

高压均质黄桃果汁的 响应面法优化及稳定性表征

石天琪, 王子宇, 张霞, 莫芳, 张甫生*
(西南大学食品科学学院, 重庆 400715)

摘要: 为改善黄桃果汁的品质, 采用高压均质处理来提高黄桃果肉果汁的稳定性。在单因素实验的基础上, 以果汁稳定系数和离心沉淀率为响应值, 采用响应面法对高压均质条件进行优化。结果显示: 均质压力 30 MPa、均质温度 32 ℃、均质次数 3 次时, 黄桃果汁稳定系数为 0.928, 离心沉淀率为 10.57%, 具有较好的稳定性; 且采用粒度仪测定黄桃果汁高压均质前后粒径变化, 果汁平均粒径均质前为 3.840 μm , 均质后为 0.722 μm , 粒径显著减少, 也说明果汁稳定性显著提高; 同时显微镜分析表明均质后果汁中细胞碎片明显增多、变小、不粘连, 多呈散状。

关键词: 黄桃, 高压均质, 稳定性, 响应面

Response surface method optimization and stability characterization of high-pressure homogeneous yellow peach juice

SHI Tian-qi, WANG Zi-yu, ZHANG Xia, MO Fang, ZHANG Fu-sheng*

(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: In order to improve the stability of peach juice, high pressure homogenization was applied to process yellow peach juice. Based on single factor experiment, response surface method was used to optimize the homogenization conditions by using juice stability coefficient and centrifugal precipitation rate as the response value. The results showed that when the homogenization pressure was 30 MPa, the temperature was 32 ℃ and the number of homogenization was 3 times, the stability coefficient and centrifugal sedimentation rate of peach juice was 0.928 and 10.57%, respectively, which indicated good stability. Moreover, the particle sizes of peach juice before and after high-pressure homogenization were determined by particle size analyzer, the average particle size was 3.840 μm before homogenization and 0.722 μm after homogenization, indicating that the stability of fruit juice was significantly improved due to the reduced particle size. In addition, microscopic analysis also showed that the cell debris in the homogenized juice increased obviously, and became smaller, non-adhesive and scattered.

Key words: yellow peach; high-pressure homogenization; stability; response surface methodology

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)13-0019-07

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.13.004

黄桃, 又名黄肉桃 (*Amygdalus persica* L.), 隶属于蔷薇科 (*Rosaceae*) 桃属 (*Persica*), 因其果肉呈金黄色而得名。黄桃汁多味美, 且含有大量人体所需的纤维素、胡萝卜素、番茄红素及微量元素等营养成分^[1-3], 深受消费者青睐。黄桃采收季节一般集中在7月下旬至9月上旬, 此期间气温高且湿度大, 黄桃不易储藏; 除鲜食外, 黄桃常加工成罐头、果脯及提取活性成分等, 其中尤以黄桃罐头为主。近几年来, 随着消费意识升级和购买力的提高, 果汁消费逐年增长, 几乎以年均 14.5% 速度快速增长, 果汁饮料现已成为生活中必需品之一^[4]。黄桃酸甜可口, 开发黄桃果汁饮品具有较高的经济价值, 但黄桃果汁在加

工与贮藏过程中同样极易发生浑浊, 严重影响产品品质。如何减少果汁浑浊及提高果汁稳定性, 成为食品企业和科研人员亟待解决的问题。

目前改善果汁稳定性的方法, 一般为添加合适增稠剂、热处理复合酶解及高压均质等手段。如采用羧甲基纤维素、黄原胶、果胶、卡拉胶等一种或多种复合增稠剂来增强苹果汁^[5-6]、沙田柚汁^[7]等的浑浊稳定性, 以及采用热处理复合酶解来提高香蕉汁^[8]、人参果汁^[9]、苹果汁^[10-11]的出汁率与稳定性, 但过多增稠剂与酶蛋白会影响果汁口感与风味。高压均质 (high pressure homogenization) 是目前较为常用提高果汁稳定性的手段, 是一种纯物理的非热加工

收稿日期: 2016-12-27

作者简介: 石天琪 (1996-), 女, 本科生, 研究方向: 果蔬加工, E-mail: 472429011@qq.com。

* 通讯作者: 张甫生 (1983-), 博士, 副教授, 研究方向: 果蔬非热加工与碳水化合物, E-mail: zfswwu@163.com。

基金项目: 国家自然科学基金项目基金 (31301599); 中国博士后科学基金 (2014M551502)。

技术;一般在常温下进行,能最大限度地维持果蔬汁原有的营养,对于低温冷藏果蔬汁尤为适用。如高压均质可使番茄汁^[1]、胡萝卜汁^[3-14]、橘汁^[15-16]及枣汁^[1]等果汁的平均粒径降低,稳定性提高;但也有研究显示高压均质可使带肉果汁的粘度下降,稳定性降低,这可能不仅与果肉含量和颗粒状态有关,也与果汁的破坏和重组有关,同时还受到果汁中糖、酸、果胶等因素的影响^[18]。

