

不同贮藏温度枸杞馅料品质变化及预测模型构建

王晨祥^{1,2}, 彭健^{1*}, 徐玉娟¹, 温靖¹, 李璐¹, 余元善¹, 吴继军¹, 林羨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 广州 510610

²华中农业大学食品科学技术学院 武汉 430070)

摘要 以枸杞馅料为研究对象,分析枸杞馅料贮藏期内水分、色泽、质构、微生物等指标的变化,并建立货架期预测模型。结果表明:枸杞馅料在 4、25℃和 37℃ 3 个温度下,随贮藏时间的延长,其硬度、水分含量、菌落总数、霉菌数均逐渐增大, L^* 值和 a^* 值则略有降低,枸杞馅料在 25℃下贮藏品质劣变速度最慢。通过相关性分析,确定以菌落总数为反映枸杞馅料贮藏货架期的品质因子,建立不同温度条件下菌落总数生长动力学模型及随贮藏温度变化的动力学模型。动力学模型的准确因子、偏差因子和均方根误差分别为 0.995~1.099,1.071~1.189 和 0.03~0.07。在此基础上建立枸杞馅料微生物预测模型并验证,预测值和实际值的相对误差在-1.77%~26.76%范围,模型可有效预测枸杞馅料货架期。本研究结果可为枸杞馅料的贮藏提供技术参考。

关键词 枸杞馅料;水分;贮藏品质;温度;货架期

文章编号 1009-7848(2023)08-0316-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.08.032

果蔬类食品馅料是以果蔬类物质的果实或块茎等为原料,添加或不添加糖及它辅料,经加热、杀菌、包装的产品^[1],可在一定程度上保留果蔬原料所特有的风味、活性及功能性成分。枸杞馅料是果蔬类馅料的一种,其作为一类加工后成品或半成品原料,具有食用方便、快捷、营养丰富等特点。枸杞馅料组成体系复杂,贮藏过程中品质变化和货架期取决于多种因素共同作用^[2]。内在因素主要包括水分、酶促和非酶促反应、氧化与代谢反应、活性物质的降解、微生物生长,外在因素则包括温度、湿度、光照、物理损伤、包装材料等^[3]。

温度是影响枸杞馅料品质变化的重要因素。合理控制贮藏温度条件,可以有效减缓馅料的品质劣变速率,因此,探究不同贮藏温度对馅料的理

化、微生物和感官特性的影响十分必要。Franke 等^[4]研究了 18~26℃条件下果仁巧克力馅料中水和乙醇的迁移情况,指出在 18~26℃范围,提高贮藏温度会加速水和乙醇的迁移速率,并对产品造成更为严重的结构性损伤。Crobotova 等^[5]研发出一种基于荧光显微镜的方法,用于评估在 (20±2)℃条件下储藏 6 个月后苹果馅料的品质劣变情况,并阐述其在评估苹果馅料非酶促褐变现象方面的应用前景。食品贮藏过程中品质变化常用动力学模型进行表征,相关的货架期模型有:Q10 模型、Z 值模型、Arrhenius 模型、Belehradek 模型、Labuza 模型、Sigmoidal 模型、Gompertz 模型等^[6]。同时,一些基于产品质量损失与包装材料的相互影响、食品风味变化等相关模型也被用于预测食品货架期。Zhang 等^[7]使用 Eyring 模型和 Ball 模型来描述猕猴桃贮藏过程中品质的变化,并论证了其预测猕猴桃货架期和品质变化的可行性。

目前关于果蔬类食品馅料的贮藏品质变化研究较少。本试验以枸杞馅料为原料,探究不同温度条件下馅料微生物生长及品质变化情况,建立微生物预测模型并预测其货架期,以期对枸杞馅料贮藏和销售过程中的质量安全控制提供技术参考。

收稿日期: 2022-08-24

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD1002300);广东省重点领域研发计划项目(2020B020226010);广东省农业科学院“十四五”农业优势产业学科团队项目(202109TD);科技创新战略专项资金(高水平农科院建设)-优秀博士(R2019YJ-YB3009);广州市科技计划项目(201904020012,201909020001)

第一作者: 王晨祥,男,硕士生

通信作者: 彭健 E-mail: pengjian19890807@163.com

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

宁夏枸杞,中宁县茂源枸杞商贸有限公司;冬瓜蓉(水分含量78%),实验室自制。

麦芽糖醇,山东福田药业有限公司;真空无菌包装袋(PET材质),北国包装有限公司。

1.2 仪器与设备

打浆机,美的集团有限公司;DHG 101-3A型电热恒温烘箱,上海喆钛机械制造有限公司;BCD-521WDPW型海尔冰箱,青岛海尔股份有限公司;MJX-250B-Z型培养箱,上海博讯视野有限公司;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;MesoMR23-060H-1低场核磁共振成像分析仪,苏州纽迈仪器分析股份有限公司。

1.3 枸杞馅料的制备

1.3.1 冬瓜蓉制备 取若干质量冬瓜原料,经削皮去瓤后,切成均匀块状,清洗后至于打蓉脱水机中,获得水分含量(78.0 ± 1.2)%冬瓜蓉样品,随后置于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷库中速冻存储备用。

1.3.2 枸杞馅料制备 取若干质量枸杞干果【水分含量(15 ± 0.2)%】,按料液比1:3复水30 min,复水完成后晾置10 min去除多余水分,将复水后枸杞置于打浆机中破碎2 min,制备的试验所枸杞原浆的水分含量为(83 ± 0.7)%。

参考唐晓凤^[9]的馅料制备工艺,略作修改。将枸杞浆与冬瓜蓉按质量比1:4置于炒锅中斩拌均匀,计算加入一定质量的麦芽糖醇,定温 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 进行炒制,制备完成枸杞馅料水分含量为(38 ± 0.5)%,糖含量为(50 ± 0.8)%,随即对所得馅料进行热灌装与真空密封包装。

1.3.3 枸杞馅料贮藏试验方案 将炒制完成的枸杞馅料用真空袋热灌装后,分别置于 $4, 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下贮藏60 d,每隔10 d或20 d测定其水分、色泽、质构、微生物变化情况。

1.4 方法

1.4.1 不同贮藏温度对枸杞馅料水分的影响

1.4.1.1 水分含量 每隔10 d取不同贮藏温度下枸杞馅料样品5 g,水分含量测定参照GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》,

采用直接干燥法,测定馅料不同贮藏时间水分含量变化。

1.4.1.2 水分分布状态 每隔20 d取不同贮藏温度下枸杞馅料,采用低场核磁共振(LF-NMR)测定枸杞馅料不同贮藏时间水分状态变化情况,并采用SIRT模型进行反演。具体试验参数如下:温度(32 ± 0.05) $^{\circ}\text{C}$,60 mm探头线圈,质子共振频率(SF)21 MHz,射频延时(RFD)=0.200 ms,数字增益(DRG1)=3,90 $^{\circ}$ 脉宽(P1)=10 μs ,180 $^{\circ}$ 脉宽(P2)=19.04 μs ,采样点(TD)=300 000,采样频率(SW)=100 KHz,前置放大倍数(PRG)=1,采样等待时间(TW)=3 000 ms,模拟增益(RG1)=20 Db,累加采样次数(NS)=2,回波个数(NECH)=15 000,回波时间(TE)=0.200 ms。

