

温度和糖度对橙汁热导率的影响

张 敏¹, 张雷杰¹, 张 杰²

(1 上海水产大学 食品学院, 上海 200090; 2 河南省气象局, 河南 郑州 450003)

[摘 要] 为了深入研究橙汁热导率的影响因素, 采用微热探针法测试系统, 对糖度为 5%~66%(质量分数)的橙汁在温度 0~50 ℃ 间的热导率进行了系统测试。结果表明, 对于同一糖度的橙汁, 其热导率与温度呈高度线性正相关, 而在同一温度条件下, 橙汁的热导率与其糖度呈高度线性负相关, 由此得出橙汁热导率关于温度和糖度的预测模型, 通过此模型可预测 0~50 ℃ 条件下不同糖度橙汁的热导率值。可见, 橙汁温度和糖度均是其热导率的影响因素。

[关键词] 橙汁; 热导率; 橙汁温度; 橙汁糖度

[中图分类号] TS275.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)12-0177-04

Influence of temperature and soluble solids concentration on thermal conductivity of orange juice

ZHANG Min¹, ZHANG Lei-jie¹, ZHANG Jie²

(1 College of Food Sciences, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

2 He'nan Meteorological Administration, Zhengzhou, He'nan 450003, China)

Abstract: In order to analyze the influence factor of thermal conductivity of juice, the tiny thermal probe test system was used to determine the thermal conductivity of orange juices with different soluble solids concentration (5%—66%) at different temperature (0—50 ℃). The results showed that there was a high negative correlation between soluble solids concentration and thermal conductivity at the same temperature while a high positive correlation between temperature and thermal conductivity of orange juice had same soluble solids concentration. Then the empirical prediction equation was obtained for predicting thermal conductivity of orange juice at different soluble solids concentration within 0—50 ℃. It could be concluded that thermal conductivity was influenced by both temperature and soluble solids concentration of orange juice.

Key words: orange juice; thermal conductivity; temperature of orange juice; soluble solids concentration of orange juice

果汁以其美味、营养、方便的特点, 在人们日常生活中占据着日益重要的地位^[1], 因此有必要对果汁的冷藏保鲜技术进行深入研究。果汁的热导率是果汁流通、加工、贮藏过程中的重要参数^[2], 也是冷库与制冷装置设计的重要依据。果汁的热导率取决于其化学组分与温度等因素^[3-4]。但目前这方面的

数据极为缺乏, 有关文献也大多是 20 世纪 50~60 年代发表的, 数据离散度很大^[5]。虽然有部分学者提供了一些冷加工食品热导率的计算模型^[6-8], 但是计算误差较大, 平均误差高达 8.08%, 难以有效地应用于生产实际。本文采用微热探针法测试系统, 对不同糖度的橙汁在不同温度下的热导率进行了系

* [收稿日期] 2006-12-13

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(30771245); 上海市重点学科建设项目(T1102); 上海水产大学博士科研启动基金资助项目(科 05-206)

[作者简介] 张 敏(1969—), 女, 河南郑州人, 副教授, 博士, 主要从事食品冷藏及生物传热研究。E-mail: zhangm@shfu.edu.cn

列测试,以建立相应的计算模型,减小通常用某一固定经验值估算的误差,为果汁在低温物流中最佳工艺参数的选择提供可靠依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为糖度 66%(质量分数)的真空浓缩橙汁(取自三门峡市金秋果业有限公司),分别用超高纯度水(电阻率 18.2(MΩ·cm))稀释得到 5%,10%,20%,30%,40%,50%,60%和 66%的橙汁试验样品,每个样品的糖度用 WAY 型阿贝折射仪(0~95%,准确度±0.1%)在 20℃恒温条件下测量^[9]。试验时将盛有 50 mL 待测样品的烧杯放入恒温箱(±0.5℃)中,稳定 20 min 后进行测试。

1.2 测试方法

橙汁热导率采用微热探针法测试系统^[10-11]测定,其试验装置如图 1 所示。

橙汁热导率的测量关系式^[11]为:

$$\lambda_m = -\frac{AU^3}{R_b^2} / \frac{d(\Delta V)}{d(\ln \tau)}。$$

式中: λ_m 为样品的热导率, A 为仪器常数, U 为电路输入电压, R_b 为初始热探针阻值, ΔV 为输出电压信号, τ 为加热时间。

在实际测量中,首先对热探针进行标定,将热探针直接插入标准样品(选用电阻率为 18.2(MΩ·cm)的超高纯度水),由 Fluke2640A 测试系统将采集到的输出电压信号 ΔV 以及加热时间 τ 输入计算机^[12],绘出 $\Delta V-\ln \tau$ 曲线,取线性段拟合进行回归分析,按相关度最大的原则求出斜率 $d(\Delta V)/d(\ln \tau)$,重复 8 次,求其平均值,将其值和稳压电源提供的电压值 U 以及热探针的初始电阻值 R_s 代入

