

龙眼平衡含水率及其模型的研究^{*}

陈羽白 邵耀坚 刘道被 赵华海 周学成

(华南农业大学工程技术学院, 广州 510642)

摘要 龙眼的平衡含水率是研究龙眼干燥和龙眼干贮藏的重要参数。应用静态法对龙眼进行了在不同温度和相对湿度条件下的解吸和吸湿平衡含水率的测定试验, 分析了温度和相对湿度对龙眼平衡含水率的影响, 比较了不同的平衡含水率模型对实验数据的拟合精度, 发现 Halsey 模型较适合于描述龙眼的平衡含水率曲线。

关键词 龙眼; 平衡含水率; 模型

中图分类号 Q 67

在设计龙眼干燥机械和制定干燥工艺过程中, 龙眼的解吸平衡含水率是一个重要的基础参数; 对龙眼干的安全贮藏来说, 其吸湿平衡含水率也是一个重要参数。

国内外研究者对众多的农产物料的平衡含水率(EMC)及其模型进行了研究。Iglesias 等(1976)研究了 69 种物料的吸湿等温线, 认为 Halsey 模型比 Henderson 模型拟合得好。Boquet 等(1979)研究各种食物物料的 39 组吸湿等温线, 发现较具通用性的是 Halsey 模型和 Oswin 模型。Chen 等(1989)选用多个模型对 18 种农作物的 EMC 数据进行拟合比较, 认为 Henderson 模型较适合于淀粉和纤维类物料, Halsey 模型较适用于高含油量和高蛋白质含量的物料。Saravacos 等(1986)和杨林青等(1993)用饱和盐溶液法分别研究了葡萄和红枣的 EMC 曲线, 认为 Halsey 模型适合描述葡萄的吸湿 EMC 曲线; Henderson-Thompson 模型较适合于描述红枣的吸湿 EMC 曲线, 而 Oswin 模型则对红枣的解吸 EMC 曲线较为合适。Ajibola(1986)认为把 EMC 模型和平衡相对湿度(ERH)模型混同比较是不合理的。以上提及的物料 EMC 模型是目前被许多研究者认为适应范围较广、拟合精度较高的模型。将它们都写成平衡含水率为因变量的形式, 可表达为:

(1) Henderson 模型

$$M_e = [\ln(1 - RH) / (-A \cdot T)]^{1/B}, \tag{1}$$

式中, M_e ——平衡含水率, % (干基); RH ——相对湿度, 小数; T ——绝对温度, K; A, B ——常数。

(2) Henderson-Thompson 模型

$$M_e = [-\ln(1 - RH) / A \cdot (T + C)]^{1/B}, \tag{2}$$

式中, M_e ——平衡含水率, % (干基); RH ——相对湿度, 小数; T ——温度, $^{\circ}\text{C}$; A, B, C ——常数。

(3) Halsey 模型

$$M_e = [\exp(A + B \cdot T) / (-\ln RH)]^{1/C}, \tag{3}$$

式中, T 是绝对温度, K; 其余与(2)式同。

(4) Oswin 模型

1996-01-30 收稿

^{*} 华南农业大学校长基金(1994~1995)资助项目

$$M_e = (A + B \cdot T) [RH / (1 - RH)]^C, \quad (4)$$

式中各符号意义与(2)式同。

本研究目的是考察龙眼的解吸和吸湿平衡含水率随温度和相对湿度变化的规律并获得能较准确地描述龙眼 EMC 的模型方程, 为研究龙眼的干燥及其干制品贮藏提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验采用的龙眼 (*Euphoria longan*) 品种为产于广州市郊区的石硖, 其采收后鲜果(整果)平均含水率为 73.35% (湿基)。

以密闭条件下饱和盐溶液在不同温度时对应的相对湿度(达式奎, 1987; 杨林青等, 1993)作为试样周围空气的相对湿度。所选用的饱和盐是: LiCl、CH₃COOK、MgCl₂、K₂CO₃、Mg(NO₃)₂、KNO₂、NaCl、(NH₄)₂SO₄、KNO₃, 除 LiCl 和 KNO₂ 为化学纯外, 其余皆为分析纯。

