

果仁糖果用高质量分数糖浆的流变特性

张永丝¹, 李汴生^{1,*}, 阮 征¹, 庄沛锐², 陈楚锐²

(1.华南理工大学轻工与食品学院, 广东 广州 510640; 2.广东真美食品集团有限公司, 广东 潮州 515637)

摘 要: 采用R/S plus流变仪对不同质量分数(80%~92%)的果仁糖果用蔗糖-麦芽糖混合糖浆在不同温度下的流变特性进行研究。结果表明: 温度对黏度的影响可用阿累尼乌斯(Arrhenius)方程表示, 质量分数对黏度的影响可用幂函数的形式表示。通过回归分析, 给出在研究的温度和质量分数范围内黏度随温度、质量分数各自变化的函数式以及温度和质量分数对黏度的综合方程式。所建立的方程式能够成功地描述在相应质量分数和温度范围内的数据。

关键词: 糖浆; 流变特性; 黏度

Rheological Properties of the High Concentration Syrup Used for Nut-Candy

ZHANG Yong-si¹, LI Bian-sheng^{1,*}, RUAN Zheng¹, ZHUANG Pei-rui², CHEN Chu-rui²

(1.College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2.Guangdong Zhenmei Food Group Co. Ltd., Chaozhou 515637, China)

Abstract: The nut-candy, made from highly-concentrated syrup and nuts, is one kind of traditional Chinese candy food. The syrup with high concentrations plays a role in causing sweetness, cementing nuts and shaping. The cementing of nuts and shaping are influenced by the viscosity of syrup and governed by the law of viscosity variation. Using an R/S plus rheology meter, the rheological properties of mixed syrups of sucrose and maltose with different concentrations ranging from 80% to 92% used for nut-candy at different temperatures were investigated. Results showed that the Arrhenius model could describe the temperature-dependence of viscosity well and the power equation could describe the effect of concentration on viscosity. In the researched ranges of temperature and concentration, the equations for viscosity as a function of temperature and/or concentration were fitted through regression analysis. These equations could describe the data in the corresponding concentration and temperature ranges.

Key words: syrup; rheological properties; viscosity

中图分类号: TS205

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)03-0061-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201403013

果仁糖果是中国传统食品之一, 一般传统制法是用含有还原糖的糖浆与蔗糖按照一定比例复配熬煮成高质量分数的糖浆(也称糖膏), 然后加入适量的果仁拌匀、冷却、成型^[1-3]。高质量分数糖浆的作用主要是提供甜味、黏结果仁和成型, 黏结能力和成型效果受其黏度大小及变化规律的影响。蔗糖是糖果制作的重要甜味剂, 具有结晶性, 加入适量还原糖主要是抗结晶, 能防止糖浆发砂, 但过量则令制成的糖果易发痒; 此外, 加入还原糖还可增加糖浆的黏度及胶黏性等^[4]。研究表明, 普通硬糖生产中糖浆还原糖含量在12%~20%比较适宜^[5], 但关于果仁糖果用糖浆的还原糖含量及糖浆性质的研究未见报道。

果仁糖果用的糖浆应具备黏结果仁的能力, 故其黏度等流变特性是此类糖浆的重要属性。此外, 糖浆的流

变特性对果仁糖果加工过程中糖浆熬煮中的热交换及物料的输送、搅拌混合等都会产生影响^[6-7]。目前国内关于果仁糖果的研究主要集中在配方改良、新口味开发等几个方面^[8-10], 对糖浆的流变特性及其影响因素的研究几乎没有。国外对糖浆的研究主要集中于对糖浆的物理性质的研究及应用等方面, 而对于超高质量分数(85%及以上)糖浆在一般加工温度下(室温或更高的温度)的流变特性的研究是非常少的。Bhandari^[11]和Athina等^[12]分别对澳大利亚蜂蜜和希腊蜂蜜进行流变特性研究, 发现所研究的蜂蜜样品均为牛顿流体且可利用Arrhenius方程分别预测澳大利亚蜂蜜在0~30℃和希腊蜂蜜在20~60℃的黏度值, 为辨别掺假蜂蜜和贮藏蜂蜜提供数据支持。Alanazi^[13]通过与淀粉糖浆及蔗糖糖浆作对比, 分析了

