海棠汁的流变特性研究

丁仕强
（大连大学环境与化学工程学院，辽宁大连 116622）

摘要：采用 LVDV-III+型流变仪对不同温度、百利糖度下的海棠汁的流变特性进行研究，研究发现海棠汁随着剪切速率增大，表观粘度逐渐增大，剪切应力随之增大；同时随着剪切速率的逐渐增大，表观粘度大小的变化趋势较小但表现出较微的上升趋势。海棠汁流变特性符合胀塑性流体的基本特征，通过 Herschel-Bulkley 方程拟合，相关系数 R^2 都在 0.99 以上，并就方程中参数的变化进行了解释说明。

关键词：海棠汁；流变特性；Herschel-Bulkley 方程
文章篇号：1673-9078(2012)6-627-629

Study on Rheological Behavior of Begonia Juices

DING Shi-qiang
(College of Environment and Chemical Engineering, Dalian University, Dalian 116622, China)

Abstract: LVDV-III + type rheometer was used to study the rheological characteristics of crabapple juice at different temperatures and Gabriel sugar content. Results showed that the apparent viscosity and shear stress of crabapple juice increased with the increase of shear rate. Along with the increase of the shear rate, a slightly upward trends in apparent viscosity was found. Crabapple juice showed the basic fluid rheological properties of inflation plastic. Fittly the experimental curves with Herschel-Bulkley equation showed that the R^2 values was above 0.99.

Key words: begonia juices; rheological characteristics; Herschel-Bulkley equation

我国盛产海棠，果汁是果品加工的重要产品，因营养丰富，味道鲜美，易于吸收而备受青睐[1]，所以加工出营养美味的海棠汁就成为海棠加工业的重要课题。但是对于海棠汁的流变特性目前研究较少，因此海棠汁的流变学研究显得格外重要。研究海棠汁的流变特性对改进海棠汁及其它以海棠汁为中间产品的海棠制品的生产工艺，控制海棠汁品质，评价海棠优劣(尤其在感官上)，提高产品的稳定性等方面都具有重要意义。而且，为了便于贮存和运输，常将果蔬汁浓缩为高浓度的果蔬汁，在浓缩过程中，果蔬汁的流型及流变参数随温度、浓度、pH、压力、流体中的不溶物(属性、含量、尺寸等)等等[2-9]，其中最重要的影响因素是温度、浓度、离心速度、离心时间的变化规律对加工工艺的设计、设备的选型、物料运输中的能量损耗及产品质量控制都有影响意义。

1 材料与方法

收稿日期：2012-03-09
基金项目：大连大学创新教育基金资助（2011148）（辽宁省化工环保工程技术研究中心资助）
作者简介：丁仕强（1978-），男，硕士，实验师，从事食品流变特性的相关研究

1.1 材料与设备

市售新鲜海棠；LVDV-III 流变仪，美国博力飞公司；MP-13H恒温循环槽，上海一恒科学仪器有限公司；LD5-2A低速离心机北京医用离心机厂；WYT(0-80)手持糖量计，成都泰华光学有限公司；EL204电子天平，梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司；榨汁机、电炉、温度计、滤布、烧杯等。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程

海棠果→清洗→挑选→去皮→切分→榨汁→灭酶→冷却→过滤→离心→测量→数据处理

1.2.2 操作要点

1.2.2.1 灭酶

将榨出的海棠汁放在85 ℃水浴中加热5 min，使酶钝化。

1.2.2.2 冷却过滤

灭酶后用400目滤布过滤海棠汁。

1.2.2.3 离心

将不同百利糖度的海棠汁在5000 r/min转速下各自离心10 min。

1.2.2.4 测量

离心后，取澄清液，在不同温度和浓度下，利用

LVDV-III流变仪测定各样品的表观粘度；用折光仪测量浓度（百利糖度）。

1.2.3 数据处理

实验数据利用Origin 7.5和1stOpt处理得到。

2 结果与讨论

通过对浓度（百利糖度）分别为4、7、11 ºBrix的澄清海棠汁（低百利糖度澄清海棠汁由高百利糖度澄清海棠汁经去离子水稀释而成）在20、30、40、50、60、70、80、90 ℃八个不同温度下的表观粘度进行研究，考察了浓度（百利糖度）、温度对澄清海棠汁表观粘度的影响，结果经Herschel-Bulkley模型拟合。

2.1 百利糖度对澄清海棠汁粘度的影响

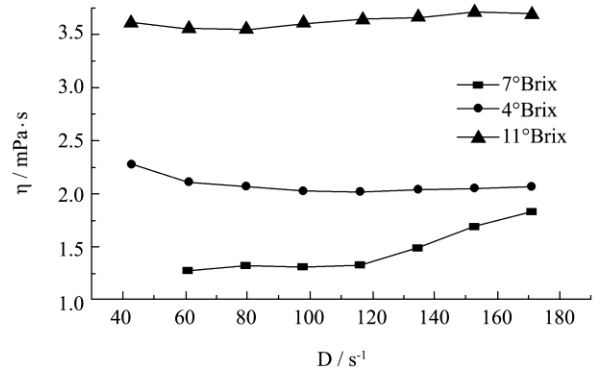


图 1 不同浓度下的 $\eta \sim D$ 关系

Fig.1 Effect of shear rate on the viscosity of crabapple juice at different Gabriel sugar contents

