

火龙果果浆不同贮藏温度下 大肠菌群生长动力学模型及货架期预测

杜晓静¹, 白新鹏^{1,*}, 姜泽放¹, 马若影¹, 邓志勇², 高晓东², 李雪¹

(1.海南大学食品学院,生物活性物质与功能食品开发重点实验室,海南海口 570228;

2.海南北纬十八度果业有限公司,海南东方 572600)

摘要:为了探索适宜的贮藏温度,以红心火龙果果浆为原料,经高温瞬时灭菌后分别存放于4、10、25℃条件下进行贮藏实验,以总糖、可滴定酸、花青素含量、菌落总数、大肠菌群为主要指标,综合分析理化生化指标,并应用 Gompertz 模型建立大肠菌群生长模型以及货架期预测模型并确定腐败限控量。结果表明:不同温度条件下贮藏的火龙果果浆总糖、花青素含量逐渐下降,可滴定酸含量先下降后上升,大肠菌群和菌落总数逐渐增加,4℃贮藏温度下明显减小了这些品质的损失;建立的大肠杆菌生长动力学模型,其 R^2 值都在 0.96 以上,残差值均在零左右浮动;确定出腐败限控量为 4.28 lg(CFU/mL)。结论:4℃为火龙果果浆贮藏的适宜温度,Gompertz 模型能准确的描述火龙果果浆中大肠杆菌的生长情况,由此建立了火龙果果浆贮藏过程中货架期预测模型。

关键词:火龙果果浆,贮藏温度,大肠菌群,数学模型

Growth kinetics model of coliform under different storage temperatures of pitaya pulp and shelf-life prediction

DU Xiao-jing¹, BAI Xin-peng^{1,*}, JIANG Ze-fang¹, MA Ruo-ying¹, DENG Zhi-yong², GAO Xiao-dong², LI Xue¹

(1.Key Laboratory of Biological Active Substances and Functional Food Development, College of

Food Science and Technology, Hainan University, Haikou 570228, China;

2.18 Degrees North Latitude Fruit Industry, Dongfang 572600, China)

Abstract: In order to explore the suitable storage temperature, take red pitaya pulp as the material and storage experiment was carried out at 4, 10 and 25℃ after instantaneous sterilization. The growth kinetics model and the shelf life prediction model were established. Total sugar, titratable acid, anthocyanin content, total bacteria and coliform bacteria of pitaya pulp during the storage at different temperature were studied and analysis of physical and chemical indicators, Gompertz model were used to establish the prediction model for shelf-life of pitaya pulp. The results showed that the contents of total sugar and anthocyanin were decreased after the temperature was higher than that of the control. The content of titratable acid decreased first and then increased, and the total number of coliforms and total bacteria increased gradually, compared with different temperature, storage temperature at 4℃ could reduce the physical and chemical quality. The establishment of coliform bacteria model, the R^2 value of more than 0.96 and they all fluctuate around zero. The average number of specific spoilage microorganisms was 4.28 lg(CFU/mL) at the end of shelf-life. Conclusion: The suitable storage temperature for the pitaya pulp was 4℃. The model for describing the growth of coliform bacteria is credible. Therefore, the prediction model for the shelf-life were validated.

Key words: pitaya pulp; coliform; storage temperature; mathematical model

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)03-0270-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2018.03.051

火龙果(Pitaya)又名青龙果、红龙果,是仙人掌科(Cactaceae)量天尺属(*Hylocereus*)和蛇鞭柱属(*Selenicereus*)植物,原产于中美洲热带地区,后传入东南亚等国家和我国的台湾省;现分布在我国海南省及广西、广东等大陆南部地区^[1]。火龙果中含有丰富的维生素、可溶性膳食纤维等其他营养物质,但采

后的火龙果呼吸作用强烈,贮藏时间短,易腐烂变质。因此,火龙果的保鲜研究具有实用价值。其中,红心火龙果是火龙果里的稀少品种,其甜度高于普通火龙果,果肉柔嫩,色泽鲜艳,滋味清香^[2]。经初步实验火龙果果浆不经任何处理,压榨后在室温下仅能贮藏3 d左右;李润唐^[3]等研究了新采摘的果实只

