

刺梨果汁饮料的贮藏稳定性及其货架期预测

施 伽¹, 范志平², 陆雅丽³, 谢 勇¹, 高健强^{1*}

(1. 铜仁学院材料与化学工程学院, 铜仁 554300; 2. 宜宾市食品药品检验检测中心, 宜宾 644000;
3. 贵阳市食品药品检验检测中心, 贵阳 550081)

摘 要: **目的** 提高刺梨果汁饮料的贮藏稳定性并评估其货架期。**方法** 刺梨果汁饮料经均质、微波杀菌等处理后于 25℃贮藏 30 d, 探究均质时间、杀菌时间和不同稳定剂(黄原胶、果胶、*L*-卡拉胶)对饮料理化性质的影响。根据功能成分, 动力学方程及 Arrhenius 方程建立刺梨果汁饮料的货架期模型并预测其货架期。**结果** 当均质时间为 3~5 min、微波杀菌时间 2~4 min, 添加 0.1% *L*-卡拉胶时, 刺梨果汁饮料的稳定性较好; 贮藏实验显示, 相比总黄酮含量, 刺梨果汁饮料中 VC 含量与贮藏时间相关性更高, 且符合零级反应($r^2>0.900$); 刺梨果汁饮料在 4、25、45℃的货架期分别为 226、126、78 d。验证实验表明, 预测 VC 含量与实测 VC 含量之间的相对误差均低于 10%。**结论** 适当的加工处理可提高刺梨果汁饮料的贮藏品质, 延长其保质期。Arrhenius 方程适合于刺梨果汁饮料品质及货架期的评估。

关键词: 刺梨; 饮料; 维生素 C; 黄酮; 货架期

Storage stability and shelf-life prediction of *Rosa roxburghii* Tratt. juice beverage

SHI Jia¹, FAN Zhi-Ping², LU Ya-Li³, XIE Yong¹, GAO Jian-Qiang^{1*}

(1. School of Material and Chemical Engineering, Tonren University, Tonren 554300, China;
2. Centre for Food and Drug Testing of Yibin City, Yibin 644000, China;
3. Centre for Food and Drug Testing of Guiyang City, Guiyang 550081, China)

ABSTRACT: Objective To enhance the storage stability of *Rosa roxburghii* Tratt. juice beverage, and evaluate its shelf-life. **Methods** The *Rosa roxburghii* Tratt. juice beverage was stored at 25 °C for 30 days after homogenization and microwave sterilization, the effects of homogenization time, sterilization time, and various stabilizers (xanthan gum, pectin, *L*-carrageenan) on the physicochemical properties of the beverage were then investigated. According to functional components, kinetic equation and Arrhenius equation, the shelf-life model of *Rosa roxburghii* Tratt. juice beverage was established and its shelf life was predicted. **Results** The stability of the beverage was better when the homogenization time was 3~5 min, microwave sterilization time was 2~4 min, and the amount of *L*-carrageenan added was 0.1%; storage experiments showed that, compared with the total flavonoids content, the content of VC in the beverage had a higher correlation with the storage time, which fitted with the zero-order reaction ($r^2>0.900$); the shelf-life of the beverage at 4,

基金项目: 贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合 KY 字[2016]292 号)、贵州省教育厅“一二五”重大科技专项项目(黔教合重大专项字[2012]018 号)

Fund: Supported by the Science and Technology Project for Youth Advancement of Educational Department of Guizhou Province (QJH KY [2016]NO.292), and the "125" Major Science and Technology Special Project of Educational Department of Guizhou Province (QJHZDZX [2012]NO.018)

*通信作者: 高健强, 教授, 主要研究方向为作物遗传与育种。E-mail: gaojianqiang72@126.com

*Corresponding author: GAO Jian-Qiang, Professor, Tongren University, Freedom Road, Bijiang District, Tongren 554300, China. E-mail: gaojianqiang72@126.com

25, and 45 °C was 226, 126, 78 d, respectively. The experimental results showed that the relative errors between the predicted VC content and the measured VC content were all less than 10%. **Conclusion** Applying appropriate processing technology could enhance the storage stability of *Rosa roxburghii* Tratt. juice beverage and prolong its shelf-life. The Arrhenius equation is suitable for the evaluation of the quality and shelf-life of *Rosa roxburghii* Tratt. juice beverage.

KEY WORDS: *Rosa roxburghii* Tratt.; beverage; vitamin C; flavonoids; shelf-life

0 引 言

刺梨(*Rosa roxburghii* Tratt.)属于药食两用植物,在贵州省的种植面积已超过 1000 万亩,2019 年的鲜果产量达 6.60 万 t^[1]。刺梨果实富含膳食纤维(4.1 g/100 g 干基)^[2],具有改善血糖血脂、调节肠道菌群等生理功效^[3]。同时,刺梨果实中有有机酸、多酚、矿物质含量也丰富,特别是可食部分中黄酮和维生素 C (vitamin C, VC)含量,分别可达 2700~2900 mg/100 g 鲜重和 1300~3500 mg/100 g 鲜重,具有较好的抗氧化活性、抗衰老及预防糖尿病等生理功效^[2-4]。

随着人们对饮食与健康的逐渐重视,越来越多的消费者选择功能性植物饮料来控制体重,预防肥胖及抗衰老^[5]。更为重要的是,植物饮料中的多种生理活性成分可被身体迅速吸收,可更充分发挥其各种生理功效^[6]。近年来,已有报道将刺梨应用到糕点、酸奶、醋等产品中^[1]。本课题组前期将刺梨果实加工成饮料,并初步优化了产品配方^[7],但由于刺梨果实内源性成分复杂,一些活性成分在外部因素(如光照、氧气、高温)及内部因素(内源性氧化酶)作用下易降解^[8],导致产品的功效成分含量降低,甚至发生相分离等现象,不利于刺梨果汁饮料的长期保存,也严重影响了刺梨果汁饮料的商业化应用。因此,需进一步采取有效措施提高刺梨果汁饮料的稳定性并延长其货架期。在饮料加工中,均质处理,特别是热处理是不可或缺的工艺步骤,研究表明,均质^[9]和热处理^[10-11]等工艺步骤及稳定剂的使用^[12]均能提高饮料的稳定性和保质期。因此,优化加工工艺,并结合食品添加剂的使用,成为增加饮料的贮藏稳定性的有效途径。