1.4.1.3 水分核磁成像 进一步对不同贮藏时间枸杞馅料进行核磁共振成像测试(MRI),具体测试参数设置如下:读出方向视野(FOVRead)=100 mm,相位方向视野(FOVPhase)=100 mm,重复时间(TR)=500 ms,TE=20 ms,反转恢复时间(TI-IR)=20 ms,固定增益(RG)=20 dB,90 $^{\circ}$ 射频角(RFA90)=3.5%,180 $^{\circ}$ 射频角(RFA180)=5.2%,平均次数(Averages)=2,触发角(FA)=90 deg,使用核磁共振成像软件和MSE序列采集不同贮藏温度下枸杞馅料的冠状面图像。

1.4.2 不同贮藏温度对枸杞馅料质构品质的影响

不同贮藏温度下枸杞馅料质构采用物性分析仪测定,选择TPA模式测定,在唐晓凤^[9]方法上略作修改,选择TPA模式,P36/R探头,测试条件:前探头速度5.0 mm/s,测定时1.0 mm/s,测定结束5.0 mm/s,应变:75%,触发力5.0 g。

1.4.3 不同贮藏温度对枸杞馅料色泽变化的影响

每隔10 d取不同贮藏温度下枸杞馅料样品,置于比色皿中,塞满比色皿不留缝隙,使用色差仪进行测定,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)。

为了更好地评价颜色变化,计算了总色差(ΔE)。根据国际照明委员会(CIE)制定的与人类视觉感知颜色相对应的标准,总色差(ΔE)大于5被认为色泽差异显著,可被普通观察者所识别^[9]。 ΔE 按式(1)计算。

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (1)$$

1.4.4 不同贮藏温度对枸杞馅料微生物生长的影响

1.4.4.1 菌落总数 参考国标 GB 4789.2-2016《食品微生物学检验 菌落总数测定》中的平板计数法,每隔 10 d 在无菌条件下取不同贮藏温度下的枸杞馅料 1 g 置于 0.9% 生理盐水中,振荡混匀,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 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 后进行菌落总数测定。

1.4.4.2 霉菌 参考国标 GB 4789.15-2016《食品微生物学检验 霉菌和酵母计数》中的平板计数法,每隔 10 d 在无菌条件下取不同贮藏温度下的枸杞馅料 1 g 置于 0.9% 生理盐水中,振荡混匀。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 9 mL 生理盐水中,进行梯度稀释,在 30 °C 培养箱中培养 5 d 后测定霉菌数。

1.4.5 枸杞馅料预测模型建立

1.4.5.1 微生物生长动力学模型 数学动力学模型是监测食品品质随储藏时间和温度变化的有效工具,可以准确预测食品货架期^[10]。根据不同贮藏温度条件下(4, 25 °C 和 37 °C)枸杞馅料中菌落总数,采用修正后 Gompertz 方程【式(2)】进行非线性回归分析,模拟枸杞馅料中微生物生长变化。

$$N_t = N_0 + a \times \exp\{-\exp[\mu_{\max}/a \times (\lambda - t) + 1]\} \quad (2)$$

式中, N_t —— t 时刻样品菌落总数,lg(CFU/g); N_0 ——未开始贮藏时的初始样品菌落总数,lg(CFU/g); a ——生长量,即样品最大菌落总数与初始菌落总数差值,lg(CFU/g); μ_{\max} ——样品微生物最大比生长速率,d⁻¹; λ ——样品菌落总数生长滞后时间,d; t ——货架时间,d; e 为自然对数,即 2.71828。

1.4.5.2 不同温度下枸杞馅料微生物生长模型

参考 Yu 等^[11]的方法,使用多项式方程拟合温度对枸杞馅料菌落总数生长的影响,具体见式(3)和(4)。

$$\mu_{\max} = A + B \times T + C \times T^2 \quad (3)$$

$$\lambda = a + b \times T + c \times T^2 \quad (4)$$

式中, μ_{\max} ——最大生长速率,d⁻¹; λ ——滞后时间,d; T ——热力学温度,°C; A 、 B 、 C 、 a 、 b 、 c ——常数。

1.4.5.3 模型可靠性验证 应用建立的微生物动力学模型求得贮藏于 4, 25 °C 和 37 °C 环境下样品货架期的预测值,与同一时间下试验所得实际值比较,采用偏差因子(Bias factor, B_f),准确因子(Accuracy factor, A_f)和均方根误差(RMSE)来评价菌落总数生长动力学模型的可靠性, B_f 、 A_f 、RMSE 分别按式(5)、(6)和(7)进行计算。

$$B_f = 10^{\frac{\sum(N_{\text{实}} - N_{\text{预}})}{n}} \quad (5)$$

$$A_f = 10^{\frac{\sum|N_{\text{实}} - N_{\text{预}}|}{n}} \quad (6)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum(N_{\text{实}} - N_{\text{预}})^2}{n}} \quad (7)$$

式中, $N_{\text{实}}$ ——实测得到的微生物的数量,lg(CFU/g); $N_{\text{预}}$ ——应用微生物生长动力学模型中得到的与 $N_{\text{实}}$ 同一时间的微生物数量,lg(CFU/g); n ——试验次数。

1.5 数据处理

每组试验 3 个平行,数据用 Excel 2015 进行整理,采用 SPSS 23.0 软件进行数据显著性分析和相关性分析,并用 Origin 2017 软件进行图表绘制与模型拟合。

2 结果与讨论

2.1 不同贮藏温度对枸杞馅料水分变化的影响

2.1.1 水分含量变化 馅料水分含量是影响馅料的品质和保质期的的重要因素,水分含量的升高会给馅料的理化品质劣变和微生物生长提供条件^[12]。不同贮藏温度下枸杞馅料水分含量随贮藏

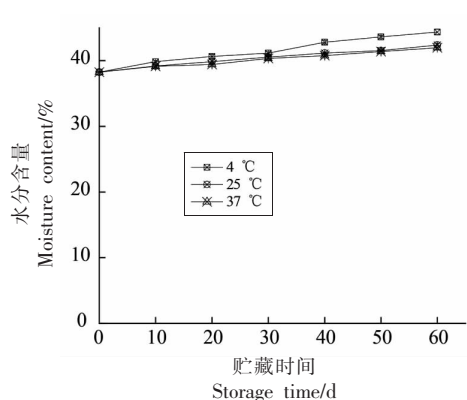


图 1 不同贮藏温度枸杞馅料水分含量随时间变化
Fig.1 The effect of different storage temperatures on the moisture content of wolfberry fillings during storage times