黄桃果汁体系富含未破碎的植物细胞、果胶、纤维素、半纤维素等大分子,体系成分复杂极易絮凝、下沉出现分层现象,严重影响黄桃果汁产品品质及货架期。采用高压均质处理来改善黄桃果汁稳定性是一种有效方法,特别是对于非热杀菌冷链黄桃果汁。但目前尚未见有关高压均质对黄桃果汁处理的相关报道。为此,本实验采用高压均质处理黄桃果汁,使果肉颗粒破碎并均匀分散,减小颗粒直径,降低单颗粒的体积和质量;并以黄桃果汁稳定系数及离心沉淀率为目标值,对高压均质条件进行响应面优化,以期获得安全、绿色的果汁饮品,为黄桃果汁生产与研究提供理论支持和技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

黄桃 产地为江苏南京中原果园,品种为黄金蜜,采摘时间为9~10月份,个大饱满,肉质脆嫩,无腐烂,无病虫害;果胶酶 10万U/g,宁夏和氏璧生物技术有限公司。

T6 新世纪型紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司; DHR-1 流变仪 美国TA公司; ZFL8022 型胶体磨 台州卓凡电器制造有限公司; NanoGenizer 型高压均质机 苏州微流纳米生物技术有限公司; MJ-BL25B3 型榨汁机、C21-WT2116 型电磁炉 广东美的生活电器制造有限公司; 冷冻离心机 美国艾本德公司; 数字旋转粘度计 上海恒平科学仪器有限公司; 数显恒温水浴锅 金坛市富华仪器有限公司; 马尔文纳米粒度电位仪 英国 Malvern 公司; 光学显微镜 奥林巴斯(中国)有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程 挑选品质新鲜、无腐烂、色泽良好的九成熟黄桃,切半,去核,去皮;放入质量分数为0.8%,温度为90~95℃的氢氧化钠溶液中浸泡30~60s以腐蚀黄桃表皮;后将黄桃迅速放入喷淋池中在流动水中搓揉去皮、漂洗、冷却,并除去附着的碱液;再将漂洗后的黄桃进行修整,剔除伤烂斑点等不合格果块;最后将切瓣黄桃在沸水中(含0.1%柠檬酸和0.03%抗坏血酸)灭酶处理2min,取出冷却,用榨汁机破碎,加入一倍量的水、0.4%果胶酶^[19],与果汁充分混合,再用胶体磨充分细化1次,均质备用。

1.2.2 稳定系数的测定 稳定系数即离心后的浊度对离心前的浊度的比值。果汁的浑浊稳定性可用果汁经离心力作用后其吸光度值来衡量。稳定系数越大,表明果汁的浑浊稳定性越好。用去离子水调零做参照,分别将黄桃果汁样品(30mL)置于离心管

中,在5000r/min的转速下,离心15min,取出静置10min,用移液枪吸取稀释一倍后的上清液,在420nm波长处测定吸光度值^[2],按下列公式计算得到稳定系数。

稳定系数 = 离心后上清液吸光度值(Abs) / 原果汁吸光度值(Abs)

1.2.3 离心沉淀率的测定 将黄桃果汁样品(30mL)置于离心管中,在5000r/min的转速下,离心15min,取出静置10min,除去上清液,测量残余物质质量,并按下式计算离心沉淀率(WHC)。悬浮沉淀物越多,即沉淀率越高,黄桃果汁越不稳定^[21-24]。

沉淀率 = 沉淀质量(g) / 原果汁质量(g)

1.2.4 单因素实验设计 在前期实验的基础上,以黄桃汁的稳定系数和离心沉淀率为考察指标进行评价和分析,分别选取均质压力、均质温度、均质次数对实验影响较大的三个单因素,确定其最佳参数作为响应面分析因素。

1.2.4.1 均质压力对黄桃汁稳定性的影响 在均质温度35℃,均质次数为1次的条件下分别考察均质压力为0、10、20、30、40MPa时对黄桃汁稳定性的影响,按1.2.2和1.2.3方法测稳定系数和沉淀离心率,每组实验重复3次。

1.2.4.2 均质温度对黄桃汁稳定性的影响 在均质压力20MPa,均质次数为1次的条件下,设置均质温度为0、25、35、45、55℃测定黄桃汁的稳定性,按1.2.2和1.2.3方法测稳定系数和沉淀离心率,每组实验重复3次。

1.2.4.3 均质次数对黄桃汁稳定性的影响 在均质压力20MPa,均质温度为35℃的条件下,分别考察均质次数0、1、2、3、4、5次时对黄桃汁稳定性的影响,按1.2.2和1.2.3方法测稳定系数和沉淀离心率,每组实验重复3次。

1.2.5 响应面优化实验 在单因素实验的基础上,以黄桃果汁稳定系数和离心沉淀率为响应值,设计三因素三水平的响应面优化实验,各工艺参数如表1所示。

表1 响应面实验水平表

Table 1 Factors and levels in response surface design

因素	编码及水平		
	-1	0	1
A 高压均质压力(MPa)	10	20	30
B 高压均质温度(℃)	25	35	45
C 高压均质次数	1	2	3

1.2.6 粒径分布的测定 用纳米粒径分析仪器测定黄桃果汁粒径分布情况。开机后设定测定条件:折射率为1.590,温度为25℃,粘度为0.8872cP,介电常数为78.5,粒径范围为0.3nm~10μm。在室温下吸取优化后(均质压力30MPa,均质温度32℃,均质3次)的1mL黄桃果汁稀释500倍后置于样品池中,采用动态光散射法^[25-26]测定高压均质前后黄桃果汁粒径大小。