一般而言,食物中诸多成分的降解反应属于零级、一级或二级化学反应,这为通过数学模型预测食品货架期提供了可靠的理论基础,其中,Arrhenius 方程已被用于多种食品货架期的预测,并取得了一定的成效^[8,13-14]。如 JIANG 等^[8]根据牛奶脂质氧化、维生素、挥发性成分在不同温度下随时间的变化,运用动力学模型及 Arrhenius 方程,实现了牛奶在不同温度下的货架期预测^[8]; RAICHL 等^[15]通过测定番茄酱中的总番茄红素、VC 及色泽随贮藏时间及温度的变化,采用 Arrhenius 方程预测了番茄酱在 20 °C 的货架期。重要的是,已有将多酚(包括黄酮)、VC 用于评估饮料货架期的报道^[14,16]。因此,根据食品的理化指标与贮藏条件(时间、温度)之间的相关性,利用数学模型预测食品

的货架期具有较好可行性。

VC 和黄酮是刺梨果实的主要功能性成分,VC 和黄酮含量与贮藏时间及温度等条件有着紧密的相关性^[8]。因此,本研究探究微波杀菌时间、均质时间及不同稳定剂对刺梨果汁饮料 VC、总黄酮含量、颗粒粒径、透光率、pH 及 ζ -电位^[14,17]的影响,同时,根据贮藏期间上述指标与贮藏条件参数(温度、时间)之间的相关性,建立刺梨果汁饮料的货架期数学模型,并预测其货架期,以期对刺梨果汁饮料品质的监测及评估提供新思路。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

野生刺梨(蔷薇属刺梨种, *R. roxburghii* Tratt., 产于铜仁市碧江区川硐镇,采摘时间为 2019 年 9 月中旬);槐花蜂蜜(贵州德江县茂强土特产开发有限公司);果葡糖浆(广西梧州乐哈哈食品工业有限公司);柠檬酸、D-异抗坏血酸钠、L-卡拉胶、果胶、黄原胶(食品级,上海化成工业发展有限公司);甜菊糖苷、 β -环糊精、山梨酸钾、苯甲酸(食品级,上海麦克林生化科技有限公司);VC 和槲皮素标品(纯度 98%,上海阿拉丁生化科技股份有限公司)。

1.2 仪器与设备

SPX-150 恒温培养箱(金坛市三和仪器有限公司);SRH-S 均质机(上海世赫机电设备有限公司);G70F20CN1L-DG 微波炉(格兰仕微波生活电器有限公司);Alpha-1860A 紫外可见分光光度计(上海谱元仪器仪表有限公司);Mastersizer 2000 Malvern 激光粒度仪(英国马尔文仪器有限公司);Abbemat 500 折光仪[安东帕(上海)商贸有限公司];SW1H 超声波清洗机(瑞士 SONOSWISS 公司);ZF-5L 真空抽滤器(上海保玲仪器设备有限公司);MJ-M2 磁力搅拌水浴锅(上海赫田科学仪器有限公司);PHSJ-6L 型实验室 pH 计(上海仪电科学仪器股份有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 饮料配方及制备工艺

根据已有配方及工艺流程^[7],结合参考文献^[18]进行适当调整。按照料液比为 1:100 (g:mL)将预先干燥(36 °C 于恒温干燥箱干燥 48 h)的刺梨粉与蒸馏水混合,于 40 °C 浸提 40 min,抽滤后即得刺梨果汁。经测定,果汁白利度(可溶

性固形物含量)为 $(5.45 \pm 0.10)^\circ\text{Bx}$ 。

每 100 mL 刺梨果汁提取液中添加甜菊糖苷 13 mg、柠檬酸 14.4 mg、蜂蜜 5.3 g、果葡糖浆 6.2 g、 β -环糊精 3 mg、D-异抗坏血酸钠 0.6 mg、山梨酸钾 90 mg、苯甲酸 70 mg、黄原胶 50 mg。为提高饮料的稳定性,除了黄原胶,还选择 L-卡拉胶和果胶作为稳定剂并进行对比实验。在添加稳定剂前,先将 3 种胶体以 0.1% (g: mL) 的比例分别加入蒸馏水中, 50 °C 条件下不断搅拌,使其充分溶胀并分散于溶液中,然后再按 1:1 (V:V) 的比例与刺梨果汁饮料混合,并按照配方加入各种配料。每瓶饮料的总体积为 150 mL,配制好的刺梨果汁饮料经均质(200 MPa, 25 °C)一定时间后,超声(600 W, 5 min)排气后抽滤,将滤液装入玻璃瓶中密封,采用微波杀菌(800 W)一定时间,倒瓶 30 s 后用自来水冷却、贮藏,考察加工工艺和稳定剂对刺梨果汁饮料贮藏稳定性的影响,并预测其货架期。

1.3.2 理化指标的测定

(1) VC 含量测定

参照梁悦等^[9]的方法,测定刺梨果汁饮料中 VC 含量;标准曲线回归方程为: $Y=25.357X+0.0343$, 其中 Y 表示 OD_{243} 值, X 为 VC 浓度(0.1~2 mg/100 mL), 相关系数为 $r^2=0.9942$ 。

(2) 黄酮含量的测定

根据 ALIDE 等^[20]的方法,测定饮料中总黄酮含量。以槲皮素为标准品,以吸光度对黄酮质量浓度作回归处理,绘制黄酮含量标准曲线,得回归方程 $Y=0.0159X+0.042$, 其中 Y 表示 OD_{420} 值, X 为黄酮质量浓度(0.5~20 mg/100 mL), 相关系数为 $r^2=0.9919$ 。