时间变化如图 1 所示,整个贮藏期内,不同温度条件下枸杞馅料的水分含量随贮藏时间的增加持续上升,其中 4℃贮藏馅料上升趋势最显著,37℃贮藏样品水分含量始终低于 25℃贮藏样品,差异不显著。上述结果与 Fikreyesus 等^[13]在不同温度条件下贮藏面粉的结果类似,面粉在低温贮藏过程中水分含量增加趋势较常温贮藏更为明显。这是由于真空包装袋(PET 材质)为不完全密闭材料,在 1 个标准大气压下其隔氧性约为 1.5 cm³ mm/m² d,具有一定的透湿性与透氧性^[15],而水分变化与储藏环境条件显著相关,包装材料的不完全密闭性会导致馅料在储藏过程中会出现吸湿现象,导致其水分含量缓慢提高^[16]。冰箱 4℃冷藏的低温高湿环境可能导致馅料在贮藏过程中吸湿现象更为明显,从而使其水分含量较 25,37℃上升更为明显。

2.1.2 水分分布状态变化 低场核磁共振是评估馅料基质中水分存在和分布状态的工具。通过测量横向弛豫时间(T_2),可识别具有不同迁移率水分子的状态,解析馅料基质中的水分分布状态和迁移规律^[17]。图 2 反映不同贮藏温度条件下枸杞馅料水分分布状态变化情况, T_{21} (0~10 ms)反映的是结合水状态, T_{22} (10~100 ms)反映的是半结合水状态, T_{23} (100~1 000 ms)反映的是自由水状态。其中 T_{21} 存在 2 个峰,分别表示为结合紧密的化合水与处于非水组分亲水基团附近的多层水及邻近水^[18]。由图可知, T_{22} 为最大峰,其面积高于 T_{21} 与 T_{23} ,说明枸杞馅料中水分以半结合水为主,结合水较半结合水含量低,枸杞馅料中水分主要来源于复水后枸杞浆与冬瓜蓉原料,经炒制等工艺后,由于麦芽糖醇的高亲水性,水分被束缚于馅料内部,成为半结合水^[19]。

随着贮藏时间的延长,25℃条件下贮藏 60 d 的枸杞馅料 T_{23} 峰面积占比由 0 增加至 0.46%,37℃贮藏样品由 0.14%至 0.217%,4℃贮藏样品由 0 至 0.16%,这说明枸杞馅料中自由水含量增在贮藏过程中有所增加,因为馅料在贮藏过程中存在吸湿现象,导致空气中水分吸附于馅料表面,其水分分布状态发生改变。波谱图中 T_{21} 和 T_{22} 谱峰出现左移的趋势,表明结合水与半结合水与馅料非水成分结合程度更为紧密^[20],这可能是由于馅料在贮藏过程中,麦芽糖醇出现结晶现象,导致馅料

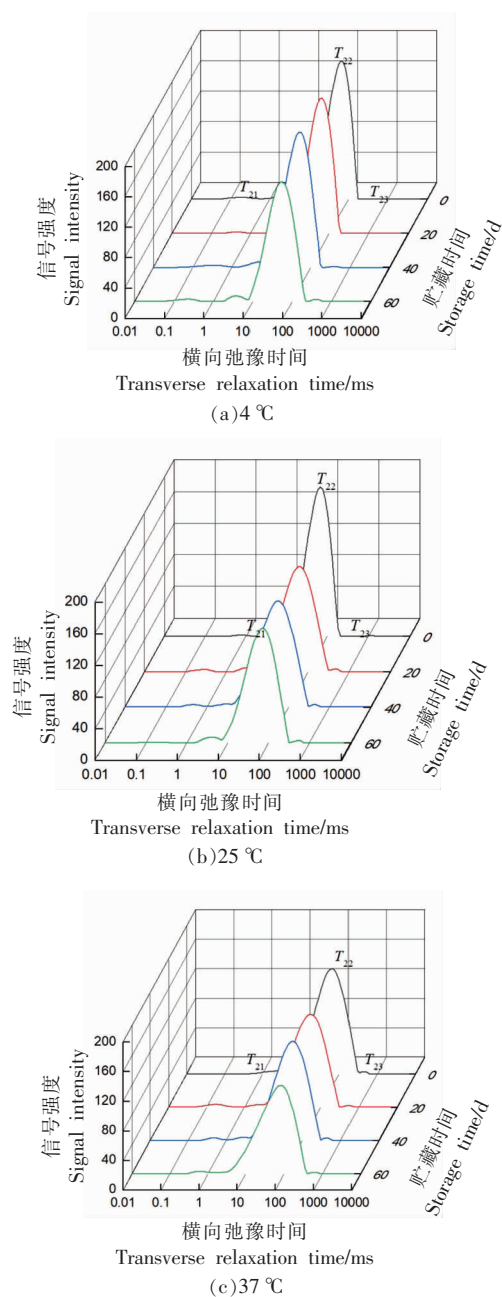


图 2 不同贮藏温度枸杞馅料水分状态随时间变化
Fig.2 The effect of different storage temperatures on the moisture status of wolfberry fillings during storage times

中水分结合程度加强。

2.1.3 水分核磁成像变化 由图 3 可知,不同温度贮藏后枸杞馅料核磁成像信号普遍强于未贮藏馅料,随着馅料贮藏时间的延长,馅料水分信号强度持续提升,这说明馅料水分含量随贮藏时间延

