

玉米热导率的测定

陈瑜^① 梅晓红 张京生

(中国农业大学食品学院)

摘要 用瞬态热流法测定玉米的热导率。玉米的含水率为 9.25%~17.14%，温度为 -32.3~17.2℃。结果表明：用 0.40 A 电流测得的热导率与用 0.44 和 0.36 A 测得的热导率没有明显差别；在加热时间分别为 8, 9 和 10 min 测得的热导率之间也没有明显差别。热导率与含水率和温度呈现良好的线性关系。

关键词 玉米；热导率；瞬态热流法

中图分类号 S 226.600.2；S 513.093

Determination of Thermal Conductivity of Corn

Chen Yu Mei Xiaohong Zhang Jingsheng

(College of Food Science and Engineering, CAU)

Abstract The thermal conductivity of corn is measured by the transient heat flow method. Before measurement, the moisture content of the corn is in the range of 9.25% to 17.14%, and its temperature is of -32.3℃ to 17.2℃. The results show that the thermal conductivity is no obvious difference when current is 0.40 A compared with those tested under 0.44 A and 0.36 A. The thermal conductivity is also no obvious difference when the heating periods are 8, 9 and 10 min, respectively. It has been found that the thermal conductivity is a linear function of the moisture content and temperature.

Key words corn; thermal conductivity; transient heat flow method

我国东北有大量玉米需在寒冷的冬季进行干燥处理，此时室外气温已降至 -20~-30℃。为了合理设计和使用谷物干燥机，提高其干燥性能，必须了解低温状态下玉米的热特性，其中玉米的热导率是其重要表征指标。目前，有关低温玉米热特性的资料极其缺乏，本文研究结果可为干燥机的设计和使用提供科学依据。

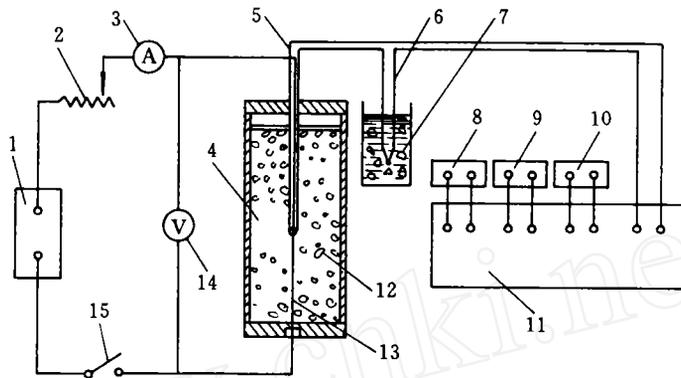
1 测定方法和物料

热导率采用瞬态线性热源法测定。测定装置如图 1 所示。

热导率测试筒由黄铜板卷制而成，其高度为 32 cm，直径 15 cm^[1,2]。镍铬电阻丝由底盖和固定架张紧并固定在圆筒中心，电阻丝长度 30 cm，直径 0.02 cm，电阻 5.803 2 Ω。电阻丝由电压为 6 V 的稳压电源加热。输入电流由可变电阻器调节并从电流表读取。直径为 0.2 mm 的铜和康铜组成的热电偶借助金属夹子卡在镍铬电阻丝的中部，用以测定电阻丝的温度。另一个串联的由相同材料组成的热电偶放置在温度为 0℃的冰水中，以便将所测温度作为测试时的参

收稿日期：1998-01-23

①陈瑜，北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)73 信箱，100083



1. 稳压电源; 2. 可变电阻器; 3. 电流表; 4. 热导率测试筒; 5, 6. 铜-康铜热电偶; 7. 冰水; 8. 标准电池; 9. 检流计; 10. 稳压电源; 11. 电位差计; 12. 玉米; 13. 镍铬电阻丝; 14. 电压表; 15. 开关

图1 玉米热导率测定装置

照温度。热电偶产生的电动势由电位差计测定,其测试精度可达 $0.1 \mu\text{V}$ 。

测试筒装入物料并盖上顶盖,分别放置在冰箱的冷冻室、冷藏室或室内,以测取不同温度时的热导率。由于谷物的热导率一般较低,因此在测定某温度下的热导率时一般需将待测物料在该温度下放置 12 h 以上,使谷物与周围的以及谷物堆群体内部的温度一致,以保证测定的准确性。

试验用的玉米品种为 1997 年收获的黑龙江肇东,在含水率从 9.25% 到 17.14% 范围内采用烘干法调制成 6 组。含水率用烘箱干燥法测定。

根据瞬态导热方程式,热导率可用下式计算:

$$\lambda = QB/4\pi$$

$$Q = I^2 R/l$$

$$B = (\theta_2 - \theta_1)^{-1} \ln(t_2/t_1)$$

式中: λ 为热导率, $\text{W}(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$; Q 为单位长度电阻丝在单位时间内输入的热量, $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}$; I 为电阻丝的输入电流, A ; R 为电阻丝的电阻, Ω ; l 为电阻丝长度, m ; B 为常数; t_1, t_2 为测定时间, min ; θ_1, θ_2 为与测定时间 t_1 和 t_2 对应的温度, $^\circ\text{C}$ 。