收稿日期: 2012-11-21

基金项目: 粤港关键领域重点突破项目(2009A020700001)

作者简介: 张永丝(1988—), 女, 硕士研究生, 主要从事食品加工和保藏研究。E-mail: 348358365@qq.com

*通信作者: 李汴生(1962—), 男, 教授, 博士, 主要从事食品加工和保藏研究。E-mail: febsli@scut.edu.cn

海枣糖浆胶合重碳酸钠和碳酸钙的成颗粒性质,研究了海枣糖浆作为药片胶合剂的可行性。Quintás等^[14]利用低剪切应力对过饱和蔗糖糖浆(70%~85.2%)进行蠕变实验,结果表明Arrhenius模型能比较好地描述饱和以下的糖浆黏度与温度的关系;而在高质量分数状态下,Williams-Landel-Ferry(WLF)模型能更好地预测这两者的关系。Deumier等^[15]通过处理浓缩三元系统(NaCl-果糖-水)在10~25℃的热物理特征描述得到可用于描述热物理特性与溶液成分关系的经验方程。Bedi等^[16]利用多频超音波干涉仪对糖浆特性进行测定,研究了明胶、糖和柠檬酸水平对凝胶和糖浆流变特性的影响并推算明胶、蔗糖和柠檬酸不同水平对凝胶和糖浆特性的回归模型。

本实验以不同质量比的蔗糖与麦芽糖高质量分数(80%~92%)混合糖浆为研究对象,以其在拌仁、成型等加工操作时的温度范围(40~100℃)内的流变特性为衡量标准,主要研究温度、质量分数以及蔗糖与麦芽糖配比对其流变特性的影响,给出了黏度随温度和随质量分数变化的函数式以及温度和质量分数对黏度的综合方程式,旨在为果仁糖果的加工和制作提供一定的理论指导和实践参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

白砂糖:食品级,一级;高麦芽糖(98%):食品级,粉状;饴糖:食品级,一级,当量葡萄糖值(DE值)等于40,含量为85.75%。

1.2 仪器与设备

R/S plus流变分析仪、R/S plus 60/30桨式转子 美国Brookfield公司;Center306热电偶(带K型温度探头)台湾群特公司。

1.3 方法

1.3.1 蔗糖与麦芽糖混合糖浆的制备

相关文献[1-2]指出,当糖浆中蔗糖与饴糖的比例为25:3~1:1、糖浆糖度为45°Be左右即质量分数为85%~88%时制作出的花生糖块外形整齐,酥脆不黏牙。经预实验可进一步确定当糖浆中蔗糖和饴糖的干质量比分别为5:1、5:2、5:3且质量分数在86%~98%范围内较适合用于制作花生脆糖。由于饴糖为混合物,成分较为复杂,为了便于分析,本研究选择性质相似且成分简单的麦芽糖与蔗糖混合制备糖浆样品。按照蔗糖与麦芽糖干质量比分别为5:1、5:2、5:3的比例混合及纯麦芽糖配制成质量分数为70%的糖浆进行常压加热熬煮,浓缩至质量分数为80%、86%、92%,备用。质量分数为92%以上的糖浆黏度过大,受流变分析仪测量最大扭矩(50 mN·m)所限,本实验不对其进行黏度测定。

1.3.2 糖浆流变特性的测定

把约100℃的糖浆样品分别置于250 mL的高型烧杯中,自然冷却至40℃(环境温度为(28±1)℃),利用RS plus流变分析仪、60/30桨式转子,选择转速为40 min⁻¹的恒速剪切模式对冷却过程的各糖浆样品进行实时测定。