收稿日期:2017-07-20

作者简介:杜晓静(1991-),女,硕士研究生,研究方向:农产品加工及贮藏技术,E-mail:xiaojinglx@163.com。

*通讯作者:白新鹏(1963-),男,博士,教授,研究方向:粮食、油脂和植物蛋白质工程,E-mail:xinpeng2001@126.com。

基金项目:海南省自然科学基金(20153159);海南省自然科学基金(314075);校企合作项目:火龙果综合加工研究。

能储藏 7~11 d;王彬^[4]等研究了在低温下适宜贮藏火龙果果实;目前低温贮藏在苹果^[5]、猕猴桃^[6]、龙眼^[7]、梨^[8]等果品上已取得理想的效果;罗婵^[9]等研究了肠炎沙门氏菌在鲜切果蔬中的动态生长变化;鲍星^[10]研究了鲜切果蔬致病菌数量变化;姜颖^[11]等建立烤肠中芽孢杆菌的生长动力学模型, Valeroa^[12]等研究了蜡样芽孢杆菌在胡萝卜肉汤中的生长动力学变化并建立了动力学模型,李博^[13]等建立了原料乳中金黄色葡萄球菌的生长预测模型;而目前关于火龙果果浆在不同温度下大肠菌群的生长预测模型研究甚少。以此为鉴,寻找更多果浆、果蔬汁的最佳储藏温度以及根据微生物的生长情况确定出果浆的货架期是目前研究的热点与趋势所在。

为研究杀菌后火龙果果浆中大肠菌群在不同温度下的生长规律,探索火龙果果浆适宜的贮藏温度,本文以红心火龙果果浆为原料,结合大量的研究结果以及果蔬汁常用的冷藏温度最终将贮藏温度确定为 4、10、25 ℃,应用 Gompertz 模型建立大肠菌群生长的动力学模型以及货架期预测模型并确定腐败限量;为保证火龙果果浆的质量提供了理论依据,也为避免该菌引起中毒提供了控制措施。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

火龙果 海南省东方市北纬十八度果业有限公司提供;酵母浸膏 上海盛思生化科技有限公司;胰蛋白胨 广东环凯微生物科技有限公司;乳糖、硫酸 广东化学试剂厂;磷酸氢二钾、磷酸二氢钾 均为分析纯,西陇科学股份有限公司;十二烷基硫酸钠 国药集团试剂有限公司。

G154DW 压力蒸汽灭菌锅 致微(厦门)仪器有限公司;723PC 可见分光光度计 上海奥谱勒仪器有限公司;电热恒温水浴锅 金坛市科兴仪器厂;EL204 电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;SW-CJ-1F 超净工作台 苏净集团苏州安泰空气技术有限公司;SHZ-D 循环式水式真空泵 巩义市予华仪器有限公司;SPX-288 生化培养箱、水浴恒温振荡器 上海龙跃仪器设备有限公司;GL-20G-II 冷冻高速离心机 上海安亭科学仪器厂;PHS-3D 型酸度计 上海精密科学仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 火龙果果浆的制备 火龙果新果→去皮、取果肉(含籽)→打浆后过 60 目筛去籽→高温瞬时灭菌(121 ℃, 15 s)→热灌装→贮藏备用→分析测定。

灌装后分别贮藏在 4、10、25 ℃ 温度,每 15 d 分析一次。

1.2.2 微生物的测定 依据 GB4789.2-2010^[14],菌落

总数用平板菌落计数法,将样品进行系列梯度稀释,用平板计数琼脂培养基在 37 ℃ 下培养 48 h。大肠菌群计数用结晶紫中性红胆盐琼脂平板,接种后置于 37 ℃ 培养箱中培养 48 h 后计数。

1.2.3 火龙果果浆理化指标的测定

1.2.3.1 总糖含量的测定 采用苯酚-硫酸法^[15]。将 1 mL 果浆稀释后加 4% 苯酚和 3.5 mL 浓硫酸,反应后冷却 5 min,在 489 nm 下测定吸光度。

1.2.3.2 可滴定酸含量的测定 采用酸碱滴定法^[16]。称取 40 mL 样品置于 250 mL 锥形瓶中,加活性炭进行脱色,加 50 mL 水以及 0.2 mL 1% 酚酞试剂,用 0.1 mol/L NaOH 标准滴定液滴定至 30 s 不褪色,记录消耗的 NaOH 溶液的体积。

1.2.3.3 花青素含量测定 采用分光光度法^[17]。将 2 g 果浆放入烧杯中,加 20 mL 0.1 mol/L 盐酸-乙醇,均匀搅拌 10 min,在 50 ℃ 水浴中加 20 mL 提取剂提取 25 min,将其转移到 50 mL 容量瓶中,再加 5 mL 提取剂提取 10 min,最后定容至 50 mL。以盐酸-乙醇溶液做参比,在 530、620、650 nm 测其吸光值。

1.2.4 感官评定 由有丰富经验的 5 人评定小组对样品进行评价,将样品按 3 位数随机编号;感官评价采用 5 分制,通过火龙果果浆进行嗅闻,以火龙果果浆的颜色、滋味、组织状态及总体可接受性进行评价,各项得分越高,表示样品品质越高,0~2 分表示不可接受,3 分表示可接受,4~5 分表示很好。每次嗅闻样品间隔 3 min,收集的数据进行 LSD 法多因素方差分析其显著性差异。