长而增加,4℃条件下信号强度明显高于25℃和37℃,说明4℃条件下馅料水分含量更高,这是因为低温和高湿环境会加速馅料对于空气中水分的

吸收,导致水分含量增加,这与水分含量测定结果一致。

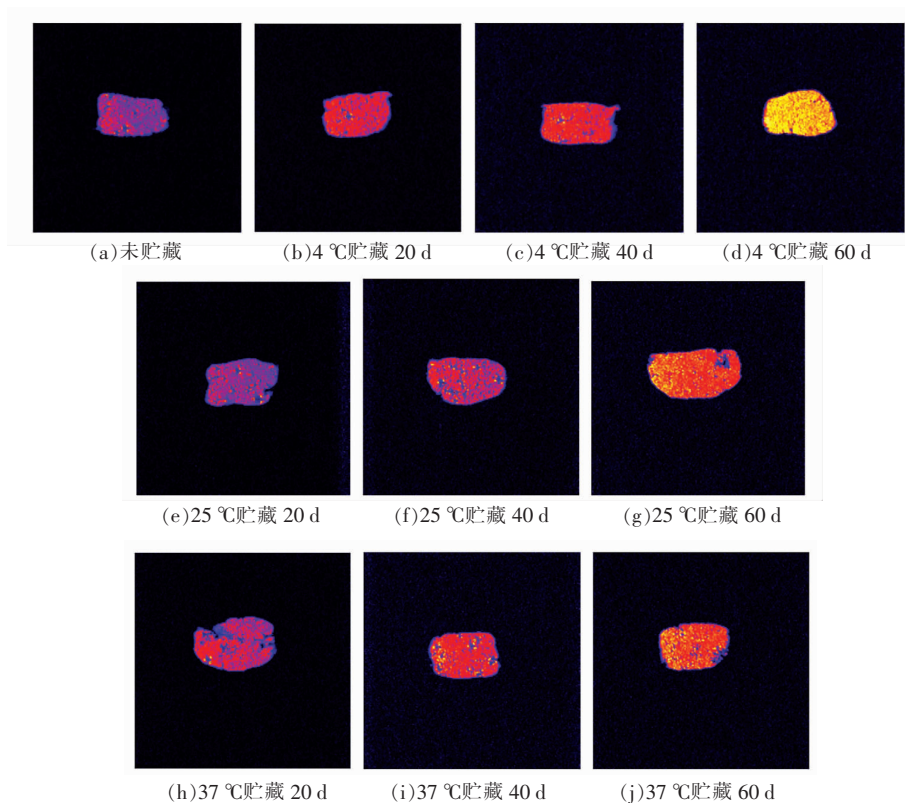


图3 不同贮藏温度枸杞馅料核磁成像随时间变化

Fig.3 NMR imaging changes of wolfberry fillings under different storage temperatures during storage times

2.2 不同贮藏温度对枸杞馅料色泽的影响

色泽是影响消费者喜爱程度的重要因素之一。由表1可知,经不同温度条件下储藏的枸杞馅料 L^* 值与 a^* 值整体呈降低趋势, b^* 与 ΔE 值整体呈升高趋势,说明馅料颜色由红色向偏黄色方向转变,整体色泽加深。4℃条件下 ΔE 值在贮藏20~50 d均未出现显著性差异($P > 0.05$),而25℃和37℃出现了显著差异($P < 0.05$),这说明低温条件有利于枸杞馅料色泽的保持,这与Teribia等^[21]发现随着贮藏温度降低复合草莓原浆色泽变化程度减少的结果类似。经37℃贮藏60 d后,馅料 ΔE 值 >5 ,说明其出现肉眼可见的色泽变化。25℃和4℃均未出现这一变化,表明贮藏温度的升高导致馅料非酶促褐变现象加剧,同时类胡萝卜素、多酚等活性物质降解速度加快,使其色泽发生明显改变^[22]。4℃贮藏60 d的 ΔE 值 <25 ℃贮藏

60 d的 ΔE 值,说明在所选贮藏温度范围内,随着贮藏温度的降低,枸杞馅料色泽变化程度随之减弱。

2.3 不同贮藏温度对枸杞馅料质构的影响

由表2可知,不同温度条件下枸杞馅料在贮藏过程中,其硬度、黏性和咀嚼性数值有较大的提升,在10 d出现显著性差异($P < 0.05$)。硬度方面,馅料在4℃条件下贮藏10,20,40~60 d无显著性差异($P > 0.05$),25℃条件下20~40 d无显著性差异($P > 0.05$),而37℃条件下,枸杞馅料硬度整个贮藏期内均存在显著性差异($P < 0.05$),说明随着贮藏温度的提升,枸杞馅料硬度等数值上升速率更高,这可能与麦芽糖醇的结晶特性有关,与蔗糖相比,麦芽糖醇虽甜度略低,溶解度也较低,但具有较强的结晶特性^[23]。贮藏过程中,麦芽糖醇出现结晶化现象,导致馅料的硬度、黏性、咀嚼性等质

表 1 不同贮藏温度枸杞馅料色泽随时间变化

Table 1 Color changes of wolfberry fillings under different storage temperatures during storage times

贮藏温度/°C	贮藏时间/d	L^*	a^*	b^*	ΔE
4	0	41.50 ± 0.35 ^a	7.22 ± 0.40 ^a	7.35 ± 0.44 ^c	—
	10	41.33 ± 1.27 ^{ab}	7.15 ± 0.14 ^{ab}	8.97 ± 0.44 ^b	1.63 ± 0.09 ^c
	20	41.09 ± 0.13 ^{ab}	6.97 ± 0.18 ^{ab}	10.89 ± 0.17 ^a	3.51 ± 0.29 ^b
	30	41.23 ± 0.37 ^{ab}	7.10 ± 0.12 ^{ab}	10.97 ± 0.43 ^a	3.63 ± 0.16 ^b
	40	39.83 ± 0.56 ^{bc}	6.50 ± 0.17 ^{bc}	10.31 ± 0.34 ^a	3.47 ± 0.27 ^b
	50	40.36 ± 0.59 ^{abc}	6.24 ± 0.47 ^c	10.35 ± 0.25 ^a	3.36 ± 0.22 ^b
	60	39.41 ± 0.41 ^c	5.49 ± 0.16 ^d	10.47 ± 0.20 ^a	4.13 ± 0.19 ^a
25	0	41.5 ± 0.35 ^{abc}	7.22 ± 0.40 ^a	7.35 ± 0.44 ^c	—
	10	41.98 ± 0.46 ^a	7.57 ± 0.37 ^a	7.75 ± 0.76 ^c	0.72 ± 0.12 ^d
	20	41.55 ± 1.30 ^{ab}	7.53 ± 0.26 ^a	8.29 ± 0.62 ^b	0.99 ± 0.07 ^c
	30	40.04 ± 0.53 ^{bcd}	7.16 ± 0.42 ^a	9.36 ± 0.49 ^b	2.49 ± 0.21 ^b
	40	40.75 ± 1.05 ^{abc}	5.65 ± 0.53 ^b	9.61 ± 0.64 ^b	2.85 ± 0.17 ^{bc}
	50	39.92 ± 1.27 ^{cd}	5.37 ± 0.18 ^b	9.24 ± 0.68 ^b	3.08 ± 0.15 ^b
	60	39.08 ± 0.41 ^d	5.14 ± 0.55 ^b	10.51 ± 0.43 ^a	4.49 ± 0.23 ^a
37	0	41.50 ± 0.35 ^a	7.22 ± 0.40 ^{ab}	7.35 ± 0.44 ^d	—
	10	41.41 ± 0.91 ^a	7.39 ± 0.24 ^a	8.85 ± 0.22 ^c	1.52 ± 0.24 ^d
	20	40.05 ± 0.56 ^b	6.42 ± 0.28 ^{bc}	9.40 ± 0.31 ^{bc}	2.63 ± 0.17 ^c
	30	39.50 ± 0.77 ^b	6.17 ± 0.36 ^c	9.77 ± 0.64 ^{ab}	3.11 ± 0.24 ^b
	40	39.26 ± 0.82 ^b	5.86 ± 0.53 ^c	8.74 ± 0.42 ^c	2.97 ± 0.23 ^{bc}
	50	39.53 ± 0.58 ^b	5.03 ± 0.64 ^d	8.91 ± 0.49 ^c	3.34 ± 0.31 ^b
	60	38.09 ± 0.54 ^c	4.92 ± 0.24 ^{cd}	10.59 ± 0.42 ^a	5.24 ± 0.19 ^a