1.3.3 糖浆温度的测定

在流变测定过程中,利用Center306热电偶和K型温度探头实时记录处于自然冷却中的糖浆的中心温度。

1.3.4 糖浆质量分数测定

根据国标GB5009.3—2010《食品中水分的测定》,采用第二法减压干燥法测定各糖浆样品的水分含量,计算出其质量分数。

1.4 数据处理与分析

应用First Optimization(1stOpt)v1.5和Excel等软件对数据进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 温度对高质量分数糖浆黏度的影响

本研究发现实验中的各糖浆在实验温度范围内均表现为牛顿流体,与文献[14]报道结果相似。因此本研究选择恒速剪切模式(转速为40 min⁻¹)测定糖浆的流变特性。

图1~3分别是不同蔗糖与麦芽糖质量比的糖浆在质量分数为80%、86%、92%时的黏度随温度的变化趋势。

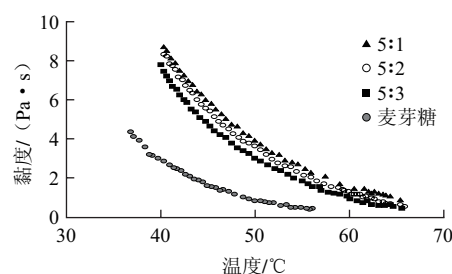


图1 不同蔗糖与麦芽糖质量比的糖浆在质量分数为80%时的黏度随温度的变化

Fig.1 Varieties in viscosity of syrup as a function of temperature at a concentration of 80% with different sucrose/maltose ratios

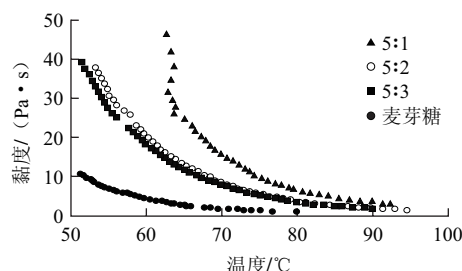


图2 不同蔗糖与麦芽糖质量比的糖浆在质量分数为86%时的黏度随温度的变化

Fig.2 Variations in viscosity of syrup as a function of temperature at a concentration of 86% with different sucrose/maltose ratios

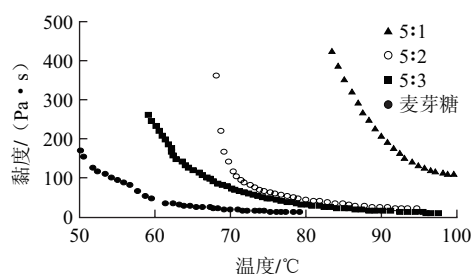


图3 不同蔗糖与麦芽糖质量比的糖浆在质量分数为92%时的黏度随温度的变化

Fig.3 Variations in viscosity of syrup as a function of temperature at a concentration of 92% with different sucrose/maltose ratios

由图1~3可知,随着温度的降低,糖浆的黏度逐渐增加。90℃以上时黏度增加不明显,70℃以下时黏度开始明显增加,50~70℃时黏度在相同温度差下的增加值是70~90℃时的10倍甚至更高,这种规律在质量分数为92%时的糖浆中表现得更为明显。而在相同的温度下,对于相同质量分数的糖浆,其麦芽糖的含量越大,黏度越低,这可能与麦芽糖具有抗结晶性有关。实验中发现蔗糖与麦芽糖质量比为5:1、质量分数为86%或92%的糖浆以及二者质量比为5:2、质量分数为92%的糖浆在流变测试中出现了不同程度的晶体析出现象,而实验中的其他糖浆均未发现晶体析出。