1.2.7 微观结构观察 用光学显微镜观察黄桃果汁微观结构的方法,以获得果汁直观清楚的结构图像,

实现对黄桃果汁微观结构简便快捷的观察与分析。调节校准显微镜物镜,将均质前和优化后的(均质压力 30 MPa,均质温度 32 ℃,均质 3 次)黄桃果汁样品稀释一倍后,在玻片中涂膜,晾干后,放置在显微镜载物台上,进行 10 × 显微镜观察,比较均质前后果汁颗粒大小与形态结构变化。

1.2.8 数据统计与分析 利用 Origin 8.6 与 Design-Expert 处理分析实验数据,实验均做 3 次平行,取平均值,结果以平均值 ± 标准差形式表示。

2 结果与讨论

2.1 高压均质对黄桃果汁稳定系数以及离心沉淀率的影响

2.1.1 均质压力对黄桃汁稳定系数和离心沉淀率的影响 不同均质压力下的稳定系数和离心沉淀率如图 1 所示。

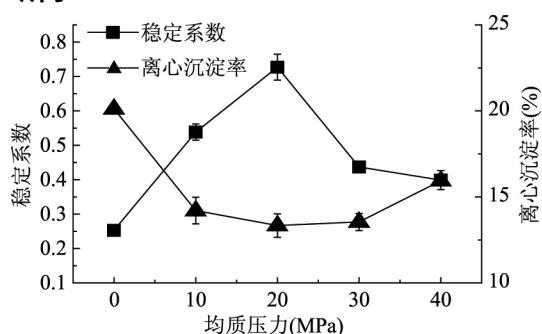


图 1 均质压力对黄桃果汁稳定系数和离心沉淀率的影响

Fig.1 Effects of homogenization pressure on the stability coefficient and centrifugal precipitation rate of yellow peach juice

由图 1 可知,果汁稳定系数随着均质压力的增加先增加后减小,离心沉淀率则随着均质压力的增加先减小后增大。0~20 MPa 时,由于均质压力增加,会使果汁受到剪切和撞击的作用,果肉颗粒变得越来越小,提高了果汁的悬浮稳定性;但 20 MPa 后果汁悬浮稳定性却呈现出下降的趋势,可能是因为均质压力不断增加,果汁中悬浮颗粒半径变小,表面积增大,布朗运动的速度加快,颗粒碰撞次数增多,从而使颗粒容易聚合,导致果汁粘度降低,果汁的悬浮稳定性降低^[27-28]。这与徐伟^[9]等人研究均质对毛酸浆果汁稳定性影响的结果一致。因此,根据上述分析结果及从稳定系数高、离心沉淀率较低角度考虑,实验中均质压力选择 10~30 MPa 为宜。

2.1.2 均质温度对黄桃汁稳定系数和离心沉淀率的影响 不同均质温度下的稳定系数和离心沉淀率如图 2 所示。

由图 2 可知,果汁稳定系数随着均质温度的升高先增加后减小,离心沉淀率随着均质温度的升高先减小后增大。0~35 ℃ 的温度下,由于均质温度升高,使黄桃中的果胶释放出来,果胶物质对果汁中残存的果肉等细小悬浮物起保护作用,还可以和蛋白质、酚类物质、细胞壁碎块等形成悬浮胶粒^[29],果汁粘度增加,提高了果汁的悬浮稳定性。但是,均质温度超过 35 ℃,稳定性下降,这可能是由于悬浮胶粒引起电荷中和,导致胶体凝集,而导致果汁粘度降

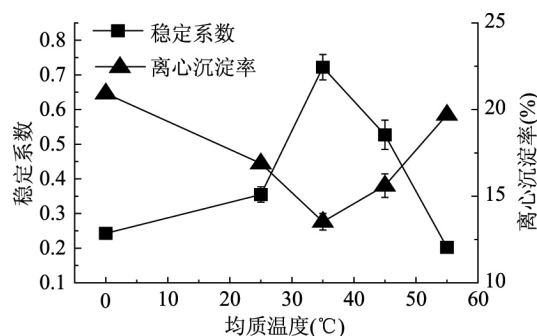


图 2 均质温度对黄桃果汁稳定系数和离心沉淀率的影响

Fig.2 Effects of homogenization temperature on the stability coefficient and centrifugal precipitation rate of yellow peach juice
低,使果汁浑浊^[30,31]。这与吴治海^[31]研究的胡萝卜、杏混合汁的悬浮稳定性结果相似。综合果汁稳定系数高,离心沉淀率低的角度考虑,将高压均质温度设定为 25~45 ℃ 可满足果汁加工要求。

2.1.3 均质次数对黄桃汁稳定系数和离心沉淀率的影响 不同均质次数下的稳定系数和离心沉淀率如图 3 所示。

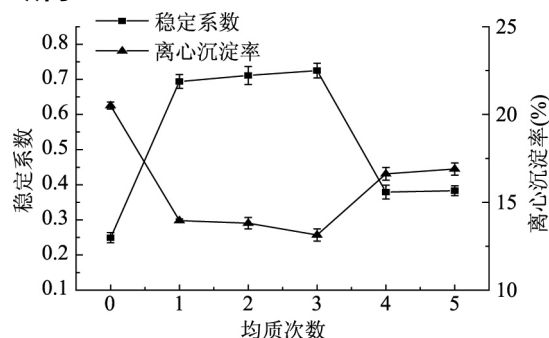


图 3 均质次数对黄桃果汁稳定系数和离心沉淀率的影响

Fig.3 Effect of homogenization times on the stability coefficient and centrifugal precipitation rate of yellow peach juice

