文章编号:1009-038X(2003)06-0039-03

半流质高能食品的流变学特性

段振华, 张慜, 汤坚
(江南大学 食品学院,江苏 无锡 214036)

摘 要: 半流质高能食品是一种特殊的食品,流变学性质是其质量评价体系中一个重要的方面,实验研究了样品在不同温度下的流变学特性. 当温度一定时,半流质高能食品的粘度随剪切速率的增大而降低,具有剪切稀化现象. 不同温度下的半流质高能食品的流变学模型不同:10～30 ℃时的流变学模型为 $y=mx^{n-1}$,而温度在 40～50 ℃时的流变学模型是 $y=A+m\ln(x)$. 比较了热处理前后样品的粘度随温度变化的规律,结果表明,热处理后的样品粘度曲线呈现平滑下降走势,而热处理前样品的粘度曲线会出现明显的波折.

关键词: 半流质高能食品;流变学特性;流变学模型
中图分类号:TS 201.4 **文献标识码**: A

Studies on the Rheological Properties of Semifluid High-Energy Food

DUAN Zhen-hua, ZHANG Min, TANG Jian
(School of Food Science and Technology, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China)

Abstract: Semifluid high-energy food(SHF) is a special food, and its rheological properties is one of the important quality parameters. The rheological properties of SHF at different temperatures (10 to 50℃) were evaluated using a computer controlled rheometer, Model AR1000 in this paper. Results showed that an increase in shear rate resulted in a decrease in apparent viscosity, suggesting non-Newtonian and a shear-thinning behavior at all temperature ranges studied. A power law equation $y=mx^{n-1}$ was found to fit the flow behavior of SHF at lower temperatures(10～30 ℃), but logarithmic equation $y=A+m\ln(x)$ fit that of SHF at higher temperatures(40～50 ℃). It was also found that the flow curves of SHF after heat treatment went down smoothly, but the flow behavior of SHF before heat treatment did not exhibit so.

Key words: semifluid high-energy;rheological properties;rheological model

---

半流质食品是介于固体与流质食品之间,外观呈半流体状态的一类食品,如稀饭、烂面、豆腐和肉糜等,具有易咀爵、易吞咽、易消化和易吸收等特点. 高能食品是指单位质量所含的能量(即能量密度)较高的一类食品,一般认为能量密度要达到 12.530 KJ/g,这是一种特殊用途的食品[1]. 由于高能食品所含的能量高,质量小,便于携带和贮运,特别适用于航空、探险、旅游和军用,还可用于受灾人员的营养和能量来源,因此吸引了人们从事高能食品的研究开发和生产. 半流质高能食品要求兼有两

收稿日期:2003-04-15; 修回日期:2003-06-12.
基金项目: 宁波市农业科技攻关项目资助课题(2000C10018).
万方数据
作者简介: 段振华(1965-),男,江西九江人,工程师,食品科学与工程博士研究生.

者的优点，给研究带来了许多难题，例如质地和能量密度要求之间的矛盾以及风味问题等. 正是由于这种原因，我们所见到的高能食品多为固体硬质食品. 所以，研究开发出一种半流质高能食品以满足特殊需要，是非常有意义的.

半流质高能食品是一种特殊的食品，其流变学性质是质量评价体系中重要的方面. 所谓半流质指的是食品品质中的质地属性，属于物理学中流变学研究的范畴. 流变学是力学的一个分支，是研究物质在力的作用下变形的科学. 食品流变学主要通过食品本身所具有的流变特性来鉴定它的质量，评价它的优劣[2]. 随着食品工业的发展，国内外对食品流变学的研究越来越重视[3~9]. 通过研究食品的流变学特性，可以了解食品的组成，内部结构和分子形态等，为产品配方、加工工艺、设备选型、质量检测和包装运输等提供方便和依据[4]. 作者采用 TA INSTRUMENT 公司生产的的 AR1000 型流变仪，对不同温度条件下的半流质高能食品的流变学特性进行了研究，旨在为产品的进一步开发研究提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 主要仪器

501 型超级恒温水浴器：上海实验仪器有限公司产品；FA1104 电子分析天平：上海天平厂产品；XHF-1 型高速分散器：上海金达生化仪器厂产品；YX. 280A 型不锈钢电热蒸汽消毒器：上海三申医疗器械有限公司产品；AR1000 型流变仪：英国 TA INSTRUMENT 公司产品.