根据参考文献[17-20]报道,温度对浓缩果汁黏度的影响多用阿累尼乌斯(Arrhenius)方程来表示:

$$\eta = K_0 \exp(E_a/RT) \quad (2)$$

式中: η 为黏度/(Pa·s); K_0 为频率因子(常数); E_a 为流动活化能/(J/mol); R 为气体常数,8.315J/(K·mol); T 为温度/K。

对各糖浆的温度和黏度的关系进行Arrhenius方程拟合,表1为各糖浆的各参数值。

表1 各糖浆温度对黏度影响的Arrhenius方程表示式
Table 1 Arrhenius equation expressing the effect of temperature on the viscosity of each syrup

蔗糖与麦芽糖质量比	方程参数		相关系数(R^2)
	K_0	E_a/R	
80%	5:1	2×10^{-12}	0.996 8
	5:2	2×10^{-14}	0.990 2
	5:3	3×10^{-15}	0.986 1
	麦芽糖	7×10^{-17}	0.995 7
86%	5:1	7×10^{-13}	0.978 0
	5:2	4×10^{-12}	0.998 7
	5:3	4×10^{-12}	0.999 8
	麦芽糖	6×10^{-14}	0.995 0
92%	5:1	1×10^{-12}	0.981 0
	5:2	1×10^{-11}	0.882 4
	5:3	7×10^{-12}	0.991 7
	麦芽糖	2×10^{-13}	0.967 7

由表1可知,方程具有较高的相关系数,进一步统计得 R^2 的平均值为0.980 3,标准差为0.032 3。这表明Arrhenius方程同样适用于描述本实验中的所有糖浆样品的黏度与温度的关系。

在果仁糖果生产过程中,糖浆的黏度会影响与果仁的混合效果及果仁糖果的成型效果。对于某一高质量分数糖浆,温度较高时黏度小,流动性好,便于果仁等物料的混合与分散均匀,但是高温提高了工人的手动操作难度,同时会对物料的物化性质产生一定影响;黏度过小也不利于物料的固定成型。糖浆温度降低时,黏度越来越大,甚至失去液体的流动性,限制了物料混合及后续操作。前期实验表明,当蔗糖与麦芽糖质量比为5:2、质量分数为92%的糖浆在70~50℃时与果仁拌匀比较合适,而冷却成型则应在50℃以下。利用Arrhenius方程可计算出此糖浆在70℃和50℃时的黏度分别为107.6、689.5 Pa·s。

2.2 质量分数对糖浆黏度的影响

前期实验表明,当高质量分数糖浆的温度约为100、70、50℃时分别进行倒浆、拌入并拌匀果仁、冷却成型等操作比较合适。

根据表1中各糖浆的Arrhenius方程表示式计算、预测不同质量分数的糖浆在温度分别是100、70、50℃时的黏度,数据表明黏度随其质量分数的增加而增加。浓度对黏度的影响可用指数函数 $\eta = A_1 \exp(B_1 C)$ 或幂函数 $\eta = A_2 C^{B_2}$ 这两种数学模型来表示^[21-23],其中 A_1 、 B_1 、 A_2 、 B_2 均为常数, η 为黏度/(Pa·s), C 为糖浆质量分数/%。各糖浆质量分数和黏度的幂函数和指数函数回归参数如表2所示。

表2 各糖浆质量分数和黏度的指数函数和幂函数回归参数
Table 2 Parameters of each exponential function and power function for the relationship between syrup concentration and viscosity