式(1)中,得到仪器常数 A 值。然后按上述方法对纯水及各糖度橙汁在 0,10,20,30,40 和 50℃温度条件下的各参数值分别进行测试,依据 A 值求出 48 种样品的热导率 λ_m ,同一条件下平行测试 6 次,取平均值。

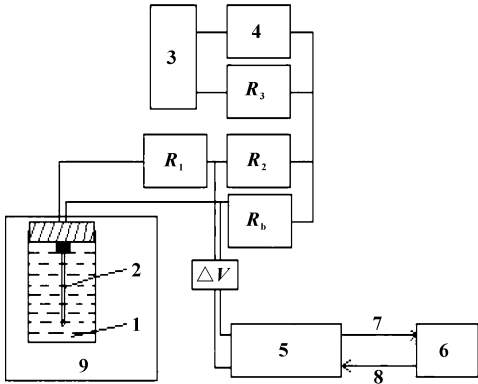


图 1 测量橙汁热导率的微热探针法测试系统示意图
1. 橙汁;2. 热探针;3. 稳压电源;4. 触发器;5. 数据测试系统;
6. 计算机;7. 采集;8. 控制;9. 可调恒温箱

Fig. 1 Schematic diagram of the thermal conductivity measurement of orange juice

- 1. Orange juice;2. Thermal probe;3. DC stabilized power supply;
- 4. Trigger;5. Data acquisition system;6. Computer;7. Gather;
- 8. Control;9. Adjustable constant temperature chamber

2 结果与分析

2.1 热探针仪器常数的标定

图 2、图 3 分别显示了 20℃下探针加热纯水时测试系统输出的电压信号变化值与时间 τ 和时间对数的变化曲线。从图 2 和图 3 可以看出,当时间 $\tau > 2$ s 后,电压变化值与时间的对数值呈现高度线性相关性,线性相关度 $R > 0.9999$ 。

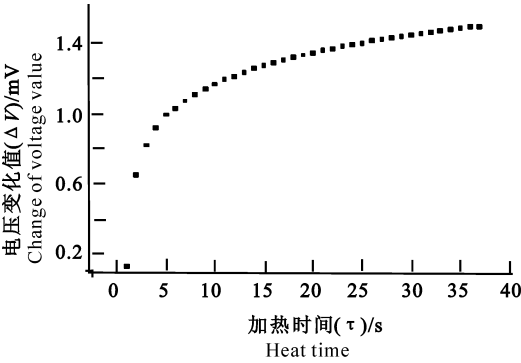


图 2 输出电压随时间的变化

Fig. 2 Changes of output voltage with heat time

从图 2 可以看出,整个测试过程加热时间较短

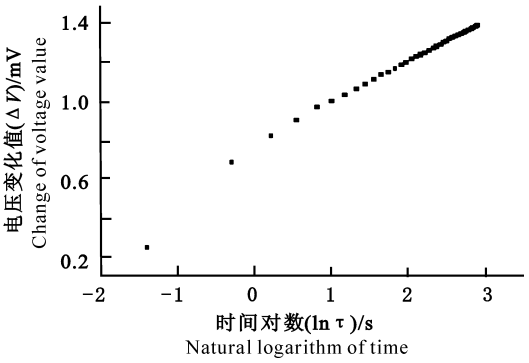


图 3 输出电压随时间对数的变化

Fig. 3 Changes of output voltage with natural logarithm of heat time

(小于 40 s),系统输出最大电压差 ΔV 较小(小于 2

mV),由此可根据文献[10]计算得到试样的温升较小(小于 2 ℃),这样就有效地克服了纯水自然对流对测试结果的影响,较准确地反映了试样所处实际状态的物性值。已知 20 ℃时纯水的导热系数为 0.598 W/(m·℃)^[13],求得 8 次 d(ΔV)/d(lnτ)的平均值后,代入式(1)得到 20 ℃时热探针的仪器常数标定值 A=0.036 8 Ω/(m·℃·s)。