注:相同字母表示无显著差异($P > 0.05$),不同字母表示有显著差异($P < 0.05$)。

表 2 不同贮藏温度枸杞馅料质构参数随时间变化

Table 2 Changes of texture parameters of wolfberry fillings under different storage temperatures during storage times

温度/°C	贮藏时间/d	硬度/g	弹性	内聚性	黏性	咀嚼性
4	0	1 453.50 ± 94.20 ^c	0.30 ± 0.05 ^a	0.10 ± 0.01 ^c	108.63 ± 6.71 ^c	69.38 ± 5.12 ^c
	10	3 181.55 ± 281.20 ^{ab}	0.44 ± 0.15 ^a	0.19 ± 0.01 ^a	550.85 ± 36.06 ^b	191.33 ± 27.96 ^b
	20	3 186.66 ± 399.57 ^{ab}	0.64 ± 0.07 ^a	0.20 ± 0.02 ^a	634.66 ± 84.90 ^{ab}	259.54 ± 5.75 ^a
	30	3 005.39 ± 120.82 ^b	0.34 ± 0.10 ^a	0.10 ± 0.01 ^c	208.69 ± 10.50 ^d	70.82 ± 29.12 ^c
	40	3 534.92 ± 77.88 ^a	0.34 ± 0.12 ^a	0.12 ± 0.01 ^c	314.63 ± 34.72 ^c	106.21 ± 40.44 ^c
	50	3 561.48 ± 330.68 ^a	0.49 ± 0.09 ^a	0.18 ± 0.01 ^{ab}	640.38 ± 58.05 ^a	170.22 ± 28.42 ^b
	60	3 605.05 ± 160.33 ^a	0.35 ± 0.03 ^a	0.16 ± 0.01 ^b	578.04 ± 18.08 ^{ab}	203.37 ± 9.58 ^{ab}
25	0	1 453.50 ± 94.20 ^c	0.30 ± 0.05 ^b	0.10 ± 0.01 ^c	108.63 ± 6.71 ^c	69.38 ± 5.12 ^c
	10	1 996.68 ± 99.92 ^d	0.34 ± 0.04 ^b	0.11 ± 0.01 ^{de}	214.57 ± 21.44 ^d	71.54 ± 13.53 ^c
	20	3 642.49 ± 47.26 ^c	0.36 ± 0.11 ^b	0.17 ± 0.01 ^b	630.26 ± 49.70 ^b	180.96 ± 17.39 ^b
	30	3 254.06 ± 121.04 ^c	0.39 ± 0.05 ^b	0.18 ± 0.01 ^b	584.74 ± 27.09 ^b	161.03 ± 5.93 ^{bc}
	40	3 043.98 ± 200.43 ^c	0.27 ± 0.06 ^b	0.13 ± 0.01 ^{cd}	385.01 ± 23.81 ^c	103.42 ± 19.15 ^{bc}
	50	3 102.66 ± 76.00 ^b	0.27 ± 0.09 ^b	0.14 ± 0.01 ^c	421.20 ± 32.55 ^c	113.62 ± 18.86 ^{bc}
	60	4 619.74 ± 325.64 ^a	0.73 ± 0.08 ^a	0.23 ± 0.01 ^a	1 055.79 ± 79.76 ^a	767.87 ± 61.78 ^a

(续表 2)

温度/℃	贮藏时间/d	硬度/g	弹性	内聚性	黏性	咀嚼性
37	0	1 453.50 ± 94.20 ^f	0.30 ± 0.05 ^b	0.10 ± 0.01 ^c	108.63 ± 6.71 ^c	69.38 ± 5.12 ^c
	10	2 307.42 ± 263.17 ^e	0.28 ± 0.06 ^b	0.15 ± 0.01 ^b	344.31 ± 44.80 ^d	98.55 ± 22.57 ^c
	20	2 522.95 ± 138.47 ^{de}	0.31 ± 0.07 ^b	0.14 ± 0.01 ^b	361.13 ± 52.56 ^d	82.77 ± 15.11 ^c
	30	2 858.75 ± 218.96 ^{cd}	0.35 ± 0.03 ^{ab}	0.16 ± 0.01 ^b	578.04 ± 18.08 ^b	203.37 ± 9.58 ^b
	40	2 977.22 ± 192.46 ^c	0.42 ± 0.07 ^{ab}	0.14 ± 0.02 ^b	418.18 ± 51.41 ^{cd}	200.97 ± 28.69 ^b
	50	3 932.02 ± 138.88 ^b	0.39 ± 0.04 ^{ab}	0.16 ± 0.03 ^b	547.71 ± 89.10 ^{bc}	238.32 ± 32.20 ^b
	60	5 264.46 ± 237.63 ^a	0.55 ± 0.10 ^a	0.23 ± 0.03 ^a	1 229.95 ± 121.54 ^a	537.58 ± 34.35 ^a

注:相同字母表示无显著差异($P>0.05$),不同字母表示有显著差异($P<0.05$)。

构数值增大。由于麦芽糖醇分子结构中含有 9 个羟基(蔗糖含有 3 个羟基),易与水结合形成氢键,因此具备高吸湿性^[24],空气中水分迁移至馅料表面进入内部,而麦芽糖醇的结晶化会限制馅料中水分向外迁移,使水分更难以散失,导致储藏过程中质构数值发生显著变化^[25]。Alam 等^[25]探究对加入胡萝卜渣-鹰嘴豆的大米零食的贮藏稳定性,也发现了类似的结果,表明食品的硬度和储存期限存在显著相关关系。食物中的低分子糖和有机酸对其结晶有显著影响。Bazardeh 等^[26]研究发现葡萄糖是葡萄干中的主要糖类,水合葡萄糖对储存过程中葡萄干中糖类的结晶起主要作用。Truong 等^[27]通过建立由葡萄糖、果糖、酒石酸和水组成的富含糖的液体模拟系统,发现随着样品中葡萄糖浓度的增加,其糖结晶增加,枸杞馅料作为一类高碳水化合物食品,贮藏过程中易发生结晶现象,从而使其硬度、黏性、咀嚼性等质构参数增大。

2.4 不同贮藏温度对枸杞馅料微生物生长的影响

2.4.1 不同贮藏温度对枸杞馅料菌落总数的影响

制备的枸杞馅料中菌落总数、大肠菌群、酵母和霉菌均未检测出,表明经高温炒制后,馅料中活体微生物已基本被杀灭或处于亚致死状态。由图 4 可知,随着贮藏时间的延长,馅料的菌落总数显著增加,4℃贮藏条件下 10 d 出现微生物增殖,而 25℃和 37℃在贮藏 20 d 出现了微生物增殖,这可能与馅料水分变化相关,随着枸杞馅料的吸湿现象的发生,外部环境中水分迁移至馅料中,微生物可利用水增加,导致馅料中微生物开始增殖。4℃条件下馅料菌落总数增长速率高于 25℃和 37℃,这可能是由于炒制后的枸杞馅料,其水分基本为