(3) 粒径及 ζ -电位的测定

参照 NI 等^[17]的方法测定刺梨果汁饮料在贮藏前及贮藏期的粒径和 ζ -电位变化,以此评估饮料品质。实验中以体积平均直径 $D[4,3]$ 和表面积平均直径 $D[3,2]$ 表征饮料中微粒的粒径。

(4) 透光率的测定

采用分光光度计测定饮料的透光率^[7],以蒸馏水做空白对照,测定波长为 640 nm。

(5) pH 的测定

采用 pH 计测定每瓶饮料在贮藏前及贮藏期的 pH。

1.3.3 贮藏稳定性实验

鉴于加工工艺和稳定剂对饮料的贮藏品质有重要影响,本研究考察均质时间、杀菌时间及稳定剂种类 3 个因素对刺梨果汁饮料贮藏稳定性的影响。

(1) 均质时间对刺梨果汁饮料贮藏稳定性的影响

按照 1.3.1 的条件,利用均质机对饮料分别处理 0、1、3、5、7 min,将制备好的饮料置于 25 °C 恒温培养箱中,避光贮藏 30 d。测定贮藏前/后饮料中 VC、总黄酮、粒径、 ζ -电位、pH 及透光率,以探究均质时间对刺梨果汁饮料贮藏稳定性的影响。

(2) 杀菌时间对刺梨果汁饮料贮藏稳定性的影响

按照 1.3.1 的条件,刺梨果汁饮料均质 3 min 后进行封装,微波炉(800 W)杀菌 0、0.5、1、2、4、6 min,并按照上述条件进行贮藏,考察杀菌时间对饮料贮藏稳定性的影响。

(3) 稳定剂种类对刺梨果汁饮料贮藏稳定性的影响

按照 1.3.1 的方法分别制备由果胶、黄原胶、L-卡拉胶作为稳定剂的刺梨果汁饮料,均质处理 3 min 后,微波杀菌(800 W) 2 min,按照上述相同贮藏条件进行贮藏,并通过测定饮料上述各项理化指标探究稳定剂对刺梨果汁饮料贮藏稳定性的影响。

1.3.4 货架期预测

参考文献^[2,13,21],利用反应动力学方程(1)、(2)和 Arrhenius 方程(3)可得到反应级数、速率常数、反应活化能和加速因子(4)。刺梨果汁饮料在不同温度(4、25、45 °C)下避光贮藏,每隔一定时间(4、25 °C: 1 次/15 d; 45 °C: 1 次/10 d)测定一次理化指标,每个时间节点进行 3 次平行实验,并通过建立数学模型预测货架期。将产品理化指标低于其初始值 50% 时的贮藏天数定义为货架期^[22]。

$$A=A_0 \pm k_0 \times t \quad (1)$$

$$\ln(A/A_0) = \pm k_1 \pm t \quad (2)$$

式中: A 为贮藏温度 t 时的测定指标, mg/100 mL; A_0 是初始测定指标, mg/100 mL; t 为贮藏时间, d; $k_{n(0,1)}$ 是 $n(0,1)$ 级反应方程的速率常数。速率常数 k 可通过 Arrhenius 方程(3)^[13] 获得:

$$\ln k = \ln k_0 - E_a/R(1/T - 1/T_0) \quad (3)$$

式中: E_a 表示活化能, J/mol; R 表示气体常数, 8.3144 J/(mol·K); T 表示热力学温度, K; T_0 表示参考温度, 273 K; k_0 表示参考温度下的反应速率常数。加速因子 $\alpha_{T+\Delta T}$, 可通过方程(4)^[8] 获得。

$$\alpha_{T+\Delta T} = k_{T+\Delta T}/k_T \quad (4)$$

式中: $\alpha_{T+\Delta T}$ 为当贮藏温度由 T 上升到 $T+\Delta T$ 时的加速因子; $k_{T+\Delta T}$ 表示温度为 $T+\Delta T$ 时的速率常数; k_T 表示温度为 T 时的速率常数。

1.3.5 货架期的验证

为了验证所得刺梨果汁饮料货架期模型的可靠性,在获得货架期模型的基础上,选择 20、30 °C 作为验证实验的贮藏温度,当贮藏时间达到理论货架期时,分别检测刺梨果汁饮料中的 VC 含量,并进行比较。

1.4 数据处理

实验数据采用 Excel 2016 及 GraphPad Prism 8 软件进行数据处理及作图,每次实验重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 均质时间对刺梨果汁饮料贮藏稳定性的影响

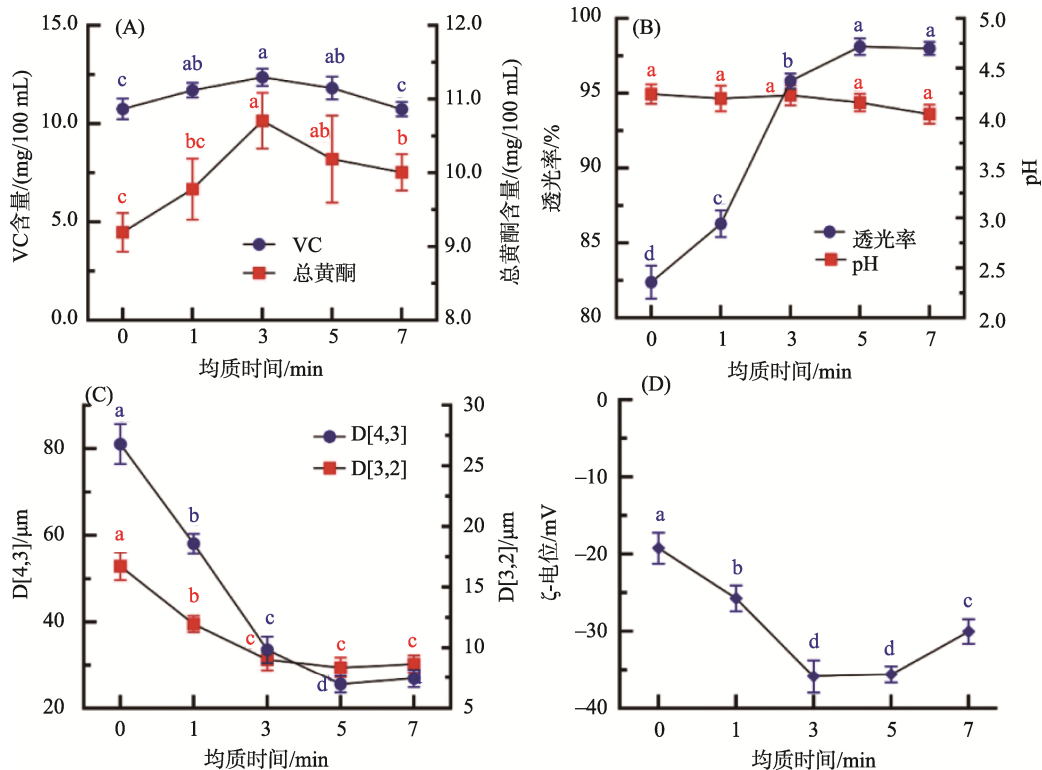
刺梨果汁饮料 VC 和总黄酮含量在贮藏前的平均含量分别为 (14.4 ± 0.4) mg/100 mL 和 (12.2 ± 0.2) mg/100 mL, 这与