2.2 橙汁糖度对橙汁热导率的影响

在 0,10,20,30,40 和 50 ℃温度条件下测得的橙汁热导率随橙汁糖度的变化关系如图 4 所示。由

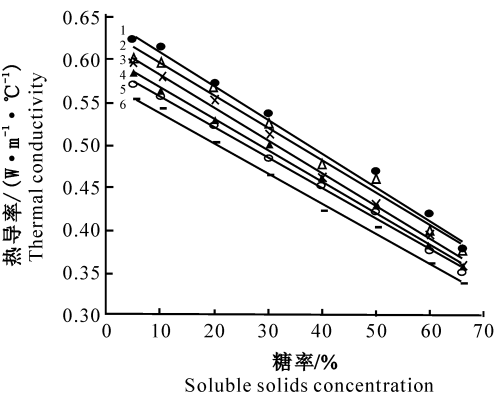


图 4 不同温度下橙汁热导率随橙汁糖度的变化
1~6. 温度分别为 50,40,30,20,10 和 0 ℃

Fig. 4 Change of thermal conductivity of orange juice with its soluble solids concentration at different temperature
1-6. Temperature is 50,40,30,20,10 and 0 ℃, respectively

图 4 可见,在同一温度水平下,橙汁糖度与热导率呈线性负相关关系。通过 Excel 进行线性回归分析,建立橙汁糖度与热导率之间的关联方程(见表 1),由 F 检验结果可知,6 个方程均具有高度显著性,用来表示同一温度下的橙汁热导率(λ)与橙汁糖度(s)的关系是合适的。

2.3 橙汁温度对橙汁热导率的影响

本次试验分别测试了 5%,10%,20%,30%,40%,50%,60%和 66%橙汁在 0~50 ℃温度条件下的热导率值,结果见图 5。

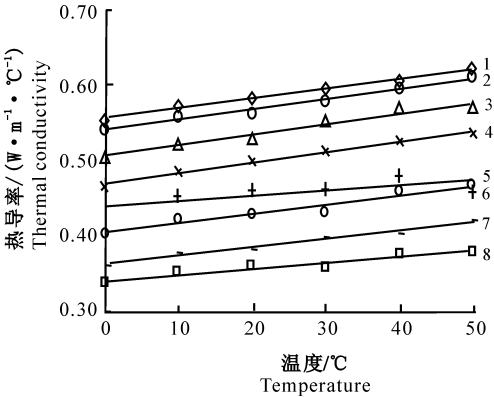


图 5 不同糖度的橙汁热导率随环境温度的变化
1~8. 糖度分别为 5%,10%,20%,30%,40%,50%,60%和 66%
Fig. 5 Change of thermal conductivity of orange juice with temperature at different soluble solids concentration
1-8. Soluble solids concentration is 5%,10%,20%,30%,40%,50%,60% and 66%, respectively

表 1 橙汁热导率(λ)与橙汁糖度(s)的回归方程及其方差分析

温度/℃ Temperature	回归方程 Regression equations	相关系数 Correlation coefficient	F 值 F value	F _{0.01}	显著性 Significance
0	$\lambda = -3.5 \times 10^{-3}s + 0.572\ 7$	0.973\ 3	1\ 802	13.74	* *
10	$\lambda = -3.6 \times 10^{-3}s + 0.592\ 6$	0.997\ 9	2\ 803	13.74	* *
20	$\lambda = -3.6 \times 10^{-3}s + 0.603\ 6$	0.996\ 3	1\ 629	13.74	* *
30	$\lambda = -3.8 \times 10^{-3}s + 0.620\ 3$	0.994\ 9	1\ 165	13.74	* *
40	$\lambda = -3.8 \times 10^{-3}s + 0.633\ 2$	0.987\ 1	460	13.74	* *
50	$\lambda = -3.9 \times 10^{-3}s + 0.646\ 2$	0.996\ 7	219	13.74	* *

由图 5 可见,在糖度相同的条件下,橙汁的热导率随温度的升高呈高度线性正相关关系。通过 Excel 进行线性回归分析,建立温度与热导率之间的关联方程(见表 2),由 F 检验结果可知,回归方程均具有高度显著性,可用其来预测相同糖度橙汁在不同温度下的热导率值。