1.2.5 动力学模型的建立

1.2.5.1 大肠菌群生长动力学模型的建立 大肠菌群生长动力学一级模型的建立主要是微生物数量与时间之间的相互关系,在各种初级模型中比较得出 Gompertz 模型为最简便且使用最广泛的初级模型^[18-19]。其 Gompertz 模型的一般形式为:

$$\text{Log } N_{(t)} = \log N_0 + \log \frac{N_{\max}}{N_0} \times \exp \left\{ -\exp \left[\frac{2.718 \times \mu_{\max}}{\log(N_{\max}/N_0)} \times (Lag - t) + 1 \right] \right\} \quad \text{式(1)}$$

式(1)中: $N_{(t)}$ - t 时微生物的数量, lg (CFU/g、CFU/mL); N_0 - 初始微生物的数量, lg (CFU/g、CFU/mL); Lag - 微生物生长延滞时间, d; μ_{\max} - 微生物生长的最大比生长速率; N_{\max} - 最大微生物数量, lg (CFU/g、CFU/mL); t - 微生物生长时间, d。

1.2.5.2 平方根模型的建立 平方根模型(二级模型)是表达温度与初级模型参数之间的关系;其平方根(Belehradck)方程如下^[20]:

表 1 不同贮藏温度条件下火龙果果浆感官评分表(分)

Table1 Sensory evaluation score of pitaya under different storage temperature(score)

检测指标	0~2	3	4~5
色泽	颜色褪色为砖红色	颜色变浅,浑浊	颜色紫红色,色泽鲜亮
气味及滋味	有明显的酸败味	有酸败味	果浆应有的滋味,香甜可口
组织状态	有絮凝物产生,浑浊	粘度下降	均匀,无水析现象

$$\sqrt{\mu_{\max}} = b_{\mu} \times (T - T_{\min\mu}) \quad \text{式(2)}$$

$$\sqrt{1/\lambda} = b_{\lambda} \times (T - T_{\min\lambda}) \quad \text{式(3)}$$

式中: T -培养温度, $^{\circ}\text{C}$; T_{\min} -表示理论上微生物的最低生长温度, $^{\circ}\text{C}$; b -待定系数。

1.2.5.3 货架期预测模型的建立 分别将在4、10、25 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏的火龙果果浆得到的实验数据,用 Gompertz 方程描述不同贮藏温度下的生长动态,根据建立的特定腐败微生物的初始菌数(N_0)到腐败限控量(N_s)所需要的增殖时间来预测,从而确定在不同贮藏温度下的货架期(Shelf life, SL)^[21-22]。

$$SL = \lambda - [(N_{\max} - N_0) / 2.718\mu_{\max}] \cdot \{ \ln[-\ln(N_s - N_0) / (N_{\max} - N_0)] - 1 \} \quad \text{式(4)}$$

式中: SL -货架期, d; N_s -腐败时的限控量, lg(CFU/g、CFU/mL)。

1.3 数据处理

采用 Origin 软件进行数据统计,所有数据为3次重复的平均值和标准差。并应用 DPS 软件对数据进行差异性分析。

2 结果与分析

2.1 不同贮藏温度下菌落总数的变化

不同贮藏温度下火龙果果浆菌落总数随贮藏时间的变化如图1所示,由不同贮藏温度下菌落总数的变化趋势可知,随着时间的延长菌落总数逐渐增加,由于前期杀菌不彻底导致没有达到极致无菌以及贮藏环境的不同,在4 $^{\circ}\text{C}$ 低温贮藏条件下菌落总数的增长速度相比之下较缓,其结果同王彬研究的在低温下更适宜火龙果果实的贮藏结果一致,在贮藏15 d时,果浆的菌落总数含量都在 10^3 CFU/mL范围内,符合 GB2719.1-2003 标准中冷冻果实饮品的菌落总数应 ≤ 3000 CFU/g(mL)的要求^[23]。在4、10、25 $^{\circ}\text{C}$ 条件下贮藏75 d内,菌落总数分别由最初上升了0.69、1.50、2.25个数量级,不同贮藏温度对火龙果果浆在贮藏期间腐败指数影响不同,温度越高,果浆腐败速率越快,在25 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏60 d时,菌落总数增加为 1.9×10^4 CFU/mL,果浆开始出现变色、异味现象,严重影响其商品价值。

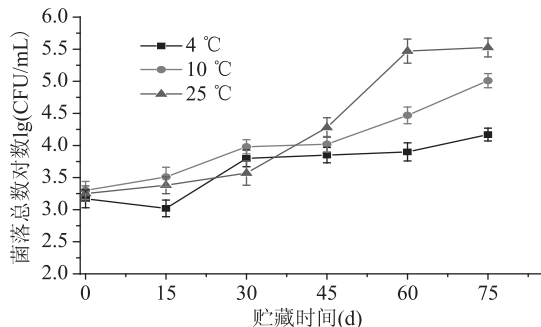


图1 不同贮藏温度下菌落总数的变化

Fig.1 Effect of different temperature storage on total bacteria count of pitaya pulp