蔗糖与麦芽糖质量比		$\eta = A_1 \exp(B_1 C)$			$\eta = A_2 C^{B_2}$		
		A_1	B_1	R^2	A_2	B_2	R^2
100 ℃	5:1	9×10^{-21}	0.545 6	0.984 0	1×10^{-90}	46.696	0.978 5
	5:2	2×10^{-18}	0.469 4	0.994 4	7×10^{-79}	40.337	0.997 0
	5:3	2×10^{-18}	0.464 0	0.976 7	3×10^{-78}	39.951	0.982 4
	麦芽糖	2×10^{-19}	0.475 3	0.9988 9	1×10^{-80}	40.817	0.999 8
70 ℃	5:1	1×10^{-21}	0.598 4	0.986 6	2×10^{-98}	51.227	0.981 6
	5:2	3×10^{-17}	0.465 0	0.998 2	4×10^{-77}	39.936	0.999 5
	5:3	1×10^{-16}	0.448 5	0.987 6	1×10^{-74}	38.586	0.991 7
	麦芽糖	1×10^{-17}	0.458 8	0.999 8	1×10^{-76}	39.357	0.998 9
50 ℃	5:1	2×10^{-22}	0.639 1	0.988 2	3×10^{-104}	54.715	0.983 4
	5:2	3×10^{-16}	0.461 7	0.997 7	1×10^{-75}	39.627	1.000 0
	5:3	2×10^{-15}	0.436 6	0.994 1	1×10^{-71}	37.535	0.996 8
	麦芽糖	3×10^{-16}	0.446 0	0.997 3	1×10^{-73}	38.234	0.994 9

由表2可知,指数函数模型中的 R^2 的平均值为0.992 1;而幂函数模型的 R^2 的平均值0.992 0,因而说明指数函数模型式和幂函数模型式均能反映出糖浆的黏度随质量分数的变化关系且前者更优。指数函数参数 A_1 、

B_1 的值均为正数，即各糖浆的质量分数越大其黏度越大。同时，对于同一蔗糖、麦芽糖质量比的糖浆，参数 A_1 的值基本是随着温度降低而成对数增加，这说明在温度较低条件下糖浆质量分数对其黏度的影响更明显。

当糖浆的质量分数较小时，黏度小，便于搅拌等操作，但难以黏结果仁等物料、难以固定成型，且制作出的产品较软、不脆且黏。由图1可知，把质量分数为80%的糖浆冷却至40℃，其黏度仍低于10 Pa·s，流动性较强，无法固定成型。当糖浆质量分数较大且达到一定程度时，其黏度大，使晶体的扩散速率小于沉积速率能降低结晶速率甚至防止结晶的发生^[24]；但是糖浆含水量过低给工艺过程中的最后浓缩阶段带来困难，在经济上也是不合理的，此外还对产品保存环境提出更高要求。因此，根据混合糖浆的性质、实际操作及产品感官等要求选择合适的浓度是非常必要的。

2.3 温度和质量分数对糖浆黏度的综合性影响

对于具体一种糖浆，其黏度主要受糖浆温度、糖浆质量分数的影响。根据国外文献[25-27]报道，糖浆黏度(η)可用式(3)、(4)来表达。

$$\eta = k_0 \exp(E_a/RT + bC) \tag{3}$$

$$\eta = k_0 C^b \exp(E_a/RT) \tag{4}$$

式中： k_0 、 b 均为常数； C 为糖浆质量分数/%； T 为温度/K。

利用1stOpt数据处理软件的准牛顿法和通用全局优化法联合对蔗糖与麦芽糖质量比分别是5:1、5:2、5:3的混合糖浆及麦芽糖糖浆的黏度、温度、质量分数三者的关系进行回归分析，得到更准确的模型。

蔗糖与麦芽糖质量比为5:1时， $\ln\eta = (P_1 + P_2C + P_3T + P_4T^2 + P_5T^3) / (1 + P_6C + P_7C^2 + P_8T + P_9T^2 + P_{10}T^3)$ ，蔗糖与麦芽糖质量比为5:2或5:3时， $\ln\eta = (P_1 + P_2C + P_3T + P_4C^2 + P_5T^2 + P_6CT) / (1 + P_7C + P_8T + P_9C^2 + P_{10}T^2 + P_{11}CT)$ ，只为麦芽糖时， $\ln\eta = (P_1 + P_2\ln C + P_3(\ln C)^2 + P_4(\ln C)^3 + P_5T + P_6T^2) / (1 + P_7\ln C + P_8T + P_9T^2 + P_{10}T^3)$ ，其中， P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 、 P_5 、 P_6 、 P_7 、 P_8 、 P_9 、 P_{10} 、 P_{11} 为常数参数。回归主要统计量和各参数值如表3所示。