1.2 方法

1.2.1 吸湿平衡含水率的测定方法 将鲜龙眼经 50℃热风干燥至含水率为 5% (湿基) 的龙眼干, 选取表面无凹陷、无破裂、大小一致的干果为试样, 各取 10 粒果称重(且对每粒果称重并作记号)后放入分别盛有以上 9 种饱和盐溶液 200 mL 的 9 个密封罐中, 试样与溶液之间用不锈钢丝网隔开。对相对湿度较高的密封罐中的样品, 在其表面喷射碳酸钾溶液作防霉处理。将 3 组(每组共有 9 个不同相对湿度)密封罐分别放入恒温为 10℃、25℃和 40℃的 3 个 FR/SP 气候箱(日本 Koito 产品)中。样品重量每隔 1 d 测定一次, 直到样品重量达到或接近恒重时, 将样品取出, 用 1/10 000 g 电子天平(Mettler AE160)称重, 用恒温箱法测定各个样品的含水率, 取 10 粒样品的平均值, 即为龙眼在该温度和相对湿度条件下的吸湿平衡含水率。

1.2.2 解吸平衡含水率的测定方法 由于龙眼在常温下极易霉变, 按常规的测定试验方法极难正确地测出其解吸平衡含水率。为缩短试验时间, 将鲜龙眼试样经 50℃热风预干至含水率(湿基)分别为 65%、50%、35%和 20%, 将不同含水率的样品放入相应范围内的饱和盐溶液密封罐中。其余方法与吸湿平衡含水率测定方法相同。

1.2.3 EMC 模型方程的求解方法及评价指标 应用 SAS NLIN 程序基于实验范围内所得的龙眼吸湿和解吸 EMC 数据对式(1)、式(2)、式(3)和式(4)作非线性回归, 求出各式中的参数 A、B 和 C, 并根据决定系数 R² 及标准差 S.E. 为指标来评价各模型方程对实验所得 EMC 曲线的拟合精度。S.E. 的计算公式为:

$$S.E. = \sqrt{\frac{\sum (y - y')^2}{df}}, \quad (5)$$

式中: y —— 实测值, y' —— 预测值, df —— 回归模型自由度。

2 结果与分析

2.1 龙眼的吸湿和解吸平衡含水率

图1、图2和图3分别示出由实验结果得出的龙眼在 10℃、25℃和 40℃时的平衡含水率曲线。从图中可看出: 在给定的温度和相对湿度条件下, 龙眼的解吸平衡含水率(%, 干基)比吸湿平衡含水率(%, 干基)高, 即具有吸湿滞后现象, 在 50%~90% RH 范围内, 滞后较为明显。