2.2 不同贮藏温度下大肠菌群数量的变化

不同贮藏温度条件下火龙果果浆大肠菌群总数的变化趋势如图2。随着时间的延长,大肠菌群数呈上升趋势,且温度越高,上升速度越快,4 $^{\circ}\text{C}$ 下

贮藏的火龙果果浆上升趋势缓慢,经灭菌后立即测定的大肠菌群数量为4.16 CFU/mL,符合糖尿病人 < 10 CFU/g(mL)的食用要求^[24]。在贮藏第30 d时大肠菌群的数量上升了1.25个数量级,此时的大肠菌群数量为 0.74×10^2 CFU/mL,可保持卫生及食用安全。25 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏条件下第75 d时大肠菌群数量上升了4.90个数量级,通过感官评价实验可知该时期的果浆品质颜色转变为砖红色,出现酸败异味和浑浊现象,并有絮凝物产生,使产品失去感官品质,同时危害人类健康。

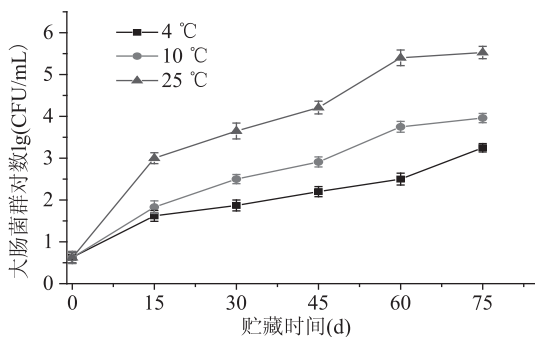


图2 不同贮藏温度下大肠菌群数的变化

Fig.2 Effect of different temperature storage on coliform of pitaya pulp

2.3 不同贮藏温度下总糖含量的变化

如图3所示,在不同温度贮藏过程中,火龙果果浆总糖含量逐渐下降,这与阮卫红^[23]等研究的桃汁在贮藏过程中糖含量的变化趋势一致,在4、10、25 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏45 d内,总糖含量下降趋势缓慢,在第45 d时,总糖含量分别下降了18.8%、29.7%、34.6%;由此可见低温可起到延缓总糖含量下降的作用,在贮藏前期总糖含量基本不变,可能是因为褐变主要由 V_c 氧化降解产生,同时果浆中酶的作用发生了酶促褐变,在贮藏后期总糖含量迅速下降,微生物生长消耗糖分使得总糖含量下降^[25-26]。

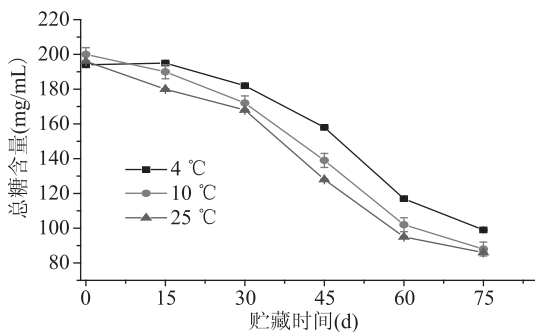


图3 不同贮藏温度下总糖含量的变化

Fig.3 Effect of different temperature storage on total sugar of pitaya pulp

2.4 不同贮藏温度下可滴定酸含量的变化

如图可4所示,在不同贮藏温度下的火龙果果浆可滴定酸含量呈先下降后上升的趋势,在贮藏前期,温度越高,可滴定酸含量下降的越快,在4、10、25 $^{\circ}\text{C}$ 下贮藏的果浆在30 d内由最初的2.17、2.24、2.21 mg/g分别下降到1.93、1.78、1.75 mg/g;在30 d

后,可滴定酸含量呈现迅速上升,这同 A.PBuedo^[27] 等研究的浓缩桃汁中可滴定酸含量在贮藏期间增加的趋势相同,可滴定酸含量之所以在贮藏前期下降,可能是因为在贮藏前期,有机酸为呼吸代谢的底物不断被消耗,随着时间延长在后期发酵,由于发酵果浆中的真实酸度增加,使得果浆中的可滴定酸度增加,导致果实糖酸比的严重失衡,降低了果浆的原有风味。

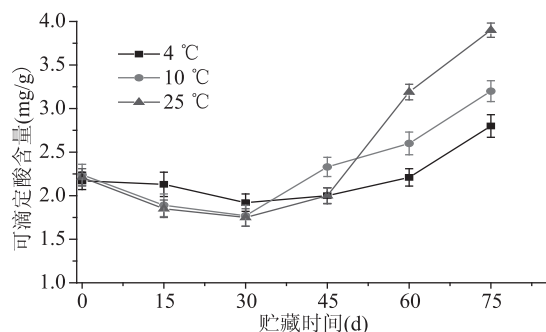


图4 不同贮藏温度下可滴定酸含量的变化
Fig.4 Effect of different temperature storage on titratable acid content of pitaya pulp