以往研究报道^[2]比较接近; 透光率为 $(96 \pm 1.2)\%$, pH 在 4.2 左右, 呈酸性; D[4,3]、D[3,2]分别为 (16.0 ± 4.5) 、 $(3.2 \pm 1.8) \mu\text{m}$, ζ -电位为 $(39 \pm 3.1) \text{ mV}$ 。刺梨果汁饮料经不同均质时间处理并贮藏 30 d 后, 各项指标如图 1 所示。由图 1 可知, 均质后, 饮料 VC 和总黄酮损失有所降低, 但 pH 变化不显著; 透光率显著增加, 粒径 D[4,3]和 D[3,2]则明显降低; ζ -电位绝对值在均质 3 min 时较高, 达到 36.0 mV 左右。综上, 均质 3 min 左右能较好地提高饮料的贮藏稳定性, 且此时饮料的色泽及组织状态均较好。均质时间太短, 饮料中的微粒(如胶体、植物细胞等)分布不均匀, 贮藏一定时间后易再次聚集为较大颗粒, 导致颗粒粒径增加, 从而降低饮料的透光率和 ζ -电位^[9,17]。适当的均质处理, 一方面可使微粒分布更加均匀, 将大颗粒破碎为小颗粒, 颗粒表面电荷增加, 静电相互作用增强^[9]; 另一方面可钝化饮料体系中的酶活性(如果胶酶, 多酚氧化酶), 抑制果胶和酚类物质的降解, 从而增强了饮料的贮藏稳定性。但均质时间过长时, 高速剪切会断裂部分稳定剂大分子, 也会破坏少量细胞结构, 从而增加其内容物渗出, 同时也会破坏部分络合物(如多酚/黄酮-蛋白复合物)的稳定性^[17], 最终降低饮料的贮藏稳定性。

2.2 杀菌时间对刺梨果汁饮料贮藏稳定性的影响

短时(<1 min)微波加热时, 与贮藏前相比, VC 和总黄酮

含量显著降低, pH 和透过率也明显较低, 这说明短时加热不能有效控制刺梨果汁饮料的品质。微波处理对刺梨果汁饮料各理化指标的影响如图 2 所示。由图 2 可知, 当微波加热 2~4 min 时, 饮料中的 VC 和总黄酮含量相对较高, 随着加热时间的增加, 透光率、pH 和 ζ -电位绝对值显著增加($P < 0.05$), 粒径显著降低($P < 0.05$), 且此时饮料的色泽及组织状态均较好。继续增加杀菌时间, 虽然粒径继续降低, 透光率及 ζ -电位绝对值增加, 但均不显著($P > 0.05$), 且 VC 和总黄酮含量显著降低($P < 0.05$), 褐变程度加深。出现以上现象, 可能是因为微波杀菌时间太短, 不足以完全杀灭饮料中的微生物或芽孢, 贮藏一段时间后, 微生物逐渐繁殖并产生次级代谢物, VC 和总黄酮等营养成分被消耗^[23-24]; 同时, 胶体物质因溶解度不高、分散不均匀而聚集, 导致透光率、pH 及 ζ -电位绝对值降低, 粒径增加^[17]; 另外, 部分多酚类物质因内源性酶氧化降解, 致使饮料的透光率降低^[25]; 热处理过度, 则会导致饮料中蛋白质变性聚集, 从而降低饮料的透光率^[26]; 同时也会导致 VC 和总黄酮等热敏性活性成分降解^[27]; 也可能破坏胶体与饮料中活性成分的相互作用, 促进 VC 的氧化, 其产物 H_2O_2 会降解饮料中的其他功能性成分^[28]。此外, VC 含量的降低, 对饮料中多酚氧化酶的抑制作用降低, 酶促褐变增加, 饮料的感官品质也随之降低^[29]。



注: a~d: 不同小写字母表示同一指标组间差异显著, $P < 0.05$; (A) VC 含量与总黄酮含量; (B) 透光率与 pH; (C) 体积平均粒径(D[4,3])与表面积平均粒径(D[3,2]); (D) ζ -电位, 下同。

图 1 均质时间对刺梨果汁饮料贮藏稳定性的影响($n=3$)

Fig.1 Effects of homogenization times on the storage stabilities of *R. roxburghii* Tratt. juice beverages ($n=3$)