不易流动水,样品水分活度低,不利于微生物的生长;在 4℃贮藏条件下,样品水分含量高于 25℃和 37℃贮藏样品,致使样品水分活度升高,导致微生物的增殖。进一步说明,对于枸杞馅料而言,水分变化较温度更易导致微生物增殖。25℃贮藏样品菌落总数低于 37℃贮藏样品,则是因为 37℃环境较 25℃更适于微生物增殖^[28]。根据 GB 7099-2015《食品安全国家标准 糕点、面包》要求,馅料卫生指标中菌落总数最大限值为 10⁵ CFU/g,以菌落总数为指标,其在 4℃下可放置 50 d,而 25℃和 37℃环境下整个贮藏期内菌落总数均未超出限值。

2.4.2 不同贮藏温度对枸杞馅料霉菌数的影响 由图 5 可知,随着贮藏时间延长,枸杞馅料的霉菌数显著增加,4℃和 25℃条件下贮藏 10 d 出现霉菌增殖现象,37℃条件下贮藏 20 d 出现霉菌增殖现象。不同温度条件下 20~50 d 内,样品霉菌增殖趋势并不显著($P>0.05$),这是由于馅料内部高糖度、高渗透压的胁迫作用限制了馅料中霉菌的增殖速率^[29]。同样的,馅料在 4℃下贮藏较 25℃和 37℃条件下霉菌增殖速率更快。根据 GB 7099-2015 要求,馅料中霉菌数最大限值为 10² CFU/g,以霉菌数为指标,整个贮藏期内不同温度条件下枸杞馅料霉菌数均未超出限值。

2.5 枸杞馅料品质指标相关性分析

由表 3 可知,不同贮藏温度下,枸杞馅料贮藏时间与 L^* 值、 a^* 值、水分含量、菌落总数、霉菌数 Pearson 相关系数均大于 0.891,说明其相关性较好。其中,不同贮藏温度下枸杞馅料贮藏时间与水分含量、菌落总数、霉菌数呈极显著正相关($P<0.01$),与 L^* 值、 a^* 值呈极显著负相关($P<0.01$),

(续表 3)

温度/℃	测定指标	贮藏时间	硬度	L^*	a^*	b^*	水分含量	菌落总数	霉菌数
37	贮藏时间	1	0.948**	-0.939**	-0.972**	0.705	0.995**	0.963**	0.903**
	硬度		1	-0.888**	-0.905**	0.789*	0.941**	0.903**	0.789*
	L^*			1	0.915**	-0.792*	-0.954**	-0.870*	-0.945**
	a^*				1	-0.619	-0.953**	-0.943**	-0.922**
	b^*					1	0.751	0.543	0.703
	水分含量						1	0.940**	0.916**
	菌落总数							1	0.799*
	霉菌数								1

注：“*”表明 2 个指标在 0.05 水平上存在显著相关性(双边);“**”表示 2 个指标在 0.01 水平上存在显著相关性(双边)。

2.6 基于微生物的菌落总数生长模型

2.6.1 微生物生长动力学模型(一级模型) 图 6 为枸杞馅料在 4, 25 ℃和 37 ℃条件下不同贮藏时间段的菌落总数, 利用修正后 Gompertz 方程计算拟合的微生物生长曲线和模型。结果表明, 修正后 Gompertz 方程可较好地描述本试验中的微生物生长曲线, 不同温度条件下得到的微生物生长模型的方程为: $Y_{4℃} = 8.141\exp[-\exp(1.694 - 0.044x)]$, $R^2 = 0.991$; $Y_{25℃} = 3.396\exp[-\exp(1.634 - 0.049x)]$, $R^2 = 0.999$; $Y_{37℃} = 4.25457\exp[-\exp(1.536 - 0.04x)]$, $R^2 = 0.995$ 。表 4 为不同温度下模型参数, 微生物的最大比生长速率(μ_{\max})、最大菌落总数与初始菌落总数之差 (a) 和滞后时间 (λ) 在 25 ℃时数值最小, 随着贮藏温度升高或降低, 其数值增加, 4 ℃条件下增长较 37 ℃更为明显。枸杞馅料最大菌落总数(a)的平均值为 5.25。

2.6.2 温度对菌落总数生长动力学的影响模型

二次多项式方程模型是从 Gompertz 模型的修正方程中发展而来的, 以获得相同的指数 (μ_{\max} 和 λ), 利用二次多项式方程模型拟合温度对菌落总数生长动力学的影响, 不同温度条件下所得温度对菌落总数生长动力学的影响方程为: $\mu_{\max} = 0.15676 - 0.00658T + 0.00010875T^2$; $\lambda = 16.79268 - 0.2892T + 0.00533T^2$ 。

2.6.3 菌落总数生长动力学模型验证和可靠性评价 微生物生长动力学模型对枸杞馅料菌落总数生长的验证结果如表 5 所示。B_r 是观测数据和预测数据之间的相对偏差, 如果计算值超出 0.7~1.5 的范围, 则模型被解释为不合适; A_r 是在二级模型中测量的参数的观察值和预测值之间差异的绝对值, 计算值越接近 1, 模型就越准确;

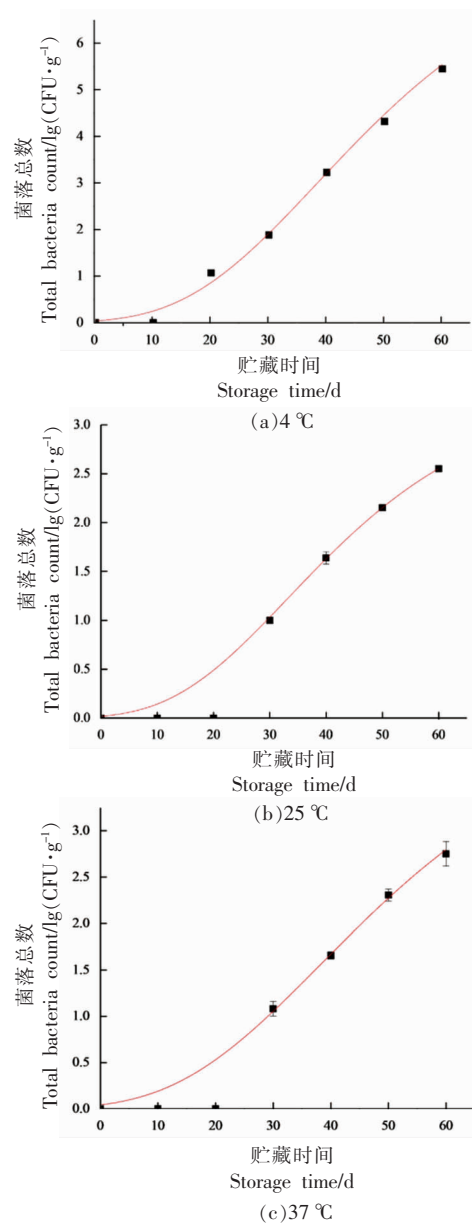


图 6 不同温度枸杞馅料菌落总数生长曲线和动力学模型

Fig.6 Growth curve and kinetic model of total bacterial colony in wolfberry fillings under different temperatures