为使糖浆具备较好的黏结果仁和成型的能力，应把糖浆黏度控制在合适的范围内。对黏度分别为11.3、24.5、50、75、107.6、278、689.5 Pa·s的糖浆进行实验，发现只有当黏度大于24.5 Pa·s时糖浆才能附着在花生仁表面不滑落，黏度大于75 Pa·s时糖浆才能把花生仁黏结成团，但当黏度大于689.5 Pa·s时则难以把糖浆与花生仁拌匀。利用以上回归分析所得的温度、质量分数对黏度的综合方程式可以计算出所需的糖浆质量分数及其对应的操作温度范围。

表3 糖浆黏度、温度和质量分数三者关系回归分析结果
Table 3 Regression analysis for the relationships among viscosity, temperature and concentration

项目	蔗糖与麦芽糖质量比			麦芽糖	
	5:1	5:2	5:3		
参数值	P_1	-26.610 4	$-5.814\ 6\times10^{15}$	$-8.915\ 8\times10^{12}$	105.244 4
	P_2	193.473 5	$-2.364\ 4\times10^{17}$	$-4.908\ 6\times10^{14}$	136.842 9
	P_3	-558.008 8	$-1.730\ 6\times10^{17}$	$-8.514\ 6\times10^{14}$	-86.235 7
	P_4	6.745 2	$4.656\ 8\times10^{15}$	$9.163\ 1\times10^{12}$	11.402 0
	P_5	-0.028 0	$1.000\ 7\times10^{15}$	$5.119\ 3\times10^{11}$	-0.209 8
	P_6	196.547 7	$-8.017\ 0\times10^{14}$	$6.238\ 8\times10^{12}$	$7.892\ 5\times10^{-4}$
	P_7	-1.247 2	$1.976\ 0\times10^{17}$	$3.325\ 0\times10^{14}$	1.488 9
	P_8	-292.691 3	$-2.388\ 9\times10^{17}$	$-4.880\ 4\times10^{14}$	-0.349 6
	P_9	3.815 5	$-2.238\ 0\times10^{15}$	$-3.553\ 8\times10^{12}$	$6.149\ 3\times10^{-3}$
	P_{10}	-0.016 1	$-2.692\ 2\times10^{14}$	$-1.566\ 3\times10^{11}$	$-3.490\ 8\times10^{-5}$
	P_{11}		$3.086\ 9\times10^{15}$	$5.906\ 3\times10^{12}$	
统计量	R^2	0.993 7	0.994 9	0.999 7	0.998 6
	判定系数	0.993 7	0.994 9	0.999 7	0.998 6
	误差均方根	0.114 5	0.096 4	0.023 5	0.061 2
	误差平均和	3.052 5	2.519 6	0.241 9	3.626 4

3 结 论

在剪切速率和糖浆质量分数一定的条件下，温度对糖浆黏度的影响符合阿累尼乌斯方程 $\eta = K_0 \exp(E_a/RT)$ ， R^2 的平均值为0.980 3，标准差为0.032 3。实际生产中应根据高质量分数糖浆的具体性质、操作需要，估算、控制糖浆的温度及冷却速率。

在剪切速率和温度一定的条件下黏度随糖浆质量分数的增加而增加，而且在温度较低条件下糖浆质量分数对其黏度的影响更为显著。指数函数模型式和幂函数模型式均能反映出糖浆的黏度随质量分数的变化关系且前者更优。