由图 3 可知,果汁稳定系数随着均质次数的增加先增加后减小,离心沉淀率随着均质次数的增加先减小后增大。一定均质次数下,由于均质压力作用,会使果汁受到剪切和撞击的作用,果肉颗粒变得越来越小,粘度增加从而提高了果汁的悬浮稳定性。但是,均质次数超过 3 次时,均质次数的增加使果汁颗粒间摩擦力和剪切力作用增大,导致整体温度升高,黄桃颗粒粒径变小,表面积增大,颗粒之间的相互作用增强,从而使颗粒容易聚集,黄桃汁出现相分离^[32],果汁体系变得不稳定,果汁粘度降低,故果汁的稳定系数下降,离心沉淀率升高。实验结果与史垠垠^[33]对白果饮料稳定性研究的结果一致。根据果汁颗粒大小和果汁加工工艺要求,选择均质 1~3 次为之后的实验内容较为恰当。

2.2 响应面实验优化

2.2.1 响应面实验结果 根据 Box-Behnken 中心设计原理,在单因素实验基础上,以高压均质压力(A)、高压均质次数(B)、高压均质温度(C)三因素作为响应因素,黄桃果汁的离心沉淀率以及稳定系数作为响应值进行实验,实验结果如表 2。

表3 黄桃汁稳定性回归模型各项方差分析

Table 3 Variance analysis of stability regression model of yellow peach juice

方差来源	稳定系数				离心沉淀率			
	平方和	F 值	p 值	显著性	平方和	F 值	p 值	显著性
模型	0.47	206.21	<0.0001	**	126.36	148.26	<0.0001	**
A	0.099	388.41	<0.0001	**	18.51	195.42	<0.0001	**
B	0.014	54.91	0.0001	**	8.02	84.71	<0.0001	**
C	1.568E-003	6.14	0.0424	*	47.61	502.79	<0.0001	**
AB	4.290E-003	16.79	0.0046	**	16.89	178.41	<0.0001	**
AC	0.028	109.16	<0.0001	**	9.28	98.04	<0.0001	**
BC	0.014	53.58	0.0002	**	13.42	141.74	<0.0001	**
A ²	0.028	107.93	<0.0001	**	5.47	57.80	0.0001	**
B ²	0.096	375.39	<0.0001	**	0.10	1.10	0.3287	
C ²	0.16	631.00	<0.0001	**	6.15	64.91	<0.0001	**
残差	1.788E-003				0.66			
缺失项	1.231E-003	2.95	0.1618		0.53	5.16	0.0734	
纯误差	5.572E-004				0.14			
综合	0.48				127.02			

注: * 显著, $p < 0.05$; ** 极显著, $p < 0.01$ 。

表2 响应面实验的稳定系数及离心沉淀率的方案及结果

Table 2 The scheme and results of stability coefficient and centrifugal precipitation rate response surface test

实验号	A	B	C	稳定系数	离心沉淀率 (%)
1	1	1	0	0.589	11.834
2	0	-1	1	0.535	12.7408
3	0	0	0	0.778	17.4417
4	0	0	0	0.753	17.7237
5	0	0	0	0.767	17.6922
6	1	0	1	0.702	9.7715
7	1	-1	0	0.732	17.7894
8	-1	-1	0	0.425	16.4817
9	0	0	0	0.782	17.3505
10	-1	1	0	0.413	18.747
11	0	-1	-1	0.405	21.7095
12	0	1	1	0.328	14.2442
13	-1	0	-1	0.455	17.506
14	0	1	-1	0.432	15.8855
15	-1	0	1	0.331	16.0996
16	1	0	-1	0.492	17.2719
17	0	0	0	0.778	17.3452

2.2.2 回归模型建立及方差分析 利用 Design-Expert 软件对表2 数据进行逐步回归拟合, 所得回归方程如下:

稳定系数的回归方程: $Y = 0.77 + 0.11A - 0.042B + 0.014C - 0.033AB + 0.084AC - 0.058BC - 0.081A^2 - 0.1B^2 - 0.20C^2$

由表3 可知, 稳定系数回归方程模型的 $p < 0.0001$ (极显著), 缺失项不显著, $R^2 = 0.9962$ 表明回归方程充分拟合实验数据。A、B、C、AB、AC、BC、A²、B²、C² 的 p 值均小于 0.05, 说明均质压力、均质温度、均质次数以及其交互项和二次项均对稳定系数有显

著影响; 各因素的效应关系为均质压力 > 均质温度 > 均质次数。

离心沉淀率的回归方程: $Y(\%) = 17.51 - 1.5A - 1.00B - 2.44C - 2.06AB - 1.52A \times C + 1.83B \times C - 1.14A^2 - 0.16B^2 - 1.21C^2$