2.5 不同贮藏温度下花青素含量的变化

研究发现,红心火龙果的颜色主要取决于色素含量,冯晨静^[28]等研究认为,低温冷藏可抑制果实花色苷的合成,从而抑制果实的成熟与衰老。由图5可知,在不同温度对照条件下该结果与其花色苷含量呈下降趋势的研究结论一致。Bolivar^[29]等报道了果蔬中花青素在采摘后贮藏过程中,花青素随贮藏时间的延长,降解程度增大。M.Cecila^[30]等研究表明,Oso Grande 草莓在低温下贮藏一段时间后,花青素含量下降。本实验在4、10、25 °C下贮藏45 d花青素含量由最初的114.4、118.6、107.0 mg/g 分别下降为37.6、65.6、68.8 mg/g;其结果与上述结果一致,温度越高花青素含量下降越快。

2.6 不同贮藏温度下果浆的感官评价

不同贮藏温度下果浆按色泽、气味和滋味、组织状态结合对其总体可接受程度进行的感官评定。随着贮藏时间的延长,果浆由透亮的紫红色转为浑浊的砖红色,并产生絮凝物和酸败味。

2.7 火龙果果浆在25 °C下贮藏温度下可滴定酸、总糖含量、大肠菌群对数的变化规律

由图6知,火龙果果浆中微生物的生长规律比较典型,呈“S”型曲线,故选用 Gompertz 模型对其进行描述,如图所示,大肠菌群的生长与果浆中总糖和

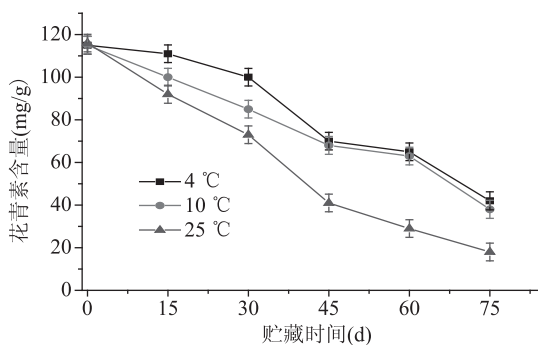


图5 不同贮藏温度下花青素含量的变化
Fig.5 Effect of different temperature storage on anthocyanin content of pitaya pulp

可滴定酸含量的变化有直接关系,微生物生长过程中主要利用糖分产酸;15 d后大肠菌群数量逐步进入对数生长期,60 d后趋于稳定期,大肠菌群总数最高值为5.527 lg(CFU/mL)。总糖含量在贮藏前期下降缓慢,贮藏后期消耗较快,可滴定酸含量在贮藏前期由于有机酸的保护作用呈下降趋势,贮藏后期由于大肠菌群生长产酸使得可滴定酸含量酸度升高。

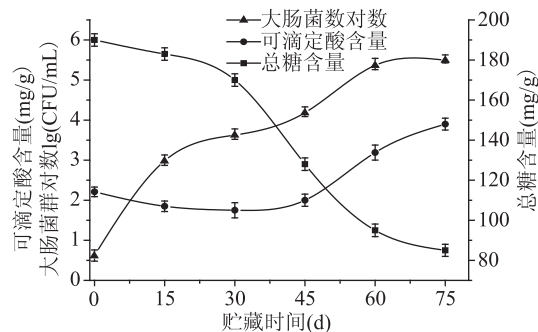


图6 火龙果果浆贮藏过程中可滴定酸、总糖含量、大肠菌群对数量的变化规律
Fig.6 Titratable acid, total sugar content, the number of coliform bacteria change law of Pitaya pulp during storage

2.8 不同贮藏温度下火龙果果浆中大肠菌群的生长动力学

2.8.1 由 Gompertz 模型回归得到的果浆中大肠菌群在4、10、25 °C 条件下生长动力学一级模型:

$$4\text{ }^{\circ}\text{C}: 2.96 + 1.66 \exp\{-\exp[1.30 - 0.04t]\} \quad \text{式(5)}$$

$$10\text{ }^{\circ}\text{C}: 2.40 + 2.25 \exp\{-\exp[1.26 - 0.05t]\} \quad \text{式(6)}$$

$$25\text{ }^{\circ}\text{C}: 2.46 + 3.05 \exp\{-\exp[1.12 - 0.08t]\} \quad \text{式(7)}$$

由表3可知,4、10、25 °C下 R^2 值均在0.960以上,说明 Gompertz 模型可以很好的描述果浆中大肠菌群的生长状况。

表2 不同贮藏温度下火龙果果浆的感官评定结果

Table 2 Sensory evaluation results of pitaya pulp under different storage temperature