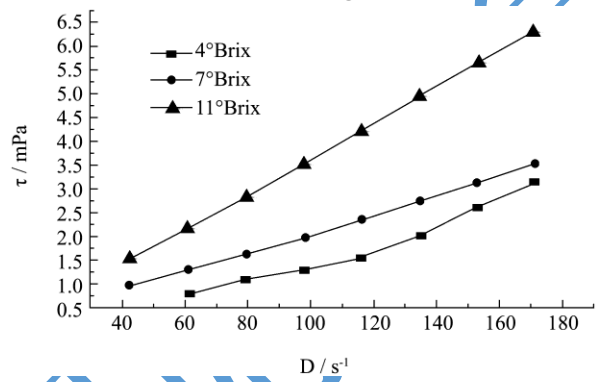


图 2 不同浓度下的 $\tau \sim D$ 关系

Fig.2 Effect of shear rate on the shear stress of crabapple juice at different Gabriel sugar contents

表 1 不同浓度下的 Herschel-Bulkley 模型参数

Tab.1 Herschel-Bulkley Multinomial results at different Gabriel sugar contents

浓度/(WT%,百利糖度)	τ_0/mPa	K/Pa·s^n	n	R^2
4º Brix	0.60037	0.00001	2.3032	0.997
7º Brix	0.40012	0.00593	1.11944	0.999
11º Brix	0.15248	0.02331	1.02512	0.999

图 1 为温度为 20 ℃、离心转速为 5000 r/min、离心时间为 10 min，不同浓度下的澄清海棠汁的表观粘度与剪切速率的实验结果，相对应的剪切应力与剪切速率的实验结果见图 2，经 Herschel-Bulkley 模型拟合后，各模型参数拟合值参见表 1。

从表 1 可以看出，随着剪切速率的增大各个百利糖下的剪切应力也随之增大，但各个曲线的上升趋势不同，在同一个剪切速率下，百利糖度越大，其初始剪切应力较大，随着剪切速率的逐渐增大，百利糖较高的剪切应力上升趋势也明显。从其剪切应力和剪切速率的变化曲线来看整体呈胀塑性流体的特征曲线。图 1 可以看出在同一剪切速率下浓度大的表观粘度也比较大，百利糖浓度为 7ºBrix 和 11ºBrix 时，其表观粘度大小的变化趋势较小但表现出较微的上升趋势。在百利糖浓度为 4ºBrix 是其表观粘度随着剪切速率的增大呈现出先下降后上升的趋势。总体呈上升趋势。从表 1 的 R^2 可以看出，在 Herschel-Bulkley 方程对海棠汁流变曲线的 R^2 在 0.999 以上，说明其拟合程度都已达到较高水平。从表 1 在不同百利糖下的 n 值都大于 1，上行线和下行线的 n 值可以看出，上行线的 n 值都小于下行线小，其上行线的 n 值和下行线的 n 值的比值小于 1.这说明海棠汁为非牛顿流体，且为胀塑性流体。从图中我们可以看到随着浓度的增加，稠度系数 k 也随之增大。屈服应力 τ_0 随着浓度的增加而减小。在同一浓度下上行线的 n 值小于下行线的 n 值。稠度系数 k 上行线的值和小于下行线的值，屈服应力 τ_0 上行线的值大于下行线的值。

2.2 温度对澄清海棠汁粘度的影响

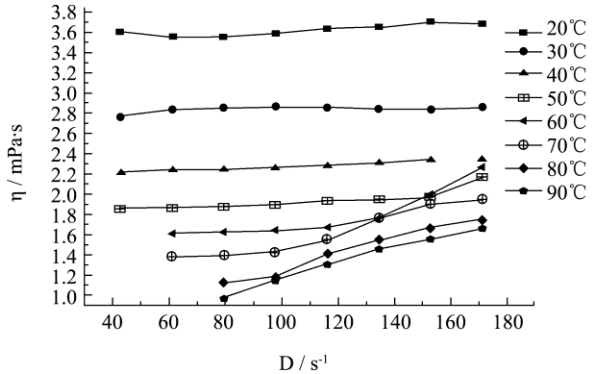


图 3 不同温度下的 $\eta \sim D$ 关系

Fig.3 Effect of shear rate on the viscosity of crabapple juice at different temperatures

图 3 为浓度为 11 ºBrix、、离心转速为 5000 r/min、离心时间为 10 min 不同温度下的澄清海棠汁的表观粘度与剪切速率的实验结果，相对应的剪切应力与剪切速率的实验结果见图 4，经 Herschel-Bulkley 模型拟合后，各模型参数拟合值参见表 2。