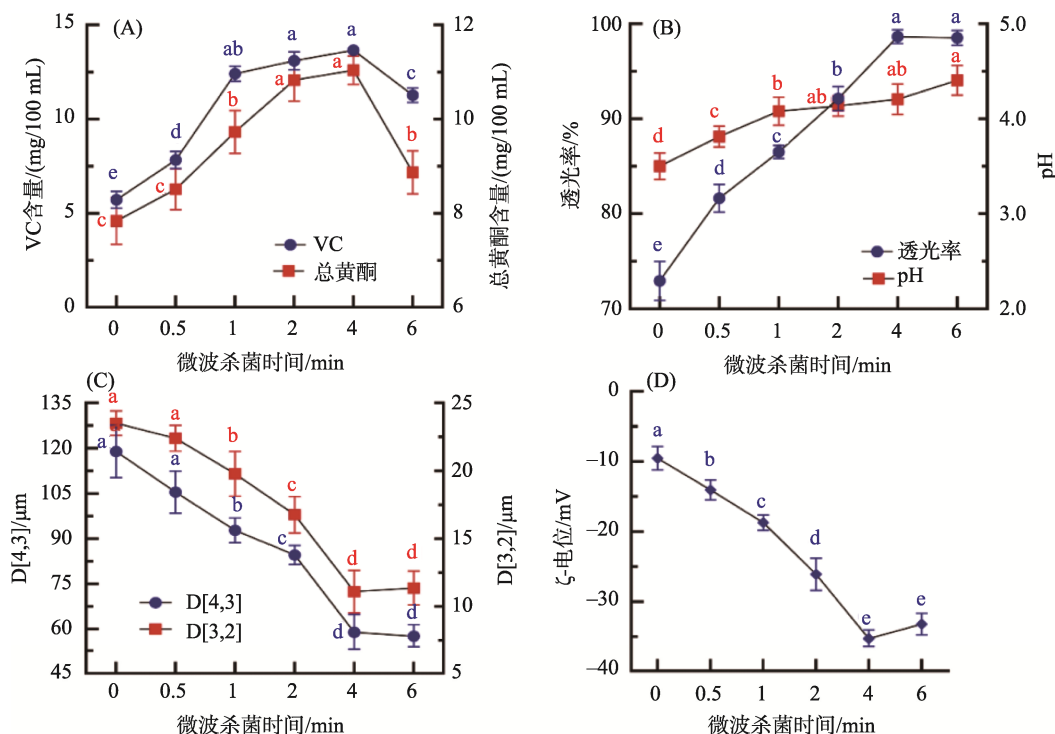


图2 微波杀菌时间对刺梨果汁饮料贮藏稳定性的影响(n=3)

Fig.2 Effects of microwave-sterilization times on the storage stabilities of *R. roxburghii* Tratt. juice beverages (n=3)

2.3 稳定剂种类对刺梨果汁饮料贮藏稳定性的影响

稳定剂对刺梨果汁饮料理化指标的影响如图3所示。由图3可知,3种稳定剂均能增强刺梨果汁饮料的稳定性。其中,L-卡拉胶和黄原胶能够显著增加总黄酮含量($P<0.05$),3种稳定剂对VC和pH的影响均不明显($P>0.05$),除黄原胶外,均能显著增加透光率、粒径、 ζ -电位绝对值($P<0.05$)。相比于黄原胶和果胶,L-卡拉胶对透光率、粒径及 ζ -电位的影响更明显。这一结果可能是由不同稳定剂分子结构、分子量、黏度特性等因素的差异所致。一般而言,同一种稳定剂的分子量越大,其黏度越大、交联性能越强,但其溶解度也会随之降低;而分子量太小,溶解度虽然增加,但与其他成分的交联作用会减弱,稳定性会降低^[12,27]。因此,L-卡拉胶更有利于增强刺梨果汁饮料的稳定性。

2.4 货架期的预测

贮藏实验结果如图4所示,VC和总黄酮含量与贮藏温度及时间均有一定的相关性,而其他指标的相关性较差,且在贮藏过程中未发生胀罐和明显沉淀等现象,表明微生物已得到有效控制,不是影响饮料贮藏稳定性的关键因素。综上,刺梨果汁饮料中VC和总黄酮含量变化存在温度和时间依赖性,这与已有研究^[21]有一定的相似之处。另外,VC含量的变化更趋于零级反应(根据 r^2 大小判断),但在45℃条件下比较符合一级反应,而总黄酮含量的变化更趋于一级反应。相比总黄酮含量而言,同等条件下VC含量与时

间的相关性更高($r^2>0.9$)。这一结果与已有研究^[13]有所差异,这可能是不同食品体系中成分及成分之间相互作用存在差异造成的。因此,选择VC含量预测刺梨果汁饮料的货架期更具可行性。

为便于计算,均以VC含量的零级反应方程估计刺梨果汁饮料的货架期。首先,根据图4(A)~4(B)中不同温度下的零级反应方程得到反应速率常数 k ;然后,结合图4(E)中的Arrhenius方程计算出 k_0 及 E_a 参数[图4(E)、表1];结合动力学方程及Arrhenius方程即可得刺梨果汁饮料的货架期预测模型(5):

$$t = \frac{C - 14.40}{\frac{-1.89 \times 10^4}{-121.57 \times e^{8.3144 \times T}}} \quad (5)$$

式中: t 为刺梨果汁饮料的贮藏时间,d; T 为热力学温度,K;14.40 mg/100 mL为刺梨果汁饮料贮藏前VC的初试含量; C 为刺梨果汁饮料在贮藏温度 T 条件下贮藏 t 天的VC含量,mg/100 mL;-121.57为反应速率常数, k_0 ;1.89×10⁴为反应活化能,J/mol。

根据该模型可计算出饮料的货架期,结果如表1所示。当VC浓度为初始浓度(14.4 mg/100 mL)的一半时,刺梨果汁饮料在4、25、45℃条件下的货架期分别为226、126、78 d。所得结果与已有研究^[21-22]有一定的相似性,但货架期差异较大,这可能是由食品组成成分、考察指标、贮藏条件等因素的不同导致的。