贮藏温度(°C)	贮藏时间(d)					
	0	15	30	45	60	75
4	4.96 ± 0.0 ^a	4.62 ± 0.5 ^a	4.09 ± 0.0 ^a	3.27 ± 0.0 ^a	2.72 ± 0.0 ^a	2.46 ± 0.4 ^a
10	4.96 ± 0.4 ^a	4.46 ± 0.4 ^a	3.89 ± 0.5 ^a	3.02 ± 0.3 ^a	2.57 ± 0.2 ^a	2.27 ± 0.2 ^a
25	4.96 ± 0.5 ^a	4.21 ± 0.3 ^a	3.52 ± 0.4 ^a	2.86 ± 0.4 ^a	2.12 ± 0.3 ^a	1.99 ± 0.5 ^a

注:同一贮藏时间在不同温度下的同列数据比较,字母相同表述差异不显著, $p > 0.05$ 。

表4 不同温度下 $\lambda^{-1/2}$ 、 $(\mu_{\max})^{1/2}$ 实测值、预测值及残差值Table 4 Measured values, predicted values and residual values of specific growth rates of $\lambda^{-1/2}$ and $(\mu_{\max})^{1/2}$ at different temperatures

温度 (°C)	$\lambda^{-1/2}$			$(\mu_{\max})^{1/2}$		
	实测值	预测值	残差值	实测值	预测值	残差值
4	0.38243	0.3790	0.0034	0.166	0.165	0.001
10	0.46649	0.4999	-0.033	0.217	0.207	0.010
25	0.81567	0.81200	0.0036	0.301	0.310	-0.009

2.8.2 平方根 (Belehradck) 模型 (二级模型) 一级模型虽可以很好的描述不同温度下大肠菌群的生长状况,但不能反映与周围环境因素之间的关系,二级模型描述的是大肠菌群的生长和温度之间的关系。将一级模型求得的 λ, μ_{\max} 拟合到平方根模型中;在 4~25 °C 范围内,温度与最大比生长速率 μ_{\max} 之间的相关方程为 $\sqrt{\mu_{\max}} = 0.0063T + 0.1464$, 决定系数为 0.980, 说明平方根模型能较好的模拟温度与大肠菌群生长的情况。同理,温度与延滞时间 λ 之间的相关方程为 $\sqrt{1/\lambda} = 0.0211T + 0.28$, 决定系数 R^2 为 0.990, 说明平方根方程模型能够较为准确的反应不同温度与果浆中大肠菌群生长的延滞时间之间的关系。

表3 不同温度下火龙果果浆大肠菌群生长动力学参数

Table 3 Growth kinetic parameters of coliform in pitaya pulp stored at different temperature

温度 (°C)	λ/d	μ_{\max}/d	N_{\max} /lg(CFU/g)	R^2
4	6.837	0.275	4.620	0.962
10	4.595	0.047	4.650	0.982
25	1.503	0.090	5.510	0.986

由表4建立的验证模型参数可知,在不同温度下贮藏的火龙果果浆其残差值均在零左右浮动,说明该模型模拟的温度与最大比生长速率和延滞时间是可信的。

2.9 货架期预测模型及腐败限控量的确定

对 25 °C 下火龙果果浆进行的菌落总数的测定,得出与大肠菌群之间的线性关系。如图7所示:

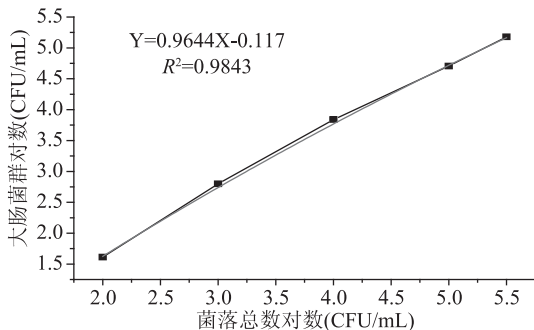


图7 菌落总数与大肠菌群的相关系数

Fig.7 Relationship between total plate count and coliform

由图7可知,由菌落总数与大肠菌群的决定系数 R^2 值可知, R^2 为 0.9843, 拟合度较高, 相关线性方程为 $Y = 0.9644X - 0.117$, 细菌数量在贮藏第 45 d 时, 菌落总数为 4.28 lg(CFU/mL), 其他指标也发生了改变, 营养理化指标损失严重, 在贮藏第 45 d 时开始出

现腐败现象,但此时的菌落总数已经超过人体可免疫的标准要求,并结合感官指标上观察出已经出现变色并有腐败异味产生,而在贮藏时间为 30 d 时,果浆色泽和滋味在可接受范围内,因此从初始微生物数量增殖到腐败限控量所需时间来预测货架期,在该实验中果浆的腐败限控量为 4.28 lg(CFU/mL)。