由表3 可知, 离心沉淀率模型的 $p < 0.0001$ (极显著), 缺失项不显著, $R^2 = 0.9948$ 表明回归方程充分拟合实验数据。A、B、C、AB、AC、BC、A²、B²、C², 均小于 0.05, 说明均质压力、均质温度、均质次数以及其交互项和二次项对离心沉淀率都有显著影响, B² 对结果影响不显著; 各因素的效应关系为均质次数 > 均质温度 > 均质压力。

2.2.3 响应面分析 由表3、表4 和回归方程可知, 均质压力、均质温度、均质次数均为影响黄桃果汁稳定性的主要因素; 各因素间交互项影响如图4、图5 所示, 图4 中, 均质压力与均质次数、均质温度与均质压力、均质温度与均质次数的等高线都很密集, 两两交互作用显著; 图5 中, 三个响应面图坡面均陡, 且有极值, 表明所有组交互作用均显著, 与方差分析表结果一致。

2.2.4 高压均质黄桃汁工艺的优化与验证 根据优化回归方程计算分析, 最优条件为高压均质压力 30 MPa, 均质温度 32.31 °C, 均质次数 2.93 次, 该条件所制备的黄桃汁稳定系数为 0.932, 离心沉淀率为 10.48%。将最佳条件调整为均质压力 30 MPa, 均质温度 32 °C, 均质次数 3 次, 此条件下进行验证实验, 得到的黄桃果汁稳定系数为 0.928, 离心沉淀率为 10.57%, 与理论值 0.932 和 10.48% 相近, 可见回归模型能很好地预测黄桃果汁的稳定性, 优化结果可靠。

2.3 黄桃果汁粒径分布的表征

微粒的粒径与果汁的稳定性并非呈简单的正比关系, 而是在某一粒径时稳定性最好, 也就是说, 在工艺上采用某一特定均质条件时, 对饮料的稳定性效果最好, 这可能是因为均质压力低, 蛋白质粒子过

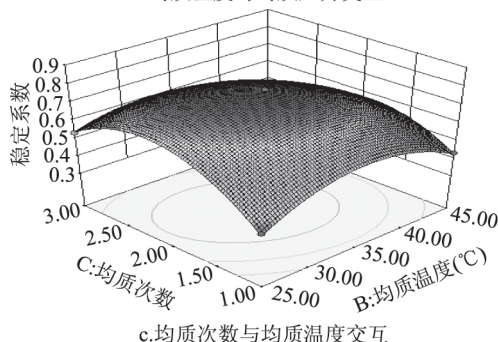
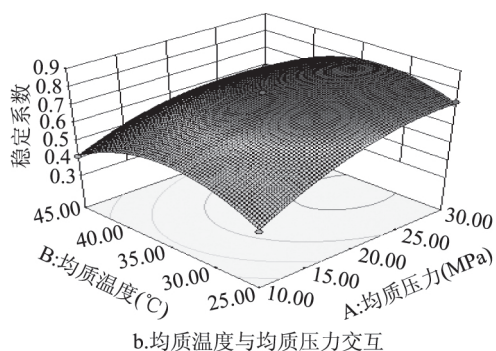
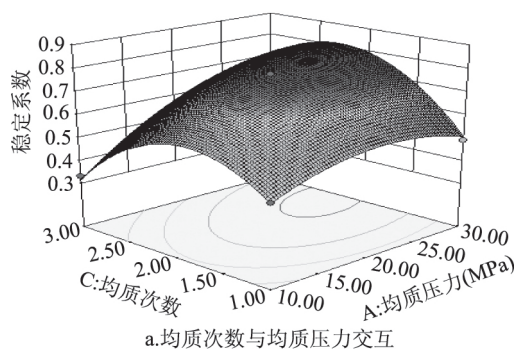


图4 各因素交互作用对黄桃汁稳定系数的影响

Fig.4 Effect of the interaction of various factors on the stability coefficient of peach juice

大,在溶液中易沉淀而不稳定;当均质压力过高时,蛋白质粒子过小,吸附作用增强而凝聚,也不稳定。其次,介质粒子越大,沉降速度也就越大;粒子越小,沉降速度也就越小。介质粒度过大而导致沉降速度变快也是破坏果汁稳定性的重要因素。均质前后黄桃果汁的粒径分布情况如图6所示。由图6可知,均质前后黄桃果汁粒径分布平均粒径分别为 $3.840\ \mu\text{m}$ 和 $0.722\ \mu\text{m}$,均质后颗粒平均粒径小于 $1\ \mu\text{m}$;结果与 Augusto^[3] 等报道的高压均质能够将番茄汁中完整细胞和细胞碎片破坏成更小的悬浮颗粒一致。

2.4 颗粒形态观察结果

高压均质对黄桃果汁显微结构的影响情况,如图7所示。从图7中可知,均质前黄桃颗粒为片状物、纤维、蛋白等大分子物质,均质后颗粒碎片明显变小变碎。这是因为均质有一个破碎的效应,对果肉颗粒破碎的效应,从而使颗粒变小。由于强大的压力,可以促使一些小颗粒团聚,团聚以后,小颗粒之间的范德华力保证了这些颗粒在降压后不被分开。均质处理的果肉饮料中,在果肉颗粒微粒化的过程中可以及时地使其与周围分散介质中的某些物质接触结合,或者使其中添加的稳定剂充分均匀的

