

米粉、绿豆粉及黄豆粉的导热系数的实验研究

刘斌¹, 张团², 陈艳婕¹

天津商业大学制冷与空调工程系, 300134

大连冰山集团

摘要: 农产品深加工中涉及到产品众多的热物性, 其中导热系数是最重要的一个。通过对现有导热系数测量方法的分析, 采用了球法测量法。实验材料为大米粉、绿豆粉和黄豆粉, 含水率分别为 12.9%, 12.3%和 10.2%; 总糖含量分别为 72.4%, 62%和 34.2%; 蛋白质的含量分别为 0.9%, 21.6%和 35%, 实验测量温度在 20℃~65℃。最后通过对实验数据分析, 回归了导热系数与温度、含水率、总糖和蛋白质之间的关系, 实验结果表明对于这 3 类物质, 大米及绿豆的导热系数随着温度升高而降低, 黄豆导热系数随温增加而增加, 但是都随各种营养成分的增加而增加。

关键词: 园艺学, 球法测量技术, 导热系数

Experimental studies of conductivity of powder of Rice, Mung bean and Soybean

Liu bin, Zhang Chuang, Chen Yanjie

Dept. of Refrigeration and HVAC, Tianjin University of Commerce, 300134

Daling Binshan Ltd.

Abstract: The horticulture products process involves many thermal properties, among which the conductivity is one of the most important. Based on the analysis of the present methods of measuring, the spherical measuring technology was adopted. The experimental materials were powder of rice, mung bean and soybean with the water rate of 12.9%, 12.3% and 10.2%, the total sugar rate of 72.4%, 62% and 34.25%, and the protein rate of 0.9%, 21.6% and 35%. The measuring temperature range was from 20℃ to 65℃. At last the equation between the conductivity and the temperature and the equation between the conductivity and the nutrition content were obtained by regressing the experimental data. The results show that as for the three experimental materials, the conductivity of rice and mung bean decrease with the increasing of temperature, the conductivity of soybean increase with the temperature, and all of them increase with the increasing of the nutrition beside the water.

Key words: horticulture, spherical measuring technology, conductivity

1. 绪论

农产品的深加工过程涉及到多种热处理过程, 如干燥、冷却等, 在这些过程中, 它们的导热系数决定着整个工艺过程时间, 因此对生物组织导热系数的研究一直是学科的研究热点, 国内外的学者开展了一系列的研究。这些内容包括生物组织的成分对导热系数的影响^[1~3]、处理工艺对导热系数的影响^[4~6]、测量导热系数的方法^[7~9]等。这些研究为进一步探讨生物组织的导热系数奠定了很好的基础。但是随着加工技术的发展, 现有研究数据并不能提供足够的支撑, 例如米粉加工, 绿豆糕的加工。在本文中, 则是通过球形法对大米、绿豆和黄豆 3 种种子的当量导热系数进行了测量, 并在考虑这 3 种物料组分的因素基础上, 拟合了导热系数与温度、水分、总糖含量和蛋白质的实验关联式, 扩展了种子导热系数的研究。

2. 基本原理

圆球法测材料导热系数是基于等厚度球状壁的一维稳态导热过程，它特别适用于粒状松散材料，对本研究中所涉及到的各种物料适用。当内环内的加热量一定，随着时间的延长，热量通过被测材料的导热过程，将热量传递给外环。当由内环传递的热量将与通过外环表面传递给周围空气的热量相等时，这时外环表面温度将保持不变，整个传热过程被认为是稳态传热，由此可以计算物料的导热系数。整个结构原理如图 1 所示。



图 1-1 YQF-1 型圆球导热系数测定仪
Fig.1-1 YQF-1 type thermal conductivity spheroid instrument