1.2 试验材料

参照文献[1]，制备半流质高能食品，作为试验材料.

1.3 流变特性测定方法

采用英国 TA INSTRUMENT 公司出品的 AR1000 型流变仪对试验样品进行测定，选用 60 mm 1°不锈钢锥板，在不同温度(10，20，30，40，50 ℃)和不同的剪切速率($2\sim200\ s^{-1}$)条件下，研究样品的表观粘度和剪切应力的变化规律；采用 5 ℃/min的升温速率和 $10\ s^{-1}$的剪切速率，研究样品的粘度随温度变化的规律.

2 结果与讨论

2.1 剪切速率对粘度和剪切应力的影响

分别在 10，20，30，40，50 ℃的条件下，利用锥板式粘度计，测定样品粘度和剪切应力随剪切速率变化的关系. 锥板粘度计具有试样消耗少、测量结果准确、剪切速率处处相等的优点，因此得到广泛应用. 图 1 和图 2 分别给出了剪切速率的变化对样品粘度和剪切应力的影响结果. 可以看出，当温度一定时，样品的表观粘度随着剪切速率的增大而降低，流变曲线的斜率大体上是逐渐降低，说明所研究的半流质高能食品属于非牛顿流体，具有剪切稀化现象[5~7]，与由玉米、小米和高粱制成的半流质食物具有类似的特性[11]. 这种现象可以用分子缠结理论加以说明，在样品处于静止状态时，其中的分子链为无规则线团，彼此之间相互缠结，对流动产生很大的粘性阻力；当流体受到剪切应力的作用产生流动时，卷曲缠结的分子被拉直，从而表观粘度降低. 所研究的样品表现出剪切稀化现象，有利于食品加工，可以改进食品物料的泵送和灌注工艺，使能量消耗减少.

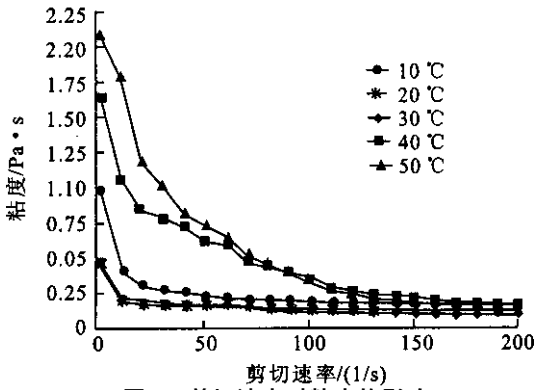


图 1 剪切速率对粘度的影响

Fig. 1 The effect of shear rates on viscosity

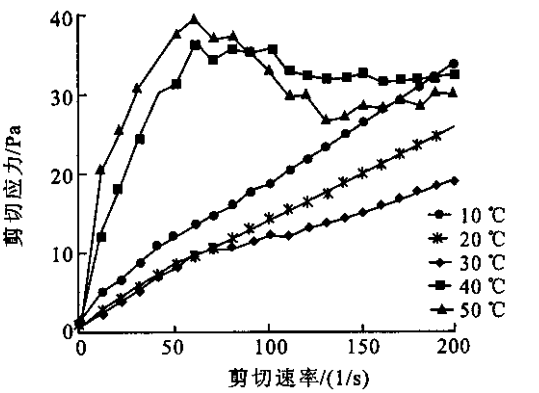


图 2 剪切速率与剪切应力的关系

Fig. 2 The relation of shear rates and stress

2.2 温度对高能食品粘度变化的影响

温度是影响流体流变特性的重要因素[5]，将热处理前后的样品分别放在流变仪上进行温度扫描，测定它们在 5～50 ℃范围内的粘度变化，结果见图 3. 图中分别表示热处理后和热处理前的样品，热处

万方数据

理条件为 121 ℃,25 min. 很明显,无论样品是否经过热处理,它们的粘度变化总趋势是一样的,即随着温度升高而下降. 但是,值得注意的是,热处理后的样品粘度曲线平滑下降,而热处理前的样品的粘度曲线出现明显的波折. 这是因为,热处理前的样品在升温过程中,一方面,分子热运动加快,分子间距离扩大,使分子间的粘滞阻力降低,从而引起表观粘度下降;另一方面,还存在着蛋白质、多糖等物质分子间和分子内的复杂化学反应,形成了分子之间的交联[8],因此导致粘度曲线出现局部波折现象;而热处理后的样品,已经经过升温引起复杂化学反应的阶段,因此粘度测定时的升温变化不会引起其曲线的明显波折,而是呈现平滑下降. Shaker 等[8]的研究结果表明,由于加热预处理引起蛋白质变性,从而对酸奶凝结过程中的粘度造成影响. 另外,分析图 1 中曲线的变化,可以发现一种特殊现象,当剪切速率固定时,从 10～30 ℃,粘度随着温度升高而降低,其中又以 10～20 ℃的变化显著,20 ℃和 30 ℃间的差异不大;而从 40 ℃升到 50 ℃时,粘度随着温度升高而升高. 说明在不同的温度变化区间,样品的粘度受影响的程度和性质不一样,这种现象与样品本身的组成有关.