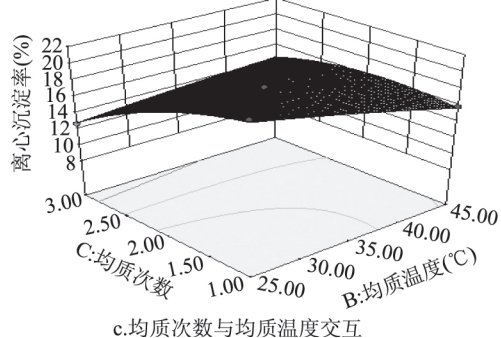
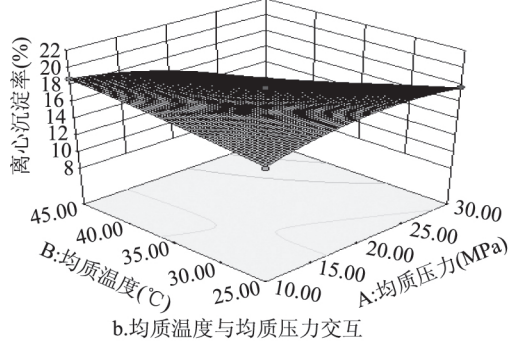
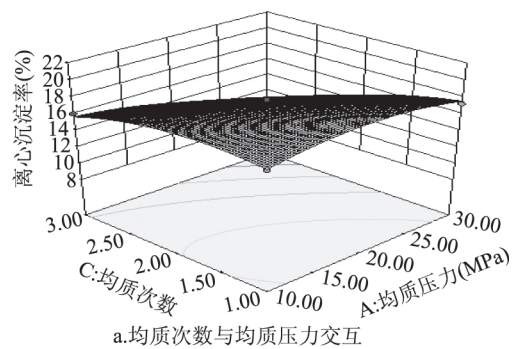


图5 各因素交互作用对黄桃果汁离心沉淀率的影响

Fig.5 Effect of interaction factors

on the centrifugal granulation of yellow peach juice

分散到整个物系中,从而形成更为稳定的饮料体系。这与前面粒径分析的结果一致,均说明高压均质后的黄桃果汁具有更好的稳定性。

3 结论

均质是一种纯物理的加工手段,能较好地破碎果肉果汁的颗粒,使细胞细化变小,提高果汁的稳定性,还能最大程度地保留果汁营养,对于非热加工冷藏黄桃果汁,尤为适用。实验通过对均质压力、温度、次数进行优化,得出当均质压力 $30\ \text{MPa}$,均质温度 $32\ ^\circ\text{C}$,均质3次时,制得的黄桃果汁稳定系数为 0.928 ,离心沉淀率为 10.57% ,与理论值相近,优化结果可靠。此外,从显微结构图与粒度分析可以看出,果汁果粒变小了,果汁平均粒径从均质前 $3.840\ \mu\text{m}$ 降至均质后 $0.722\ \mu\text{m}$,均质后细胞碎片明显增多、变小,也证明黄桃果汁稳定性得到提高。总之,采用响应面优化均质工艺,便于黄桃果汁加工过程中参数控制;同时均质作为一项果蔬汁加工技术,在提高果汁特别是热敏性果汁稳定性方面具有广泛的应用前景,且能减少化学稳定剂的使用,最大限度保证果汁(特别是热敏性果汁)天然风味和营养价值。

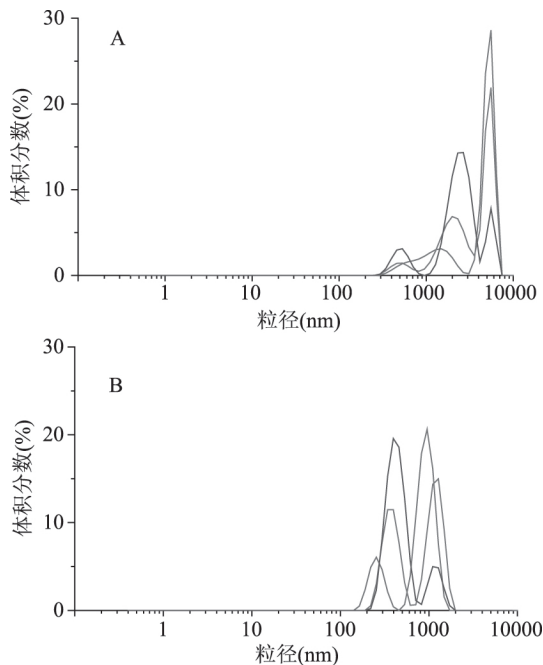


图6 均质前后黄桃汁的粒径分布

Fig.6 Particle size distribution of Peach juice before and after homogenization
注: A: 均质前, B: 均质后, 图7同。

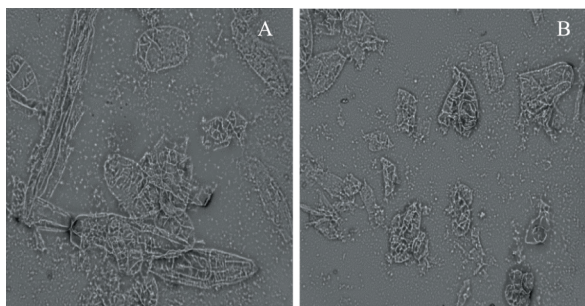


图7 黄桃果汁颗粒显微镜结构图(10×)