表 4 枸杞馅料菌落总数生长动力学参数

Table 4 Growth kinetic parameters of the total number of colonies of wolfberry fillings

贮藏温度/℃	$N_0/\text{lg}(\text{CFU} \cdot \text{g}^{-1})$	$a/\text{lg}(\text{CFU} \cdot \text{g}^{-1})$	μ_{\max}/d^{-1}	λ/d	R^2	均方误差
4	0	8.141 ± 1.789	0.132 ± 0.011	15.721 ± 2.066	0.991	0.061
25	0	3.340 ± 0.083	0.060 ± 0.003	12.893 ± 1.546	0.999	0.071
37	0	4.255 ± 0.579	0.063 ± 0.003	13.387 ± 1.276	0.995	0.232

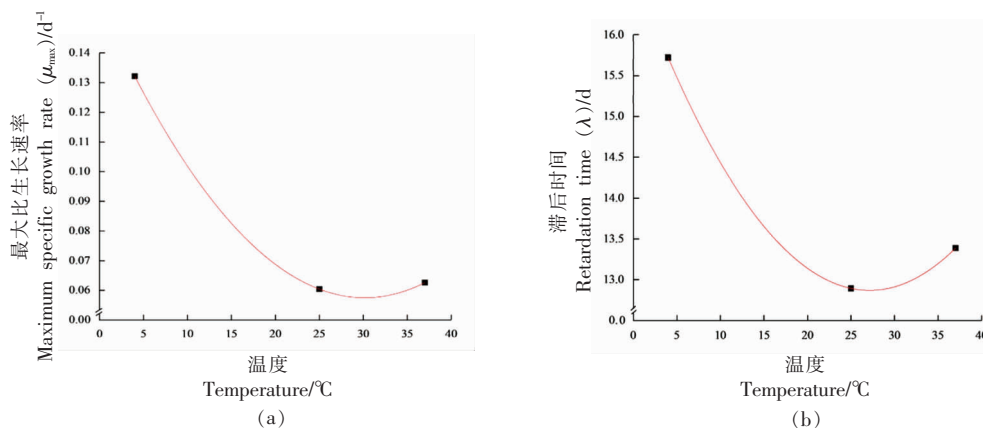


图 7 不同温度枸杞馅料 μ_{\max} 和 λ 的二次模型

Fig.7 The quadratic model of μ_{\max} and λ of wolfberry fillings under different temperatures

RMSE 值是通过将预测微生物模型的预测值与相同温度下试验中的观察值进行比较而获得的,越接近 0,模型就越容易被接受^[30]。本研究动力学模型的 B_r 、 A_r 和 RMSE 分别为 0.995~1.099、1.071~1.189 和 0.03~0.07,误差较小,因此,采用本研究建立的菌落总数动力学生长模型可以快速可靠地预测 4~37 °C 贮藏温度下枸杞馅料的货架期。

2.6.4 货架期预测和验证 以 GB 7099-2015《食品安全国家标准 糕点、面包》中规定菌落总数限量 ($N_s, 10^5 \text{ CFU/g}$) 为货架期终点,通过 Gompertz 模型推导出货架期的计算方程【式(8)】,计算出不同温度条件下动力学参数,代入二次方程模型所得 μ_{\max} 和 λ 值,得出枸杞馅料的货架期预测模型【式(9)】。

$$t = \lambda - \left(\frac{a}{\mu_{\max} \times e} \right) \times \left\{ \ln \left[-\ln \left(\frac{N_t - N_0}{a} \right) \right] - 1 \right\} \quad (8)$$

$$\text{SL} = 16.79268 - 0.2892t + 0.00533t^2 - \left\{ \ln \left[-\ln \left(\frac{N_s - N_0}{a} \right) \right] - 1 \right\} \times \frac{a}{e(0.15676 - 0.00658t + 0.00011t^2)} \quad (9)$$

以 $N_s = 10^5 \text{ CFU/g}$ 为限值,测定不同温度条件下贮藏枸杞馅料的货架期,对比试验所得实际值

表 5 枸杞馅料菌落总数预测值的准确因子、偏差因子和均方根误差

Table 5 Accuracy factor, deviation factor and root mean square error of the predicted value of the total number of colonies of wolfberry fillings

温度/℃	试验次数 (n)	准确因子 (B_r)	偏差因子 (A_r)	RMSE
4	4	1.099	1.189	0.07
25	4	1.071	1.071	0.03
37	4	0.995	1.071	0.03

表 6 枸杞馅料货架期预测值与实际值

Table 6 Predicted and actual values of shelf life of wolfberry fillings

温度/℃	预测值/d	实际值/d	相对误差/%
4	72.251	57	26.76
25	142.443	145	-1.77
37	138.347	132	4.80