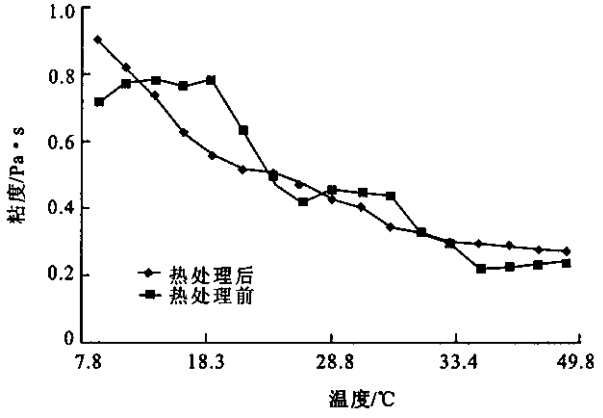


图 3　温度对表观粘度的影响

Fig. 3　The effect of temperature on viscosity

2.3　流变模型的确立

流体的流型可以通过研究其流变曲线的形状加以确定,而流变曲线又可以用一定的数学模型进行描述,数学模型是通过用数学语言表达问题,从而达到用数学工具解决问题的目的,具有渐近性、条理性、逼真性、可行性和可转移性等优点,因此得到人们的重视. 非牛顿流体的流变特性通常可以用以下数学模型来表达[5～7]:

幂函数:$y=mx^{n-1}$

Weltman 模型:$y=A+m\ln(x)$

Bingham 模型:$y=A+Bx$

使用上述不同的模型,对高能食品在温度改变时,粘度随剪切速率变化的规律分别进行模拟,通过计算机统计软件对有关数据进行回归分析,得出各模型流变参数以及判定系数,结果见表 1. 可以看出,没有哪一个模型能够完全适合所研究的样品,随着温度变化区间的不同而需要不同的数学模型来表达. 幂函数模型能够较好地描述温度较低的条件下(10～30℃)的流变学特性,其判定系数在 0.95～0.96 之间;对于温度较高(40～50℃)时的情况则不太适合,但此时 Weltman 模型就非常适合,判定系数高达 0.995 3;关于 Bingham 模型,则不适于分析所研究的样品. 幂函数 $y=mx^{n-1}$ 和 Bingham 模型 $y=A+Bx$ 常被用于描述剪切应力－剪切速率之间的关系[3,7～8],但幂函数也偶尔被用来反映粘度－剪切速率之间的关系[6]. 至于 Weltman 模型,则一直是用于反映粘度随时间变化的过程[7,10],在这里首次发现,能用来很好地描述较高温度下的粘度与剪切速率的变化过程.

表 1　不同温度条件下的流变学模型参数及判定系数

Tab. 1　Different rheological models parameters and determination coefficients of high energy food under various temperatures

温度/℃	模型	m	n	A	B	R^2
10	幂函数	1.1058	0.6424			0.9612
	Weltman	−0.1427		0.8562		0.8191
	Bingham			0.4177	−0.0017	0.3475
20	幂函数	0.4656	0.7444			0.9497
	Weltman	−0.0604		0.4228		0.8382
	Bingham			0.2397	−0.0007	0.3816
30	幂函数	0.5009	0.685			0.9544
	Weltman	−0.063		0.4101		0.8702
	Bingham			0.2264	−0.0008	0.471
40	幂函数	4.0966	0.4416			0.8702
	Weltman	−0.3259		1.8654		0.9953
	Bingham			0.9987	−0.0052	0.7585
50	幂函数	7.5687	0.3051			0.8589
	Weltman	−0.4761		2.5912		0.9665
	Bingham			1.3212	−0.0075	0.7277

3　结论

1) 在不同温度(10,20,30,40,50 ℃)和不同剪切速率(2～200 s^{-1})的条件下,粘度随着剪切速率的增大而降低. 研究样品属于非牛顿流体,具有剪切稀化现象.