Fig.7 Structure of optical microscope(10×)

参考文献

- [1] 张璇, 孙娅, 王毓宁, 等. 不同品种黄桃的冰点温度及其影响因素分析[J]. 食品科学技术学报, 2013, 31(4): 37-41.
- [2] 袁洪燕, 单杨, 李高阳. 黄桃酶法去皮的技术研究[J]. 中国食品学报, 2010, 10(1): 151-155.
- [3] 王海廷. 黄桃生理基础[M]. 苏州: 苏州科学技术出版社, 2009: 62-63.
- [4] 徐伟, 王贵新. 均质对毛酸浆果汁稳定性的影响及其粒径形态表征[J]. 食品科学, 2016, 37(4): 68-72.
- [5] Genovese D B, Lozano J E. The effect of hydrocolloids on the stability and viscosity of cloudy apple juices[J]. Food Hydrocolloids, 2001, 15(1): 1-7.
- [6] Ibrahim G E, Hassan I M, Abdelrashid A M, et al. Effect of clouding agents on the quality of apple juice during storage[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(1): 91-97.
- [7] 麻成金, 黄群, 阳乐, 等. 沙田柚果汁饮料生产工艺及其稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(1): 137-139.
- [8] Lee W C, Yusof S, Hamid N S A, et al. Optimizing conditions

for enzymatic clarification of banana juice using response surface methodology(RSM)[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 73(1): 55-63.

[9] Sin H N, Yusof S, Hamid N S A, et al. Optimization of enzymatic clarification of sapodilla juice using response surface methodology[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 73(4): 313-319.

[10] Oboroceanu D, Wang L, Kroesnijboer A, et al. The effect of high pressure microfluidization on the structure and length distribution of whey protein fibrils[J]. International Dairy Journal, 2011, 21(10): 823-830.

[11] Kubo M T K, Augusto P E D, Cristianini M. Effect of high pressure homogenization(HPH) on the physical stability of tomato juice[J]. Food Research International, 2013, 51(1): 170-179.

[12] Panozzo A, Lemmens L, Van L A, et al. Microstructure and bioaccessibility of different carotenoid species as affected by high pressure homogenisation: a case study on differently coloured tomatoes[J]. Food Chemistry, 2013, 141(4): 4094-4100.

[13] Colle I, Buggenhout S V, Loey A V, et al. High pressure homogenization followed by thermal processing of tomato pulp: Influence on microstructure and lycopene *in vitro* bioaccessibility[J]. Food Research International, 2010, 43(8): 2193-2200.

[14] Knockaert G, Lemmens L, Buggenhout S V, et al. Changes in β -carotene bioaccessibility and concentration during processing of carrot puree[J]. Food Chemistry, 2012, 133(1): 60-67.

[15] Leite T S, Augusto P E D, Cristianini M. The use of high pressure homogenization(HPH) to reduce consistency of concentrated orange juice(COJ)[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2014, 26(1): 124-133.

[16] Carbonell J V, Navarro J L, Izquierdo L, et al. Influence of high pressure homogenization and pulp reduction on residual pectinmethylesterase activity, cloud stability and acceptability of Lane Late orange juice: A study to obtain high quality orange juice with extended shelf life[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 119(3): 696-700.

[17] 赵光远, 段倩, 常杨, 等. 亲水胶体及均质对枣油汁饮料稳定性的影响[J]. 食品与机械, 2013, 29(2): 18-21.

[18] 徐莉珍, 李远志, 杨楠. 高压均质对菠萝果肉果汁流变性及其显微结构影响的研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(5): 142-144.

[19] Sotomayor C, Norambuena P, Ruiz R. Boron dynamics related to fruit growth and seed production in kiwifruit (*Actinidia deliciosa*, cv. Hayward)[J]. Ciencia E Investigación Agraria, 2010, 37(1): 133-141.

[20] 钱慧碧, 李亚东, 辛秀兰, 等. 果胶酶提高越橘汁出汁率及稳定性研究[J]. 江苏农业科学, 2009(6): 346-349.

[21] Markowski J, Kłócek B, M Wojciak. Some factors affecting quality and stability of cloudy apple juice[J]. Fruit Processing, 1998(7): 277-282.

[22] Genovese D B, Elustondo M P, Lozano J E. Color and cloud stabilization in cloudy apple juice by steam heating during crushing[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(6): 1171-1175.

(下转第29页)

子机制,同时,玄参中其它未分离的成分是否有较好的降糖作用也需进一步的探讨。

3 结论

本实验对玄参 70% 乙醇提取物的化学成分进行了系统研究,从中分离得到 9 个化合物,分别鉴定为类叶升麻苷、升麻素苷、桃叶珊瑚苷、哈巴苷、蔗糖、肉桂酸、哈巴俄苷、安格洛苷 C、二十七烷。同时,采用人肝癌细胞 HepG2 建立了高糖细胞模型,分离的化合物对降糖的活性均具有不同程度的促进作用,且在 0.1~2.5 $\mu\text{g/mL}$ 浓度范围内,哈巴俄苷在 HepG2 细胞中降糖活性最好。其中,二十七烷为首次从该属植物中分离得到,哈巴俄苷是一个潜在的降糖化合物,值得进一步研究和开发。