注:相对误差(%)=(预测值-实测值)/实测值。

与模型预测值,验证货架期模型的可靠程度,结果如表 6 所示。枸杞馅料预测值与实际值相对误差范围为-1.77%~26.76%,说明验证结果可行,该货

货架期预测模型可用于预测 4~37 ℃条件下贮藏的枸杞馅料货架期。

3 结论

本研究以不同温度条件下贮藏的枸杞馅料为研究对象,分析了枸杞馅料贮藏过程中品质变化情况,发现枸杞馅料水分分布状态以半结合水为主,结合水较半结合水含量低。由于麦芽糖醇的高吸湿性及真空包装袋的不完全密闭性,随着贮藏时间的延长,枸杞馅料品质出现劣变现象,其水分含量、硬度值、菌落总数、霉菌数、硬度值逐渐增大, L^* 、 a^* 值降低,馅料水分分布状态改变,自由水含量增加,微生物增值是导致枸杞馅料品质劣变的主要因素。根据不同温度下菌落总数生长曲线,采用 Gompertz 方程建立了菌落总数生长拟合模型,预测枸杞馅料菌落总数在 4,25 ℃和 37 ℃下生长状态,并利用二次多项式方程,建立菌落总数生长速率和延滞时间随温度变化的动力学模型。试验条件下,模型预测枸杞馅料在 4,25 ℃和 37 ℃条件下的货架期分别为 72,142 d 和 138 d,相对误差范围为-1.77%~26.76%。该模型可以有效地预测 4~37 ℃下枸杞馅料的货架期,研究结果可为枸杞馅料的贮藏提供理论与技术支撑。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 食品馅料: GB/T 21270-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 6.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. Food stuffing: GB/T 21270-2007[S]. Beijing: China Standard Press, 2008: 6.
- [2] LI M, MA M, ZHU K X, et al. Critical conditions accelerating the deterioration of fresh noodles: A study on temperature, pH, water content, and water activity[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(4): e13173.
- [3] SORO A B, NOORE S, HANNON S, et al. Current sustainable solutions for extending the shelf life of meat and marine products in the packaging process[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2021, 29: 100722.
- [4] FRANKE K, MIDDENDORF D, VOLKER H, et al. Alcohol in praline fillings influences the water migration within the surrounding chocolate shell[J]. Journal of Food Engineering, 2021, 315: 110805.
- [5] CROPOTOVA J, TYLEWICZ U, COCCI E, et al. A novel fluorescence microscopy approach to estimate quality loss of stored fruit fillings as a result of browning[J]. Food Chemistry, 2016, 194: 175-183.
- [6] RITA K, RIA Y, RAID A, et al. The shelf-life prediction of sweet orange based on its total soluble solid by using arrhenius and Q 10 approach[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 506: 012058.
- [7] ZHANG W, LUO Z W, WANG A C, et al. Kinetic models applied to quality change and shelf life prediction of kiwifruits[J]. LWT, 2021, 138: 110610.
- [8] 唐晓凤. 柿子全果月饼馅料的研制及贮藏特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
TANG X F. Development and storage characteristics of persimmon whole fruit mooncake fillings [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016.
- [9] KEMRMASHA S. Food colour and appearance [J]. Food Research International, 1996, 29(7): 692.
- [10] ZHAO S S, HAN X Y, IU B, et al. Shelf-life prediction model of fresh-cut potato at different storage temperatures[J]. Journal of Food Engineering, 2022, 317: 110867.
- [11] YU H H, SONG Y J, KIM Y J, et al. Predictive model of growth kinetics for *Staphylococcus aureus* in raw beef under various packaging systems [J]. Meat Science, 2020, 165: 108108.
- [12] GUO X N, WU S H, ZHU K X. Effect of superheated steam treatment on quality characteristics of whole wheat flour and storage stability of semi-dried whole wheat noodle[J]. Food Chemistry, 2020, 322: 126738.
- [13] FIKREYESUS F S, EYUEL W, TEFERA B, et al. Effects of storage temperature and packaging material on physico-chemical, microbial and sensory properties and shelf life of extruded composite baby food flour[J]. Heliyon, 2021, 7(4): e06821.
- [14] NISTICO R. Polyethylene terephthalate (PET) in the packaging industry[J]. Polymer Testing, 2020, 90: 106707.

- [15] WILLIAMS S B, MURDOCK L L, BARIBUTSA D. Sorghum seed storage in purdue improved crop storage (PICS) bags and improvised containers[J]. Journal of Stored Products Research, 2017, 72: 138–142.
- [16] WUCHER H, KLINGSSHIRN A, BRUGGER L, et al. Evaluation of humidity retention in refrigerator storage systems by application of a food simulant[J]. International Journal of Refrigeration, 2021, 130: 161–169.
- [17] KHAN M, WELLARD M R, NAGY S A, et al. Investigation of bound and free water in plant-based food material using NMR T 2 relaxometry[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2016, 38: 252–261.
- [18] ZHANG Y F, CHEN C, CHEN Y, et al. Effect of rice protein on the water mobility, water migration and microstructure of rice starch during retrogradation[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 91: 136–142.
- [19] LIU J G, LIU Y Q, WANG A Q, et al. Characteristics of moisture migration and volatile compounds of rice stored under various storage conditions[J]. Journal of Cereal Science, 2021, 102: 103323.
- [20] 魏力. 常温冰皮月饼加工贮藏过程中的品质安全及其控制研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
WEI L. Research on quality safety and control of snowskin mooncakes during processing and storage at room temperature[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019.
- [21] TERIBIA N, BUVE C, BONERZ D, et al. The effect of thermal processing and storage on the color stability of strawberry puree originating from different cultivars[J]. LWT, 2021, 145: 111270.
- [22] YANG S, ZHANG M N, SHAN C S, et al. Evaluation of cooking performance, structural properties, storage stability and shelf life prediction of high-moisture wet starch noodles [J]. Food Chemistry, 2021, 357: 129744.
- [23] JIA C L, KIM Y S, HUANG W N, et al. Sensory and instrumental assessment of Chinese moon cake: Influences of almond flour, maltitol syrup, fat, and gums[J]. Food Research International, 2007, 41(9): 930–936.
- [24] DING S Y, PENG B, LI Y Q, 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.
- [25] ALAM S, PATHANIA S, KUMAR S, et al. Studies on storage stability of carrot pomace–chickpea incorporated rice based snacks[J]. Agricultural Research Journal, 2015, 52(4): 73–79.
- [26] BAZARDEH M E, ESMAILI M. Sorption isotherm and state diagram in evaluating storage stability for sultana raisins [J]. Journal of Stored Products Research, 2014, 59: 140–145.
- [27] TRUONG T, DAHAL D, URRUTIA P, et al. Crystallisation and glass transition behaviour of Chilean raisins in relation to their sugar compositions [J]. Food Chemistry, 2020, 311: 125929.
- [28] CHEN L Y, FENG K H, SAINT L C, et al. Histamine production by *Enterobacter aerogenes* in tuna dumpling stuffing at various storage temperatures[J]. Food Chemistry, 2011, 131(2): 405–412.
- [29] ELISA C P, ANDREA N, CESARE L, et al. Interactions of tagatose with the sugar metabolism are responsible for *Phytophthora infestans* growth inhibition[J]. Microbiological Research, 2021, 247: 126724.
- [30] CHIO W S, NARI S, CHO J, et al. Predictive model of *Staphylococcus aureus* growth on egg products[J]. Food Science and Biotechnology, 2019, 28(3): 913–922.

The Quality Change of Wolfberry Fillings at Different Storage Temperatures and Construction of Prediction Model

Wang Chenxiang^{1,2}, Peng Jian^{1*}, Xu Yujuan¹, Wen Jing¹, Li Lu¹, Yu Yuanshan¹, Wu Jijun¹, Lin Xian¹

(¹*Sericultural & Agri-food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610*

(²*School of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070*)

Abstract In this work, the wolfberry filling was produced as the research object, and the changes of moisture, color, texture, microorganisms and other quality indicators of wolfberry fillings during storage were detected and a shelf-life prediction model was established. The results showed that the hardness, moisture content, total colonies number, and mold number of the wolfberry fillings were increased gradually while the L^* value and a^* value were decreased gradually with the prolonged storage time no matter under 4, 25 or 37 °C conditions. In general, the slowest rate of deterioration of the wolfberry fillings was observed under storage 25 °C. On the basis of correlation analysis, the total number of colonies was chosen as the quality indicator that reflecting the shelf life of wolfberry fillings, the growth kinetic model of the total colonies number under different temperature conditions and the kinetic model that changes with the storage temperature were established. The accuracy factors, deviations, and root mean square error of the kinetic model were 0.995–1.099, 1.071–1.189 and 0.03–0.07, respectively. Finally, the microbial prediction model was established and verified. The relative error between the predicted value and the actual value was from –1.77% to 26.76%, which indicated that the model could predict the shelf life of wolfberry fillings effectively. The technical support could be provided for the wolfberry fillings storage according to this research.

Keywords wolfberry fillings; moisture; storage quality; temperature; shelf life