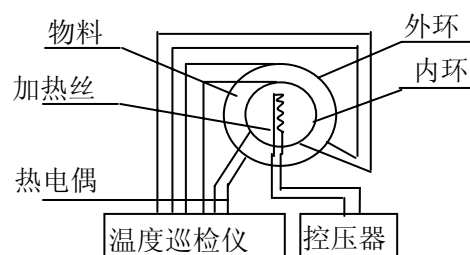


图 1-2 球形法测量示意图
Fig 1-2 Diagram of Spherical Measuring Technology

根据球面的导热定律，当达到热稳定时，传热量可以用式(1)进行表示：

$$Q = \frac{2\pi\lambda \times (T_{in} - T_{out})}{\frac{1}{d_{in}} - \frac{1}{d_{out}}} \quad (1)$$

式中 Q 为加热量 (W); λ 物料的导热系数(W/m·°C); T_{in} 为球内壁温度(°C)，为 T4、T5 和 T6 的平均值; T_{out} 为球外壁温度(°C)，为 T1、T2 和 T3 的平均值; d_{in} 为球内径(m); d_{out} 为球外径(m)。

通过对式(1)的改写，可以得到式(2)：

$$\lambda = \frac{Q \times \left(\frac{1}{d_{in}} - \frac{1}{d_{out}} \right)}{2\pi \times (T_{in} - T_{out})} \quad (2)$$

在测量过程中可以改变测量电流和电压，由式(3)可以得到加热量 Q ：

$$Q = U \times I \quad (3)$$

式中 U 为电压(V); I 为电流(A)。

3. 实验研究

3.1 实验材料

本实验所用材料的物理属性如表 1 所示。

表 1: 实验材料物性表

Table1: component ratio of experimental materials

| 材料 | 含水率 (%) | 蛋白质比例 (%) | 碳水化合物比例 (%) | 粒径 (μm) | 密度 (kg/m ³) |
|----|---------|-----------|-------------|---------|-------------------------|
| 大米 | 13.1 | 10.08 | 72 | 140 | 667 |
| 绿豆 | 9.78 | 22 | 62 | 114 | 615 |
| 黄豆 | 8.48 | 34 | 34 | 15 | 657 |

表 1 中材料的营养成份是按照国家有关标准用滴定法进行测量，水含量用红外水份测定仪不(MA-50C)测量，粒径用激光粒度测定仪测量，图 2 和图 3 分别显示了水分测定时水分变化过程和激光粒度测定仪粒径分布柱状图。