2.4 橙汁温度和糖度对橙汁热导率的预测方程

双因素方差分析结果表明,橙汁温度和糖度都

显著影响橙汁的热导率(P>0.01),对实测数据使用 DPS 数据软件进行处理,可得到橙汁热导率 λ 关于温度 t 和糖度 s 的二元线性回归方程为:

$$\lambda = 0.52 + 1.1 \times 10^{-3}t - 3.7 \times 10^{-3}s$$

式中:λ 为果汁的热导率(W/(m·℃)),s 为果汁的糖度(%),t 为果汁的温度(℃)。

通过此方程可预测 0~50 ℃条件下不同糖度橙汁的热导率值。

表 2 橙汁热导率(λ)与温度(t)的回归方程及其方差分析

Table 2 Regression equations and variance analysis describing relations between temperature(t) and thermal conductivity(λ) of orange juice

橙汁糖度/% Orange juice soluble solids concentration	回归方程 Regression equations	相关系数 Correlation coefficient	F 值 F value	$F_{0.01}$	显著性 Significance
5	$\lambda=1.3\times10^{-3}t+0.555\ 9$	0.977\ 9	267	21.20	* *
10	$\lambda=1.4\times10^{-3}t+0.540\ 6$	0.981\ 1	312	21.20	* *
20	$\lambda=1.4\times10^{-3}t+0.50\ 5$	0.969\ 4	190	21.20	* *
30	$\lambda=1.4\times10^{-3}t+0.46\ 9$	0.988\ 3	509	21.20	* *
40	$\lambda=0.1\times10^{-3}t+0.437\ 4$	0.946\ 7	107	21.20	* *
50	$\lambda=1.3\times10^{-3}t+0.403\ 6$	0.943\ 4	100	21.20	* *
60	$\lambda=1.1\times10^{-3}t+0.363\ 2$	0.970\ 1	195	21.20	* *
66	$\lambda=0.8\times10^{-3}t+0.341\ 1$	0.954\ 8	123	21.20	* *

3 结 论

采用微热探针法测试系统对糖度为 5%~66% 的橙汁在 0~50 ℃ 的热导率进行了系统测试,结果表明,橙汁温度和糖度对其热导率均有显著影响,其中温度与热导率呈显著线性正相关,糖度与热导率呈显著线性负相关。根据试验结果得到了橙汁热导率关于温度和糖度的预测方程,在实际应用中,由于温度和果汁糖度这 2 个参数较易测得,因此很容易就可预测得到橙汁的热导率值,从而可以为果汁加工业提供可靠的理论和数据参考。

[参考文献]

[1] 胡小松,易 诚,宾冬梅. 我国的果蔬汁饮料加工现状及发展对策[J]. 中国果菜,2005(5):9-10.

[2] 李里特,赵朝辉. 21 世纪初我国果蔬保鲜与加工的发展方向[J]. 中国食品工业,2000,7(7):4-5.

[3] Lisowa H,Wujec M,Lis T. Influence of temperature and variety on the thermal properties[J]. Int Agrophysics,2002,16:43-52.

[4] Peacock S. Predicting physical properties of factory juices and syrups[J]. Int Sugar,1995,97:571.

[5] 华泽钊,李云飞,刘宝林. 食品冷冻冷藏原理与设备[M]. 北京:机械工业出版社,1999.

[6] Chen C S. Thermodynamic analysis of the freezing and thawing of foods; Enthalpy and apparent specific heat[J]. Journal of Food Science,1985,50:1158-1162.

[7] Liang X G,Zhang Y P,Ge X S. The measurement of thermal conductivities of solid fruits and vegetables[J]. Meas Sci Technol,1999,10:82-86.

[8] Levy F L. A modified Maxwell-Eucken equation for calculating the thermal conductivity of two component solutions of mixtures[J]. International Journal of Refrigeration,1981,4:222-225.

[9] 李家庆,张 平,张华云,等. 果蔬保鲜手册[M]. 北京:中国轻工业出版社,2004:83-89.

[10] Cheng S X,Jiang Y F,Liang X G. A tiny probe for measuring the thermal conductivities of non-rigid materials[J]. Meas Sci Tech,1994,5:1339-1344.

[11] 张 敏,赵惠忠,谢 晶,等. 果蔬热导率测试系统设计和试验[J]. 农业机械学报,2006,37(1):90-93.

[12] 美国福禄克公司. 新一代网络型大容量数据采集装置[J]. 国外电子测量技术,2002(3):44-45.

[13] 张海峰,程曙霞,何立群. 微探针法测量低温下生物材料导热系数研究[J]. 仪器仪表学报,2004,25(2):53-56.