根据火龙果果浆中在不同温度下大肠菌群的生长情况建立出生长动力学模型,以此为依据建立出在 4~25 °C 条件下火龙果果浆的货架期预测模型,由已知在该实验中果浆的腐败限控量为 4.28 lg(CFU/mL), 最大菌落数以不同温度条件下最大菌数的平均值 5.527 lg(CFU/mL), 计算出 4~25 °C 条件下火龙果果浆的货架期方程。

$$SL = \lambda \cdot \{ \ln[-\ln(4.28 - N_0) / (5.527 - N_0)] - 1 \}$$

式(8)

3 结论

本研究主要考察火龙果果浆贮藏过程中的大肠菌群生长情况及特征物质的变化规律。结果表明在不同温度条件下贮藏火龙果果浆,随着时间的延长,总糖、可滴定酸含量、花青素含量以及微生物数量之间存在相互作用;总糖、花青素含量随着贮藏时间的延长逐渐下降,可滴定酸含量先下降后上升,菌落总数和大肠菌群数量逐渐增加。

4 °C 是火龙果果浆的最适宜的贮藏温度,应用的 Gompertz 模型建立的腐败微生物的预测模型,其决定系数均在 0.960 以上,平方根模型中的残差值均在零上下浮动,说明利用 Gompertz 模型模拟的火龙果果浆中大肠菌群的生长情况是比较准确和可靠的,在贮藏过程中,由生长动力学模型和货架期预测模型结合感官指标判断得出在可接受程度范围内确定出火龙果果浆的腐败限控量为 4.28 lg(CFU/mL)。可根据大肠菌群的生长情况判断出在不同温度下火龙果果浆的剩余货架期,以此实时监控火龙果果浆的腐败程度,提供可靠的科学依据。

参考文献

- [1] 童金华.贮藏温度对火龙果贮藏品质影响研究[A].中国制冷学会冷藏冻结专业委员会、国内贸易工程设计研究院、福建省制冷学会.第五届全国冷冻冷藏产业(科技、管理、营销)创新发展年会论文集[C].中国制冷学会冷藏冻结专业委员会、国内贸易工程设计研究院、福建省制冷学会,2013:4.
- [2] 冷向军,王康宁,杨风,等.酸化剂对仔猪生长和体内酸碱平衡的影响[J].动物营养学报,2003,15(2):49-53.
- [3] 李润唐,张映南,李映志,等.火龙果引种栽培[J].中国南方果树,2007(3):35-36.
- [4] 王彬,郑伟,李胜海,等.不同贮藏温度对火龙果采后生理