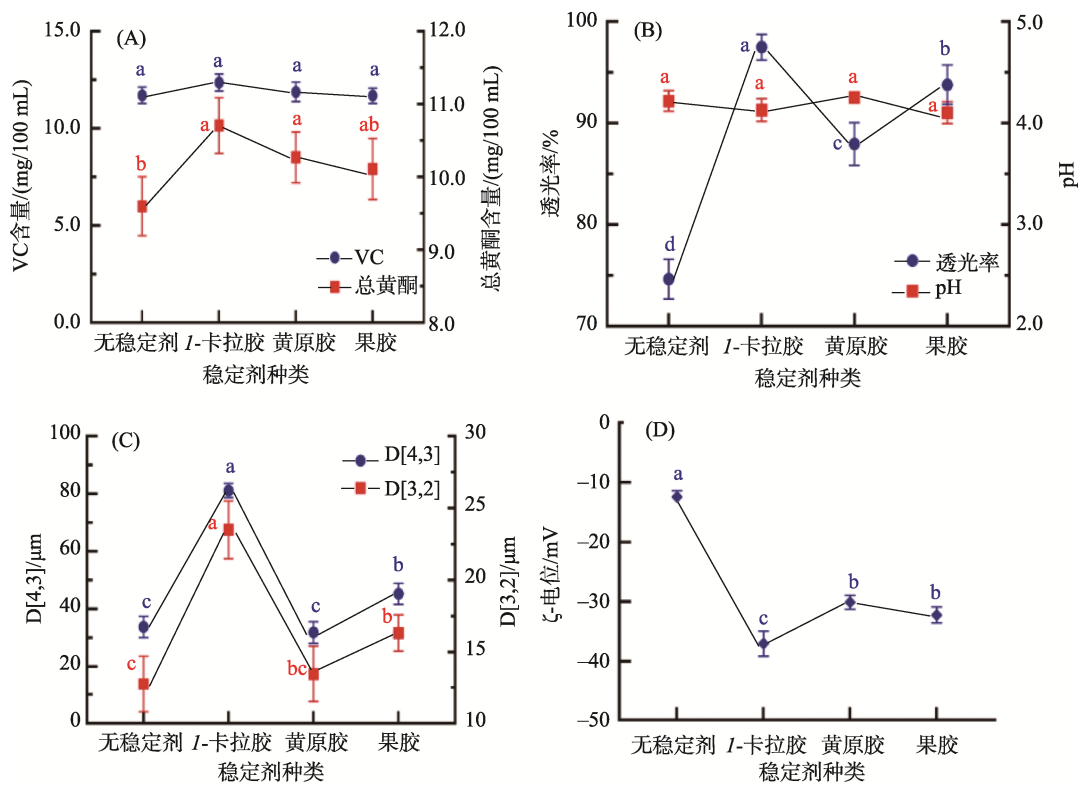
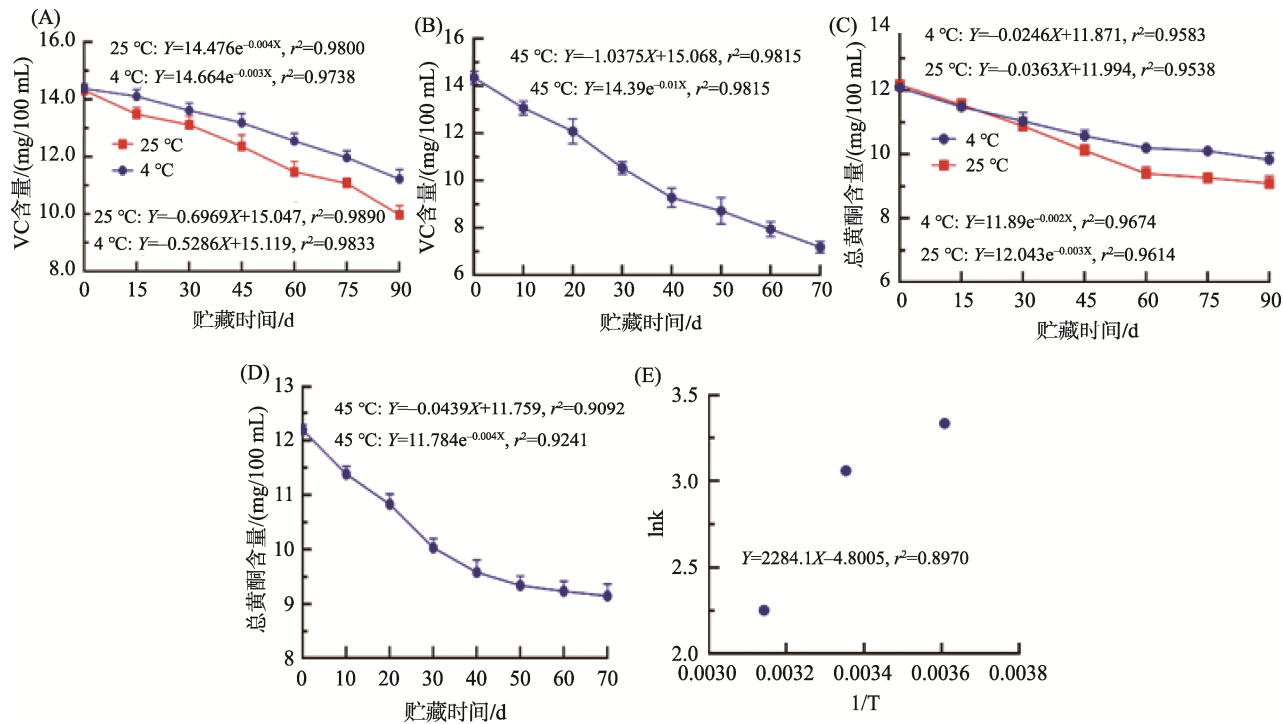


图 3 稳定剂种类对刺梨果汁饮料贮藏稳定性的影响(n=3)
Fig.3 Effects of stabilizers types on the storage stabilities of *R. roxburghii* Tratt. juice beverages (n=3)



注: (A) VC 在 4、25 °C 的动力学模型; (B) VC 在 45 °C 的动力学模型; (C) 总黄酮在 4、25 °C 的动力学模型; (D) 总黄酮在 4、25 °C 的动力学模型; (E) 基于 VC 动力学的刺梨果汁货架期模型。

图 4 刺梨果汁饮料 VC 和黄酮动力学及其货架期模型
Fig.4 Kinetic of VC and flavonoids of *R. roxburghii* Tratt. juice beverage and its shelf-life model