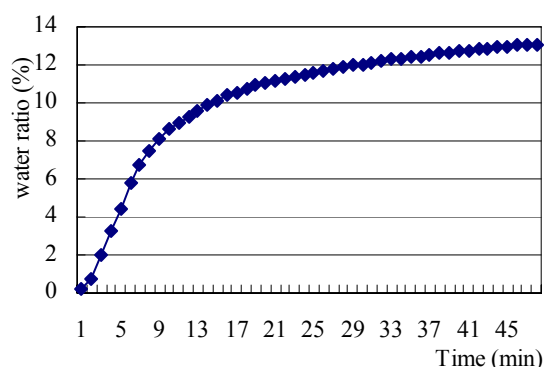


图 2 大米含水率测定曲线
Fig.2 Curve of water ratio

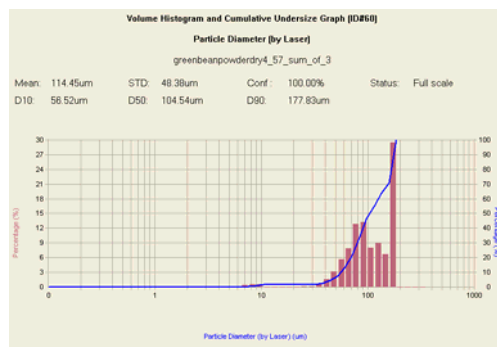


图 3 绿豆粉直径分布图
Fig3. Diameter distribution of mung bean

3.2 实验结果及分析

图 4 至图 6 分别为大米、黄豆及绿豆粉的导热系数随温度的变化曲线。

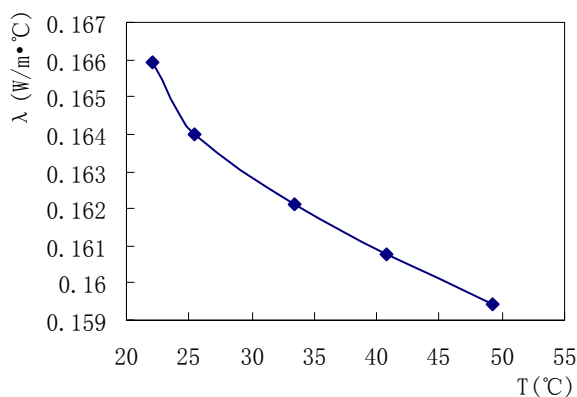


图 4 大米导热系数随温度变化曲线
Fig.4 Curve of conductivity of rice vs. temperature

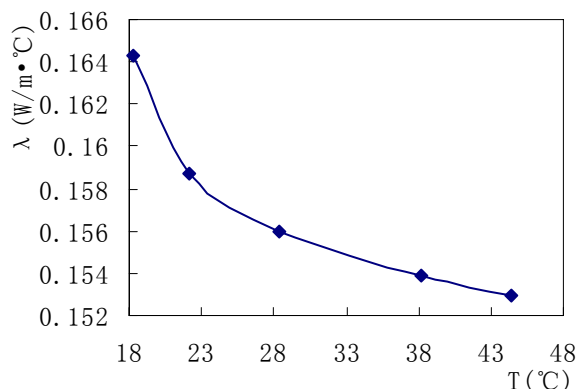


图 5 绿豆导热系数随温度变化曲线
Fig.5 Curve of conductivity of mung bean vs. temperature

从图4和图5可以看出，对大米和绿豆而言，他们的导热系数随着温度的增加而降低，而对黄豆而言，它的导热系数随着温度的增加而上升；并且在这个变化过程中，变化率随着温度的升高而减少。下面分别以大米和黄豆进行说明。大米温度为22°C、25°C及33°C时，导热系数分别为0.166 (W/m·°C)、0.164 (W/m·°C)及0.162 (W/m·°C)，导热系数变化率分别为0.000555及0.000241。黄豆温度为30°C、35°C及43°C时，导热系数分别为0.154 (W/m·°C)、0.157 (W/m·°C)及0.158 (W/m·°C)，导热系数变化率分别为0.000668及0.000131。

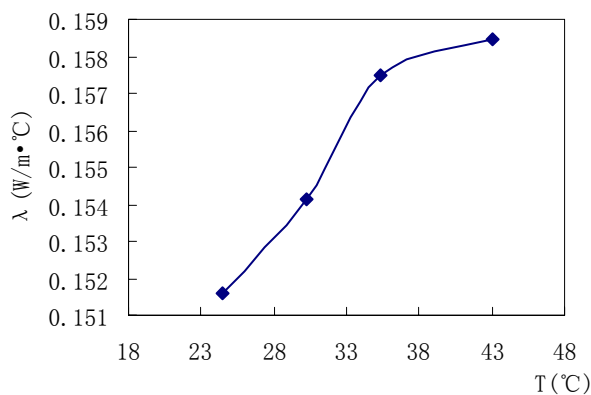


图 6 黄豆导热系数随温度变化曲线
Fig.6 Curve of conductivity of mung bean vs. temperature

按照Sweat论文中的观点^[10]，在决定食品导热系数的因素中，水分为最重要的因素，一般而言，导热系数随着含水率的增加而增加，同时导热系数也随着其它成分的增加而增加，如脂肪，蛋白质及碳水化合物，它们之间的影响关系如式(4)^[10]：

$$\lambda = 0.58x_w + 0.155x_p + 0.25x_c + 0.16x_f + 0.135x_a \quad (4)$$

式中 x_w 为水分比例， x_p 为蛋白质比例， x_c 为碳水化合物比例， x_f 为脂肪比例， x_a 为灰分比例。

从式(4)中可以看出，它认为导热系数会随着所有的成分增加而增加，本次实验结果与此是相近的，式(5)表达了本研究中平均导热系数与成分的关联性。

$$\lambda = 0.83x_w + 0.21x_p + 0.045x_c \quad (5)$$

比较式(4)和式(5)，可以发现，结果发现主要区别是在于碳水化合物的比例不同，这主要是与所选择的实验材料有关，在本次实验中的材料主要成分为碳水化合物，其它成分相对较少。