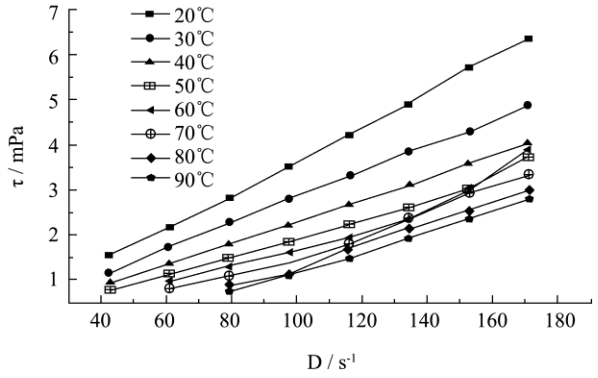


图 4 不同温度下的 $\tau \sim D$ 关系

Fig.4 Effect of shear rate on the shearstress of crabapple juice at different temperatures

表 2 不同温度下的 Herschel-Bulkley 模型参数

Table 2 Herschel-Bulkley Multinomial results at different temperatures

温度/℃	τ_0/mPa	K/Pa·s^n	n	R^2
20	0.07057	0.02404	1.01909	0.999
30	0.05938	0.01996	1.05986	0.999
40	0.04955	0.00944	1.10107	0.999
50	0.03562	0.00026	1.79675	0.993
60	0.03224	5.6465E-6	2.50564	0.995
70	0.03068	0.00001	2.40268	0.996
80	-1.09199	0.00862	1.19153	0.999
90	-0.23647	0.00078	1.60016	0.999

从图4可以看出在同一剪切速率下温度越低对应的剪切应力越大，随着剪切速率的逐渐增大，各个温度所对应的剪切应力也逐渐增大，曲线整体呈上升趋势，但温度越低曲线的上升趋势越明显。从图3可以看出在相同的剪切速率下温度低的表挂粘度较大，随着剪切速率的逐渐增大，温度在20~60 ℃时变化不是很明显，在70~80 ℃是随着剪切速率的增大曲线呈上升趋势，在剪切速率为100 s^{-1}是三条曲线基本重合。分析温度对表观粘度的影响不是很大，重要原因是海棠汁的初始浓度较低造成的。表观粘度的变化没有在该温度范围内表现出来。从表1的R^2可以看出，在Herschel-Bulkley方程对海棠汁流变曲线的R^2在0.99以上，说明其拟合程度都已达到较高水平。从整体来看n值都是大于1的，上行线n值和下行线n值的比值小于1，表现出的流体为胀塑性流体。稠度系K数随着温度的逐渐增大而减小，说明海棠汁的表观粘度随着温度的增加而逐渐增大，屈服应力τ_0整体呈现出随着温度

3 结论

3.1 通过在不同浓度（百利糖度）、温度、剪切速率的情况下，研究海棠汁的流变特性。研究发现：百利糖度对海棠汁流变影响，在不同百利糖下的拟合数据n值都大于1，这说明海棠汁为非牛顿流体，且为胀塑性流体，且曲线的随着百利糖浓度的变大增长趋势越大。

3.2 温度对海棠汁流变的影响，同一剪切速率下温度越低对应的剪切应力越大，随着剪切速率的逐渐增大，各个温度所对应的剪切应力也逐渐增大，曲线整体呈上升趋势，但温度越低曲线的上升趋势越明显。在相同的剪切速率下温度低的表观粘度较大且曲线呈上升趋势。从整体来看n值都是大于1的。

3.3 从拟合数据流态特性指数n值来看，所有n值都大于 1，且从不同的百利糖度、温度对海棠汁流变特性曲线图中可以看出，随着剪切速率的逐渐增大，海棠汁的剪切应力和表观粘度也随着增大，可以得出海棠汁的流变特性为非牛顿流体中的胀塑性流体。

参考文献

[1] 路福绥.果汁的流变特性研究[J].食品工业科技,1999,20(2):12-13

[2] 刘志东,郭本恒.食品流变学的研究进展[J].食品研究与开发,2006,27(11):211-215

[3] 赵正涛,李全阳,王秀菊,等.黄原胶和发酵剂对酸乳流变学特性的影响[J].乳业科学与技术,2009,2(135):67-70

[4] 段翰英,爱军,李远志.香蕉浆料流变学性质的研究[J].食品科学,2004,25(4):62-64

[5] 何进武,梁敏思,樊伟伟,等.澄清苹果汁的流变特性研究[J].食品工业科技,2008,29(3):133-135

[6] 阮美娟,王二利,单圣晔,等.真仙中茄调味酱流变特性研究[J].中国调品,2010,3(35):60-65

[7] 谢放华,李国龙.澄清水蜜桃汁的流变学特性研究[J].食品科学,2000,21(5):20-23

[8] 陈伟,陈萃仁,钱冬梅.温度、浓度对證清莴苣汁粘度的影响[J].现代食品科技,1992,8(4):13-15

[9] 张建俊,于淑娟,曾建成,等.糖对牛奶布丁流变性的影响[J].现代食品科技,2009,25(3):241-244,248