表 1 刺梨果汁饮料 VC 在不同贮藏温度下的动力学参数
Table 1 Kinetic parameters of VC in *R. roxburghii* Tratt. juice beverages at various storage temperatures

温度/℃	速率常数(<i>k</i>)	决定系数(<i>r</i> ²)	活化能 <i>E_a</i> /(kJ/mol)	加速因子(<i>α</i>)			预测货架期/d
				<i>α</i> _{25, 4}	<i>α</i> _{45, 4}	<i>α</i> _{45, 25}	
4	−0.0352	0.9833	18.99	1.3210	2.9489	2.2322	226
25	−0.0465	0.9890					126
45	−0.1038	0.9815					78

2.5 货架期的验证

为了验证该货架期预测模型的可靠性, 先根据该模型计算出 VC 在 20、30 °C 理论货架期(分别为 144 d 和 111 d)的含量均为 7.20 mg/100 mL, 在理论货架期实测 VC 含量分别为(7.43±0.06)、(7.66±0.08) mg/100 mL)。两种温度下, 实测 VC 含量与货架期预测 VC 含量的相对误差分别为(3.19±0.22)%和(6.01±0.31)%, 两者均<10%, 这说明该模型可有效预测刺梨果汁饮料的货架期^[22]。同时, 刺梨果汁饮料的实际货架期可能高于理论货架期。

3 结论与讨论

本研究通过探究微波杀菌时间、均质时间及 3 种不同稳定剂对刺梨果汁饮料 VC 含量、总黄酮含量、透光率、pH、粒径及 ζ-电位的影响, 并通过 Arrhenius 方程预测其不同温度下的货架期, 得到以下结论:

(1)经微波杀菌 2~4 min, 200 MPa 25 °C 均质处理 3 min, 并添加 0.1% *l*-卡拉胶, 可有效降低刺梨果汁饮料 VC 和总黄酮的损失。该条件下, 饮料透光率及 ζ-电位绝对值显著增加, 粒径明显降低, 饮料的稳定性明显增强。

(2)利用 Arrhenius 方程获得的刺梨果汁饮料的货架期模型, 通过 VC 含量成功预测了不同贮藏温度下饮料的货架期(常温下可达 4~5 个月)。与理论货架期 VC 含量(7.20 mg/100 mL)相比, 实测 VC 含量均高于此值, 且相对误差低于 10%, 说明通过建立数学模型可有效监测刺梨果汁饮料的品质变化, 这为果汁类饮品的品质监测提供了另一条可行途径。

值得注意的是, 除微波加热外, 高静压、辐射、巴氏杀菌、脉冲电场等低温技术也可提高饮料的稳定性, 且对饮料营养成分的破坏相对较小^[23,30]; 另外, 不同稳定剂之间的结构差异较大, 稳定能力会有不同, 例如果胶的酯化度与其乳化性及稳定性有着紧密关联, 高甲氧基果胶在 Ca²⁺作用下, 其稳定效果更佳。相比 *k*-卡拉胶, *l*-卡拉胶的凝胶性更弱, 而 γ-卡拉胶不能形成凝胶^[31]。从市场角度讲, 刺梨果汁饮料在常温(25 °C)下的理论贮藏期仅有 4 个月之久, 与一般饮料的货架期(6~12 月)尚有差距, 因此, 可进一步探究其他加工工艺和稳定剂对刺梨果汁饮料的影响,

以提高饮料的稳定性和贮藏品质。此外, 仅监测数个功能性成分的变化可能还不能完全反应饮料的整体品质及其安全性, 需进一步根据其感官品质(色泽、口感、均匀性等)^[11,23]、微生物及其代谢产物^[24]、抗氧化活性^[25]等指标进行综合评估, 在提高饮料稳定性的同时, 须确保其安全性也符合国家相关标准^[13]。

参考文献

[1] WANG LT, LV MJ, ANJY, *et al.* Botanical characteristics, phytochemistry and related biological activities of *Rosa roxburghii* Tratt. fruit, and its potential use in functional foods: A review [J]. Food Funct, 2021, 12: 1432–1451

[2] XU J, VIDYARTHIS K, BAI W, *et al.* Nutritional constituents, health benefits and processing of *Rosa roxburghii*: A review [J]. J Funct Food, 2019, 60: 1–10.

[3] WANG L, LI C, HUANG Q, *et al.* Polysaccharide from *Rosa roxburghii* Tratt. fruit attenuates hyperglycemia, hyperlipidemia and regulates colon microbiota in diabetic db/db mice [J]. J Agric Food Chem, 2020, 68(1): 147–159.

[4] YANGQ Q, ZHANG D, FARHA AK, *et al.* Phytochemicals, essential oils, and bioactivities of an underutilized wild fruit cili (*Rosa roxburghii*) [J]. Ind Crop Prod, 2020, 143: 1–8.

[5] ANOMA C, FEREIDOON S. Herbal beverages: Bioactive compounds and their role in disease risk reduction-A review [J]. Afr J Tradit Complement, 2018, 8: 451–458.

[6] VALDUGA AT, GONCALVES IL, MAGRI E, *et al.* Chemistry, pharmacology and new trends in traditional functional and medicinal beverages [J]. Food Res Int, 2019, 120: 478–503.

[7] 谢勇, 张榕, 张江湖, 等. Box-Behnken 试验设计优化刺梨果汁饮料工艺[J]. 食品研究与开发, 2018, 3(2): 119–125.

XIE Y, ZHANG R, ZHANG JH, *et al.* Formulation optimization for *Rosa roxburghii* Tratt. beverage by Box-Behnken design [J]. Food Res Dev, 2018, 3(2): 119–125.

[8] JIANG Y, YANG X, JIN H, *et al.* Shelf-life prediction and chemical characteristics analysis of milk formula during storage [J]. LWT-Food Sci Technol, 2021, (1): 111268.

[9] LIU X, LIU J, BI J, *et al.* Effects of high pressure homogenization on physical stability and carotenoid degradation kinetics of carrot beverage during storage [J]. J Food Eng, 2019, 263: 63–69.