对于这3种实验材料而言，它们的导热系数与温度之间的关系是不一样的。在实验中为保证成分不随温度变化而变性，所的实验温度都控制在50℃以内。式(6)至(8)回归了这3种材料导热系数与温度之间的关系。

$$\text{大米: } \lambda = -0.0002 \times t + 0.1702, \quad R^2 = 0.9558 \quad (6)$$

$$\text{绿豆: } \lambda = -0.0004 \times t + 0.1687, \quad R^2 = 0.8276; \quad (7)$$

$$\text{黄豆: } \lambda = 0.0004 \times t + 0.1426, \quad R^2 = 0.9233 \quad (8)$$

式中 t 为实验测量时温度(℃)，温度范围为20℃至50℃。

从式(6)至(8)中可以分析出，当食品的碳水化合物超过一定比例时，导热系数会随着温度的升高而增加。这是因为根据 I.H. Tavman 研究结果，可以认为导热系数是随着蛋白质的比例增加而降低的，随水分的降低而降低^[11]。而在本次实验中，实验材料的水分和蛋白质的比例都体现了这种变化，但导热系数体现了一种相反的变化，因此可认为碳水化合物的比例决定性导热系数是否随温度升高而升高的物性。

4. 结论

通过以上的研究，可以得到以下结论：食品的导热系数随着成分比例的增加呈增加趋势，但是随温度的变化则与内部碳水化合物的比例有关。对于碳水化合物比例较高的食品而言，导热系数随温度增加而降低，如大米和绿豆；当碳水化合物低于一定比例时，导热系数随温度的升高而增加。

参考文献

- [1] Piotr P.Lewicki. Water as the determinant of food engineering properties.A review. Journal of Food Engineering 61 (2004)483–495
- [2] Marcin Deszczynski, Stefan Kasapis. Effect of sugars on the mechanical and thermal properties of agarose gels. Food Hydrocolloids 17 (2003) 793–799
- [3] N.A. Aviara, M.A. Haque. Moisture dependence of thermal properties of sheanut kernel. Journal of Food Engineering 47 (2001) 109-113
- [4] T.S.Vu,C.Smout,D.N.Sila,B.LyNguyen. Effect of preheating on thermal degradation kinetics of carrot texture. Innovative Food Science and Emerging Technologies 5 (2004)37–44.
- [5] O.O. Fasina , H.P. Fleming. Heat transfer characteristics of cucumbers during blanching. Journal of Food Engineering 47 (2001) 203-210
- [6] Sandrine C. Eliot-Godereaux, Francois Zuber, Adeline Goullieux. Processing and stabilisation of cauliflower

- by ohmic heating technology. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 2 2001 279_287
- [7] D.Gonzalez-Mendizabal, P.Bortot, A Thermal Conductivity Experimental Method Based on the Peltier Effect. *International Journal of Thermophysics*, Vol. 19, No. 4. 1998
- [8] M.P.P. Castro, A.A. Andrade, R.W.A. Franco. Thermal properties measurements in biodiesel oils using photothermal techniques. *Chemical Physics Letters* 411 (2005) 18–22
- [9] Li Na, Nan Qun, Peng Jianshu. Thermistor probe for measuring the thermal properties of biologic tissues. *Journal of Transducer Technology* (2002), 21(5) 17-18 (Chinese)
- [10] Sweat, V.E. Thermal properties of foods. In M.A. Rao, & S.S.H. Rizvi (Eds.), *Engineering properties of foods* (pp. 87–99). 1986. New York: Marcel Dekker
- [11] I.H. Tavman, S. Tavman. Measurement of thermal conductivity of dairy products. *Journal of Food Engineering* 41 (1999) 109±114