2 结果与讨论

2.1 输入功率对测定结果的影响

在 16 和 -20°C 这 2 种温度条件下输入不同功率,测定含水率为 17.14% 的玉米的热导率,结果如表 1 所示。可以看出,输入电流不同,对测定结果没有造成明显差别,其误差均在 5% 以内。测试时,输入功率大则单位时间内电阻丝升温高。在玉米温度为 16°C 、测试时间为 1~10 min,输入电流分别为 0.44, 0.40 和 0.36 A 时其电阻丝升温分别为 $3.9, 3.4$ 和 2.7°C ; 当玉米温度为 -20°C 时,电阻丝升温分别为 $4.5, 3.7$ 和 2.9°C 。升温过高或过低使数据读取困难,因此试验中取输入电流为 0.40 A。

表1 输入功率 P 对热导率 λ 的影响

$\theta/^\circ\text{C}$	I/A	$P/(\text{W}\cdot\text{m}^{-1})$	$\lambda/(\text{W}(\text{m}\cdot\text{K})^{-1})$
16	0.44	3.745	0.175 1
	0.40	3.095	0.165 5
	0.36	2.507	0.170 3
-20	0.44	3.745	0.153 1
	0.40	3.095	0.153 0
	0.36	2.507	0.157 4

说明:玉米含水率 $\eta_w=17.14\%$ 。

2.2 加热时间对测定结果的影响

对不同温度和不同含水率的玉米进行热导率测定,并采用 1~8,1~9 和 1~10 min 的时间周期进行热导率计算,结果如表 2 所示。可以看出,加热时间对测定结果无明显影响;因此,采用 1~8,1~9 和 1~10 min 的时间周期求出热导率,取其平均值作为该温度和含水率条件下的热导率值。

表2 加热时间对测定结果的影响

$\eta_w/\%$	$\theta/^\circ\text{C}$	$\lambda/(\text{W}(\text{m}\cdot\text{K})^{-1})$			
		1~8 min	1~9 min	1~10 min	平均
17.14	7.00	0.158 8	0.157 9	0.156 5	0.157 7
16.74	15.15	0.159 0	0.159 4	0.159 6	0.159 4
14.21	-4.70	0.148 9	0.149 0	0.148 9	0.148 9
12.05	-9.65	0.141 3	0.141 3	0.141 0	0.141 2
9.55	-11.80	0.136 3	0.136 3	0.141 0	0.141 2
9.25	-30.92	0.118 3	0.117 2	0.117 2	0.117 6

2.3 热导率与温度的关系

对不同含水率的玉米在冰箱的冷冻室、冷藏室或室温(-32.3~17.2 $^\circ\text{C}$)条件下,分别测定各种温度状态下的热导率,经回归分析,得到如表 3 所示的结果。可以看出,玉米含水率相同时其热导率与温度呈良好的线性关系,但由于回归直线的斜率较小,所以从总体上看温度对热导率影响不大。当含水率从 17.14% 降到 9.55% 时,回归方程式的斜率几乎增加了 1 倍;因此,含水率较低时,温度对热导率的影响较大,反之当含水率较高时,温度对热导率的影响较小。

表3 热导率 λ 与温度 θ 的关系

$\eta_w/\%$	回归方程	R^2
17.14	$\lambda=0.1532+0.0006\theta$	0.769 3
16.74	$\lambda=0.1507+0.0006\theta$	0.743 8
14.21	$\lambda=0.1591+0.0012\theta$	0.733 1
12.05	$\lambda=0.1450+0.0012\theta$	0.624 5
9.55	$\lambda=0.1522+0.0013\theta$	0.992 5

测定和计算结果表明:在测定的玉米含水率范围(9.25%~17.14%)内,当温度在 0 $^\circ\text{C}$ 以

下时热导率平均值为 $0.1378 \text{ W}(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$, 在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时为 $0.1535 \text{ W}(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下低温玉米的热导率约为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的 89.8% , 在测定温度范围 ($-32.3\sim 17.2\text{ }^{\circ}\text{C}$) 内, 热导率均值为 $0.1444 \text{ W}(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$ [3]。

2.4 热导率与含水率的关系

对测定数据作回归分析, 结果如表 4 所示。可以看出, 玉米温度不论在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下、以上还是在整个测定温度范围内, 其热导率与含水率均呈线性关系, 热导率随含水率的增加而增加。

表 4 热导率 λ 与含水率 η_w 的关系

$\theta/^\circ\text{C}$	$\lambda/(\text{W}(\text{m}\cdot\text{K})^{-1})$	R^2
$-32.3\sim -1.3$	$\lambda=0.1061+0.0024\eta_w$	0.7275
$0.8\sim 17.2$	$\lambda=0.1279+0.0019\eta_w$	0.6658
$-32.3\sim 17.2$	$\lambda=0.1157+0.0022\eta_w$	0.7121

3 结 论

1) 在所设定的含水率和温度范围内, 利用瞬态热流法测定玉米的热导率, 输入功率为 $2.507\sim 3.745 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}$, 加热时间为 8, 9, 10 min 时, 热导率测定结果均无明显差别。

2) 玉米的热导率与温度呈线性关系。温度对热导率的影响不大; 含水率较低时, 温度的影响要大些。玉米在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的热导率约为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的 89.8% 。

3) 玉米温度不论是在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下、以上还是在整个测定温度范围内, 其热导率与含水率均呈线性关系。

参 考 文 献

- 1 Chandra S, Muir W E. Thermal conductivity of spring wheat at low temperatures. Trans of the ASAE, 1971, 14(4): 644~646
- 2 Reidy G A, Rippen A L. Methods for determining thermal conductivity in foods. Trans of the ASAE, 1971, 14(2): 248~254
- 3 周祖锴, 赵世宏, 曹崇文. 谷物和种子的热特性研究. 北京农业工程大学学报, 1988, 8(3): 31~39