(下转第 45 页)

万方数据

[2] 张伟国. L-脯氨酸产生菌的选育[J]. 无锡轻工大学学报,1996,15(1):44－48.
[3] 张伟国, 顾正华. L-脯氨酸发酵条件的研究[J]. 江苏食品与发酵,2000,(4):1－4.
[4] 方佩静, 毛维颖, 陈琦. L-脯氨酸发酵研究[J]. 微生物学报,1982,22(4):353－360.
[5] 易腊英, 陈士芬, 胡章助,等. L－脯氨酸发酵的研究[J]. 工业微生物,1987,17(3):11－16.
[6] Siegfried N, Lodwig, Clifford J Unkefer. Stereoselective synthesis of stable isotope-labelled L-α-amino acids: enantioselective synthesis of ^{13}C 、^{15}N-labelled L-proline using Oppolzer's glycine template[J]. **Labelled Compd Radiopharm**, 1998, 41(11):983－991.
[7] 潘家秀. 蛋白质化学研究技术[M]. 北京: 科学出版社,1973.
[8] 郑淑贞, 崔云春, 林慧贞,等. L-脯氨酸的纯化方法[P]. 中国专利:ZL 91100370.3,1992-08-05.
[9] 杜鸣,徐建华. 8 种常见吸附剂在蛋白质水解脱色过程中对氨基酸吸附影响的研究[J]. 氨基酸杂志, 1991,(1): 13－19.
[10] 何浩明. 用离子交换树脂分离、提纯 L-脯氨酸的研究[J]. 氨基酸杂志, 1984,(3):15－19.
[11] 施强, 桑立红, 王在震. 从骨胶中提取 L-羟脯氨酸和 L-脯氨酸[J]. 食品科学, 1998,19(10):26－29.

(责任编辑:李春丽)

(上接第 41 页)

2) 半流质高能食品具有不同于一般食品的流变学特性,不同温度下的半流质高能食品的流变学模型也不相同,10～30 ℃时的流变学模型为 $y=mx^{n-1}$;而温度在 40～50 ℃时,其流变学方程是 $y=A+m\ln(x)$.

3) 无论样品是否经过热处理,它们的粘度变化总趋势是一样的,即随着温度升高而下降. 但是,热处理后的样品粘度曲线呈现平滑下降走势,而热处理前的样品的粘度曲线会出现明显的波折.

参考文献:

[1] 段振华,张憋,郇延军,等. 半流质高能食品的工艺[J]. 无锡轻工大学学报,2002,22(2):148－151.
[2] 陈克复,卢晓江,金醇哲,等. 食品流变学及其测量[M]. 北京:轻工业出版社,1989.
[3] 路福绥,盛锋. 肥桃酱的流变特性研究[J]. 食品工业科技,1998,(4):4－5.
[4] 周宇英,唐伟强. 食品流变特性的研究进展[J]. 粮油加工与食品机械,2001,(8):7－9.
[5] Abdelrahim K A, Ramaswamy H S, Voort F R. Rheological properties of starch solutions under aseptic processing temperatures[J]. **Food Research International**,1995,28(5):473－480.
[6] Ibanoglu S, Ibanoglu E. Rheological properties of cooked tarhana, a cereal-based soup[J]. **Food Research International**, 1999,32(1):29－33.
[7] Al-malah K I , Azzam M O J, Abu-jdayil B. Effect of glucose concentration on the rheological properties of wheat-starch dispersions[J]. **Food Hydrocolloids**, 2000,(5):491－496.
[8] Shaker R R, Jumah R Y, Abu-jdayil B. Rheological properties of plain yogurt during coagulation process: impact of fat content and preheat treatment of milk[J]. **Journal of Food Engineering**, 2000,44:175－180.
[9] Haque A. Effect of fermentation temperature on the rheology of set and stirred yogurd[J]. **Food Hydrocolloids**, 2001, (4):593－602.
[10] Weltman R N. Breakdown of thixotropic structure as a function of time[J]. **Journal of Applied Physics**, 1943,14:343－350.
[11] Sopade P A , Kassum A L . Rheological characterisation of akamu, a semi-liquid food from maize, millet and sorghum[J]. **Journal of Cereal Science**, 1992,15:193－202.

(责任编辑:朱 明)

万方数据