen filling packaging and storage temperature on the storage stability of probiotic powder[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(19): 143-147.
- [18] 郝发义, 卢立新. 食品防潮包装理论及货架期预测研究现状[J]. 包装工程, 2012, 33(11): 45-49.
- HAO F Y, LU L X. Theories of food moisture-proof packaging and research status of shelf life prediction[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(11): 45-49.
- [19] 杜静, 王明. 大蜜丸硬度原理与研究进展[J]. 产业与科技论坛, 2011, 10(22): 88.
- DU J, WANG M. The principle and research progress of the hardness of Dami Pills[J]. Industry and Technology Forum, 2011, 10(22): 88.
- [20] 王辉, 雷尊国, 王梅, 等. 不同包装形式和贮藏方式对脱水马铃薯片品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(10): 203-208.
- WANG H, ZUN L G, WANG M, et al. The effect of different packaging and storage methods on the quality of dehydrated potato chips[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(10): 203-208.
- [21] TING L, YAN S, ZI-XUAN W, et al. Improving the oxidative stability of flaxseed oil with composite antioxidants comprising gallic acid alkyl ester with appropriate chain length[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 138.
- [22] 杜琪, 赵新华, 耿雷跃, 等. 不同干燥温度对花生营养品质和发芽特性的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(10): 2254-2260.
- DU Q, ZHAO X H, GENG L Y, et al. Effects of different drying temperatures on the nutritional quality and germination characteristics of peanuts[J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2020, 34(10): 2254-2260. 完
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。