[10] BAZINET L, ARAYA-FARIAS R, DOYEN R, *et al.* Effect of process unit operations and long-term storage on catechin contents in

- EGCG-enriched tea drink [J]. Food Res Int, 2010, 43(6): 1692–1701.
- [11] AZ A, FC A, MS B, *et al.* Application of ohmic heating to extend shelf life and retain the physicochemical, microbiological, and sensory properties of pulque [J]. Food Bioprod Process, 2019, 118: 139–148.
- [12] LEI Z A, FEIP A, AM A, *et al.* Protective effect and mechanism of action of xanthan gum on the color stability of black rice anthocyanins in model beverage systems [J]. Int J Biol Macromol, 2020, 164: 3800–3807.
- [13] ZARDETTO S, BARBANTID. Shelf life assessment of fresh green pesto using an accelerated test approach [J]. Food Pack Shelf, 2020. DOI: 10.1016/j.fpsl.2020.100524
- [14] ZCW A, YXY A, HPA C, *et al.* The shelf-life of chestnut rose beverage packaged in PEN/PET bottles under long term storage: A comparison to packaging in ordinary PET bottles [J]. Food Chem, 2022, 370: 131044.
- [15] RAJCHL A, VOLDRICH M, CIZKOVA H, *et al.* Stability of nutritionally important compounds and shelf life prediction of tomato ketchup [J]. J Food Eng, 2010, 99(4): 465–470.
- [16] ALBUQUERQUE J, HBESCALONA B, CORDEIRO A, *et al.* Ultrasound treatment for improving the bioactive compounds and quality properties of a Brazilian nopal (*Opuntia ficus indica*) beverage during shelf-life [J]. LWT-Food Sci Technol, 2021(3): 111814.
- [17] NI Y, ZHANG Z, FAN L, *et al.* Evaluation of physical stability of high pressure homogenization treatment cloudy ginkgo beverages [J]. LWT-Food Sci Technol, 2019, 111: 31–38.
- [18] MESNIER X, GREGORY C, FANA-BERTHON P, *et al.* Heat and light colour stability of beverages coloured with a natural carotene emulsion: Effect of synthetic versus natural water soluble antioxidants [J]. Food Res Int, 2014, 65: 149–155.
- [19] 梁悦, 邢爽, 张静, 等. 紫外分光光度法研究枸杞中 Vc 稳定性及含量测定[J]. 湖北中医药大学学报, 2019, 21(6): 48–51.
- LIANG Y, XING S, ZHANG J, *et al.* Determination of the stability and content of Vc in wolfberry (*Lycium barbarum* L.) ultraviolet spectrophotometer [J]. J Hubei Univ Chin Med, 2019, 21(6): 48–51.
- [20] CHANDRA S, KHAN S, AVULA B, *et al.* Assessment of total phenolic and flavonoid content, antioxidant properties, and yield of aeroponically and conventionally grown leafy vegetables and fruit crops: A comparative study [J]. Evid-based Compl Alt, 2014, 2014: 1–9.
- [21] WIBOWO S, GRAUWET T, KEBEDE B T, *et al.* Study of chemical changes in pasteurised orange juice during shelf-life: A fingerprinting-kinetics evaluation of the volatile fraction [J]. Food Res Int, 2015, (75): 295–304.
- [22] WANG ZC, QIN CQ, ZHANG X, *et al.* Effect of whey protein isolate/chitosan/microcrystalline cellulose/PET multilayer bottles on the shelf life of rosebud beverages [J]. Food Chem, 2021, 347: 129006.
- [23] WALKLING-RIBEIRO M, NOCI F, CRONIN DA, *et al.* Shelf life and sensory attributes of a fruit smoothie-type beverage processed with moderate heat and pulsed electric fields [J]. LWT-Food Sci Technol, 2010, 43(7): 1067–1073.
- [24] BUENO RS, RESSUTTE JB, HATA N, *et al.* Quality and shelf life assessment of a new beverage produced from water kefir grains and red pitaya [J]. LWT-Food Sci Technol, 2020, 140(1): 110770.
- [25] SARDO R, AMARAL RA, ALEXANDRE E, *et al.* Effect of high-pressure processing to improve the safety and quality of an *Quercus* acorn beverage [J]. LWT-Food Sci Technol, 2021, 149(1): 111858.
- [26] CHUNG C, ROJANASASITHARA T, MUTILANGI W, *et al.* Enhancement of colour stability of anthocyanins in model beverages by gum arabic addition [J]. Food Chem, 2016, 201: 14–22.
- [27] NI Y, TANG X, FAN L. Improvement in physical and thermal stability of cloudy ginkgo beverage during autoclave sterilization: Effects of microcrystalline cellulose and gellan gum [J]. LWT-Food Sci Technol, 2021, 135: 1–6.
- [28] ALIDE T, WANGILA P, KIPROP A. Effect of cooking temperature and time on total phenolic content, total flavonoid content and total *in vitro* antioxidant activity of garlic [J]. BMC Res Not, 2020, 13: 1–7.
- [29] YUK B, ZHOUL, SUNY F, *et al.* Anti-browning effect of *Rosa roxburghii* apple juice and identification of polyphenol oxidase inhibitors [J]. Food Chem, 2021, 359.
- [30] BELLUMORI M, ANGELONI G, GUERRINI L, *et al.* Effects of different stabilization techniques on the shelf life of the cold brew coffee: Chemical composition, flavor profile and microbiological analysis [J]. LWT-Food Sci Technol, 2021, 142(77): 111043.
- [31] YUE DA, ZW A, CX A B. Recent advances in carrageenan-based delivery systems for bioactive ingredients: A review [J]. Trends Food Sci Technol, 2021, 112: 348–361.

(责任编辑: 郑 丽 于梦娇)

作者简介



施 伽, 硕士, 讲师, 主要研究方向为食品加工与贮藏。

E-mail: 79682141@qq.com



高建强, 教授, 主要研究方向为作物遗传与育种。

E-mail: gaojianqiang72@126.com