参考文献

- [1] 张刘强,李医明.近 10 年玄参属植物化学成分和药理作用研究进展 [J].中草药,2011,42(11):2360-2368.
- [2] 谢小艳,夏春森.中药玄参的化学成分及药理研究进展 [J].亚太传统医药,2010,6(5):121-125.
- [3] 钱荣立.糖尿病临床指南 [M].北京医科大学出版社,2000.
- [4] 王芬,何华亮,刘铜华.抗糖尿病中药活性成分及其作用机制的研究进展 [J].时珍国医国药,2008,19(3):766-767.
- [5] 朱芸,刘金荣,张伟.降血糖药用植物资源概述 [J].中西医结合学报,2004,2(1):67-68.
- [6] Kim H M, Han S, Lee Y S, et al. Aldose reductase inhibitory activity of Scrophularia species [J]. Natural Product Sciences, 2010, 16(1): 54-57.
- [7] 张宁,李自辉,于卉,等.玄参及其各组分的降血糖作用 [J].中药药理与临床,2016,32(5):55-60.
- [8] 薛刚强,杜婧,潘新艳,等.玄参化学成分研究 [J].中药材,2014,37(9):1597-1599.

[9] 齐峰,邱昌龙,杨晓溪,等.加味桂枝人参汤对胰岛素抵抗 HepG2 细胞葡萄糖消耗量的影响 [J].中国中医基础医学杂志,2012,18(4):373-375.

[10] 苏瑾,焦钧,于莲,等.山药多糖对人肝癌 HepG2 细胞葡萄糖消耗能力及胰岛素抵抗的影响 [J].中国药房,2015,26(4):458-460.

[11] Zheng X K, Li Y J, Zhang L, et al. Antihyperglycemic activity of Selaginella tamariscina (Beauv.) Spring [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2011, 133(2): 531-537.

[12] Li L, Tsao R, Liu Z, et al. Isolation and purification of acteoside and isoacteoside from Plantago psyllium L. by high-speed counter-current chromatography [J]. Journal of Chromatography A, 2005, 1063(1-2): 161-169.

[13] 韩忠明,王云贺,韩梅,等.高速逆流色谱分离纯化防风中升麻素苷和 5-O-甲基维斯阿米醇苷 [J].分析化学,2009,37(11):1679-1682.

[14] 李发荣,杨建雄,李宝林,等.太白参中桃叶珊瑚苷的分离鉴定和提取工艺研究 [J].中草药,2003,34(9):802-803.

[15] 邹臣亭,杨秀伟.玄参中一个新的环烯醚萜糖苷化合物 [J].中草药,2000,31(4):241-243.

[16] 宋兆辉,王保德,巴杭,等.新疆芍药化学成分的研究 [J].中国中药杂志,2004,29(8):748-751.

[17] 姜守刚,蒋建勤,祖元刚.玄参的化学成分研究 [J].植物研究,2008,28(2):254-256.

[18] Tian J F, Ye X L, Shang Y H, et al. Preparative isolation and purification of harpagoside and angroside C from the root of Scrophularia ningpoensis Hemsley by high-speed counter-current chromatography [J]. Journal of Separation Science, 2012, 35(19): 2659-2664.

[19] 张良红.马蹄莲中烷烃的分离与结构鉴定 [J].怀化医学学报,2009,7(2):19-21.

(上接第 24 页)

[23] Rao P, Divakar S. Lipase catalyzed esterification of α -terpineol with various organic acids: application of the Plackett-Burman design [J]. Process Biochemistry, 2001, 36(11): 1125-1128.

[24] 刘思琪,郭成宇.均质工艺参数对全葡萄饮料稳定性的影响 [J].现代食品科技,2011,27(3):337-340.

[25] Dzakupasu R, Axelrod D. Dynamic light scattering microscopy. A novel optical technique to image submicroscopic motions. I: theory [J]. Biophysical Journal, 2004, 87(2): 1288-1297.

[26] Malloy A, Carr B. NanoParticle tracking analysis—the Halo™ System [J]. Mrs Online Proceeding Library, 2006, 23(952): 197-204.

[27] 杨诗斌,徐凯,张志森.高剪切及高压均质机理研究及其在食品工业中的应用 [J].粮油加工与食品机械,2002(4): 33-35.

[28] 王丽娜,马荣山,孙志健,等.均质工艺对苹果浊汁品质的影响 [J].食品工业科技,2006,27(4):79-81.

[29] Vanessamartins S, Anacarlakawazoe S, Geraldo B, et al. The effect of homogenisation on the stability of pineapple pulp [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 45(10): 2127-2133.

[30] Belleville M P, Williams P, Brillouet J M. A linear arabinan from a red wine [J]. Phytochemistry, 1993, 33(1): 227-229.

[31] 吴治海,蒲彪.胡萝卜、杏复合饮料研制及其稳定性 [J].食品工业,2006(2):8-10.

[32] 石瑞,史垠垠,曹福亮.均匀设计法优化浑浊型白果饮料中的复配稳定剂 [J].食品工业科技,2012,33(19):222-223.

[33] Augusto P E D, Ibarz A, Cristianini M. Effect of high pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of tomato juice: Creep and recovery behaviours [J]. Food Research International, 2013, 114(1): 57-63.