对于某一特定的糖浆，利用温度和质量分数对黏度的综合方程，通过对糖浆温度和质量分数的控制，可得到较为理想的糖浆黏度，为果仁糖果的加工提供理论参考。

参考文献：

[1] 李书国. 新型糖果加工工艺与配方[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2002.
[2] 余仲铭, 张亚玲. 孝感麻糖生产工艺及风味改进的研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(5): 159-160.
[3] 张文玉. 糖类制品[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2003.
[4] 尤新. 玉米深加工技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005: 67-75.
[5] 朱肇阳. 硬糖生产基本知识[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1977: 38-49.
[6] 李里特. 食品物性学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 20-24.
[7] 陈克复. 食品流变学及测量[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1989.
[8] 赵海珍. 枣泥花生软糖生产工艺[J]. 食品工业, 1991(5): 9-10.
[9] 谢全彪, 谢伟. 关于孝感麻糖的防粘结研究[J]. 食品科学, 1996, 17(1): 49-51.
[10] 鲁军, 陈海华. 花生凝胶软糖工艺研究[J]. 粮油食品科技, 2010, 18(2): 24-26.

- [11] BHANDARI B, D'ARCY B, CHOW S. Rheology of selected Australian honeys[J]. Journal of Food Engineering, 1999, 41(1): 65-68.
- [12] LAZARIDOU A, BILIADERIS C G, BACANDRITSOS N, et al. Composition, thermal and rheological behavior of selected Greek honeys[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 64(1): 9-21.
- [13] ALANAZI F K. Utilization of date syrup as a tablet binder, comparative study[J]. Saudi Pharmaceutical Journal, 2010, 18(2): 81-89.
- [14] QUINTÁS M, BRANDÃO T R S, SILVA C L M, et al. Rheology of supersaturated sucrose solutions[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(4): 844-852.
- [15] DEUMIER F, BOHUON P. Densities, viscosities and water activities of ternary NaCl-glucose syrup-water systems from 283.1 to 298.1 K[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 68(3): 377-383.
- [16] BEDI S S, JINDAL K, SINGH N. Elastic behavior of syrups[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 70(2): 183-188.
- [17] CHUN S Y, YOO B. Steady and dynamic shear rheological properties of sweet potato flour dispersions[J]. European Food Research and Technology, 2006, 223(3): 313-319.
- [18] 马家津, 李贤中, 莫述诚. 浓缩果汁的流动特性[J]. 北京轻工业学院学报, 1993, 11(1): 46-54.
- [19] CHIN N L, CHAN S M, YUSOF Y A, et al. Modelling of rheological behaviour of pummelo juice concentrates using master-curve[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 93(2): 134-140.
- [20] ARSLAN E, YENER M E, ESIN A. Rheological characterization of tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) blends[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 69(2): 167-172.
- [21] CEPEDA E, VILLARÁN M C. Density and viscosity of *Malus floribunda* juice as a function of concentration and temperature[J]. Journal of Food Engineering, 1999, 41(2): 103-107.
- [22] IBARZ A, GARVIN A, COSTA J. Rheological behaviour of sloe (*Prunus spinosa*) fruit juices[J]. Journal of Food Engineering, 1996, 27(4): 423-430.
- [23] GINER J, IBARZ A, GARZA S, et al. Rheology of clarified cherry juices[J]. Journal of Food Engineering, 1996, 30(1/2): 147-154.
- [24] 广东省糖纸食品工业公司. 糖膏煮炼与助晶[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1985: 28-30.
- [25] GERSCHENSON L N, ROJAS A M, MARANGONI A G. Effects of processing on kiwi fruit dynamic rheological behaviour and tissue structure[J]. Food Research International, 2001, 34(1): 1-6.
- [26] MACEIRAS R, ÁLVAREZ E, CANCELA M A. Rheological properties of fruit purees: effect of cooking[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(3): 763-769.
- [27] HAMINIUKA C W I, SIERAKOWSKIB M R, VIDAL J R M B, et al. Influence of temperature on the rheological behavior of whole araçá pulp (*Psidium cattleianum* sabine) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2006, 39(4): 427-431.