- 和品质的影响[J].西南农业学报,2012,25(2):429-432.
- [5]高华,鲁玉妙,王雷存,等.不同贮藏温度对秦阳苹果采后生理的影响[J].华北农业学报,2010,(S1):154-156.
- [6]钱政江,刘亭,王慧,等.采收期和贮藏温度对金艳猕猴桃品质的影响[J].热带亚热带植物学报,2011(2):127-134.
- [7]吴艳秋.龙眼在不同贮藏温度下生理生化变化的研究[J].中国果菜,2011(3):51-53.
- [8]史淑菊.不同贮藏温度对锦丰梨品质的影响[J].辽宁农业职业技术学院学报,2011(2):10-11.
- [9]罗婵,陈安均,崔慧玲,等.肠炎沙门氏菌在鲜切果蔬中的动态生长变化[J].食品与发酵工业,2013,39(7):24-29.
- [10]鲍星.蛭弧菌控制鲜切果蔬致病菌数量的研究[D].广州:华南理工大学,2012.
- [11]姜颖,徐世明,孙承锋,等.烤肠中芽孢杆菌生长动力学模型及货架期预测[J].食品与机械,2012(2):161-164.
- [12]Valero M, Salmeron M C. Antibacterial activity of 11 essential oils against bacillus cereus in tyndallized carrot broth [J]. International Journal of Food Microbiology, 2003, 85 (1-2): 73-81.
- [13]李博,满朝新,赵凤,等.原料乳中金黄色葡萄球菌生长预测模型的建立[J].食品科学,2011,(15):158-162.
- [14]GB 4789.2-2010 食品微生物检验菌落总数的测定[S].北京:中国标准出版社,2004.
- [15]马若影,杨慧强,李国胜,等.亚临界水提取红心火龙果茎多糖及其抗氧化活性[J/OL].食品工业科技,2017,38(10):286-290.
- [16]杜金华,傅茂润,李苗苗,等.二氧化氯对青椒采后生理和贮藏品质的影响[J].中国农业科学,2006(6):1215-1219.
- [17]马冰雪,潘腾,任中清,等.火龙果果皮花青素提取工艺研究[J].北京农业,2013(12):213-215.
- [18]于艳艳.原料乳中金黄色葡萄球菌生长模型的建立及风险评估[D].杭州:浙江大学,2015.
- [19]刘超群,王宏勋,侯温甫.低温肉制品微生物控制与预测(上接第269页)
- 评价规范[S].北京:中国标准出版社,2013.
- [17]国家质量监督检验检疫总局,国家标准化委员会.GB/T 12456-2008 中华人民共和国国家标准,食品中总酸的测定[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [18]侯曼玲.食品分析[M].北京:化学工业出版社,2004:23.
- [19]乜兰春,孙建设,辛蓓,等.苹果果实酶促褐变底物及多酚氧化酶活性的研究[J].园艺学报,2004,31(4):502-504.
- [20]Toyoda K, Tsenkova R N, Nakamura M. Characterization of osmotic dehydration and swelling of apple tissues by bioelectrical impedance spectroscopy [J]. Drying Technology, 2001, 19 (8): 1683-1695.
- [21]宋焯,翟衡,刘金豹,等.苹果加工品种果实中的酚类物质与褐变研究[J].中国农业科学,2007,40(11):2563-2568.
- [22]杨巍,刘晶,吕春晶,等.氯化钙和抗坏血酸处理对鲜切苹果品质和褐变的影响[J].中国农业科学,2010,43(16):3402-3410.
- [23] Bourne M C. Effect of blanch temperature on kinetics of thermal softening of carrots and green beans [J]. Food Sci, 1987, 52(3):667-668.
- [24] Stanley D W, Bourne M C, Stine A P, et al. Low temperature blanching effects on chemistry, firmness and structure of canned green beans and carrots [J]. Food Sci, 1995, 60(2):327-333.
- [25]关军锋.果品品质研究[M].石家庄:河北科学技术出版社,2001.
- [26]Everard C D, Fagan C C, Donnell C P O, et al. Dielectric properties of process cheese from 0.3 to 3 GHz [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 75(3):415-422.
- [27]程红焱,宋松泉.脱水导致种子和花粉细胞膜变化的生物热力学研究进展[J].植物生理与分子生物学学报,2004,30(2):127-135.
- [28]Feng H, Tang J, Cavalieri R P. Dielectric properties of dehydrated apples as affected by moisture and temperature [J]. Transactions of the ASAE, 2002, 45(1):129-135.
- [29]陈斌,黄星奕.食品与农产品品质无损检测新技术[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [30]Volkov A G. Plant Electrophysiology [M]. Germany: Springer Verlag, 2012:205-223.
- [31]Soltani M, Alimardani R, Omid M. Prediction of banana quality during ripening stage using capacitance sensing system [J]. Australian Journal of Crop Science, 2010, 4(6):443-447.
- 模型应用研究进展[J].食品科学,2009,30(21):48-484.
- [20] Davey K R. Applicability of davey linear arrhrnius predictivemodel to the LAG phase of microbial growth [J]. Journal of Ap-plication Microbiology, 1991, 70(3):253-257.
- [21] Ross T. Indices for performance evaluation of predictive models in food microbiology [J]. The Journal of Applied Microbiology, 1996, 81(5):501-508.
- [22]周果,崔燕,杨文鸽,等.冰温贮藏对梭子蟹品质影响及其货架期模型的建立[J].核农学报,2017(4):719-727.
- [23]GB2719.1-2003 冷冻饮品卫生标准[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [24]刘超超,高美须,胡贵钊,等.辐照对鲜切苦瓜杀菌效果及感官品质的影响[J].核农学报,2013,27(6):775-781.
- [25]牛亚强,周兵.小枣培育大产业[J].价格理论与实践,2003(9):38.
- [26]王家军,饶景萍,刘学师.大枣采后生理及贮藏保鲜技术研究进展[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2002(9):153-158.
- [27]A. PBuedo, MP E lustondo, MJurbi cain. Amino acid loss in peach juice concentrate during storage [J]. Innovative Food Science&Emerging Technologies, 2001, 1(4):281-288.
- [28]冯晨静,关军锋,杨建民,等.草莓果实成熟期花青苷、酚类物质和类黄酮含量的变化[J].果树学报,2003(3):199-201.
- [29]Bolivar A C, Luis C Z. Stability of anthocyanin - based aqueousextracts of Andean purple corn and red - fleshed sweet potato compared to synthetic and natural colorants [J]. Food Chemistry, 2004, 86(1):69-77.
- [30]M. Cecila N N, Jeffrey K B, Alcina M M B M, Sreve A S. Possible influences of water loss and polyphenol oxidase activity on anthocyanin content and discoloration in fresh ripe strawberry (cv. Oso Grande) during storage at 1 °C [J]. Journal of Food Science, 2005, 70(1):S79-S84.