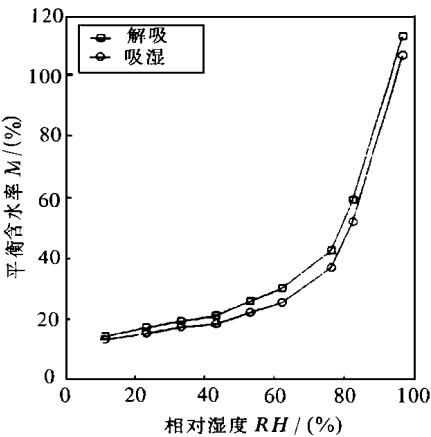


图1 龙眼在 10℃ 时的平衡含水率曲线

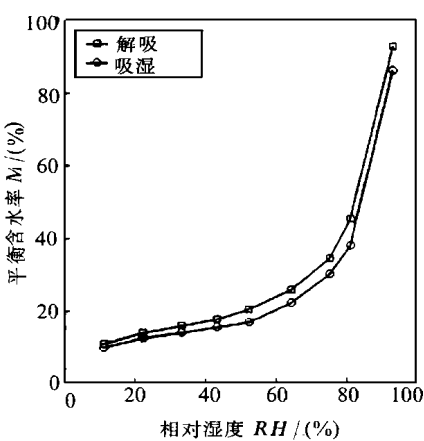


图2 龙眼在 25℃ 时的平衡含水率曲线

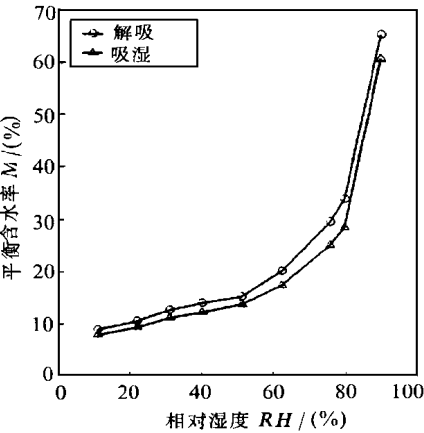


图3 龙眼在 40℃ 时的平衡含水率曲线

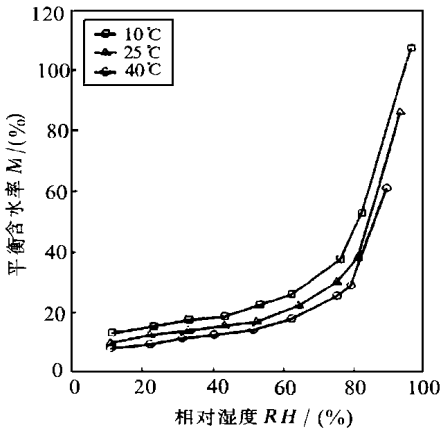


图4 龙眼的吸湿等温线

2.2 温度和相对湿度对龙眼平衡含水率的影响

图4和图5分别示出在不同温度下的吸湿和解吸等温线。从图中可看出：在相同的相对湿度条件下，吸湿和解吸平衡含水率都随温度的升高而减小；在相同的温度条件下，吸湿和解吸平衡含水率随相对湿度增大而增大，尤其在 RH 大于 60% 范围， M_e 值随 RH 增大而急剧增大。

2.3 龙眼平衡含水率模型的拟合比较

表1和表2分别列出了龙眼吸湿和解吸平衡含水率各模型的参数值及其拟合指标值。

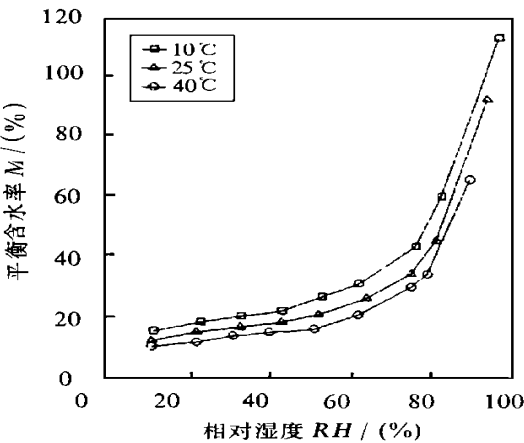


图5 龙眼的解吸等温线

表 1 龙眼吸湿平衡含水率模型的参数值及拟合指标值

参数及 指标值	Henderson 模型	Henderson-Thompson 模型	Oswin 模型	Halsey 模型
A	1.86×10^{-5}	4.13×10^{-4}	50.150 2	6.380 2
B	0.885 0	0.906 3	-0.105 2	-0.006 6
C	—	100.814 5	0.537 2	1.630 1
$S.E.$	5.970	5.587	3.732 4	3.365 7
R^2	0.969 9	0.972 7	0.985 5	0.986 4

表 2 龙眼解吸平衡含水率模型的参数值及拟合指标值

参数及 指标值	Henderson 模型	Henderson-Thompson 模型	Oswin 模型	Halsey 模型
A	1.414×10^{-5}	3.21×10^{-4}	61.181 8	7.293 0
B	0.932 0	0.957 2	-0.131 1	-0.007 8
C	—	95.723 3	0.505 9	1.724 4
$S.E.$	5.967	5.409	3.580	3.270 9
R^2	0.975 1	0.978 3	0.988 0	0.987 4

对比表 1 和表 2 中的 $S.E.$ 值及 R^2 值可知, 4 个模型对龙眼解吸 EMC 曲线的拟合均稍优于对吸湿 EMC 曲线的拟合; Halsey 模型对龙眼吸湿和解吸 EMC 曲线的拟合精度均高于另外 3 个模型。因此, Halsey 模型为描述龙眼平衡含水率的较好模型。这一结果与 Iglesias 等(1976)、Chen 等(1989)及 Saravacos 等(1986)研究其它物料时所报告的结果一致。

图 6 和图 7 分别示出按回归所得的 Halsey 模型方程计算的龙眼吸湿和解吸平衡含水率预测值与实测值的拟合情况。从图中可看出, 所求得 Halsey 方程能基本上描述龙眼的吸湿和解吸 EMC 曲线, 但在低相对湿度区间仍有较大误差, 说明模型方程有最适合的范围。因此, 要准确地表述龙眼的平衡含水率与温度和相对湿度的关系, 还应对其水份迁移机理作深入的研究。

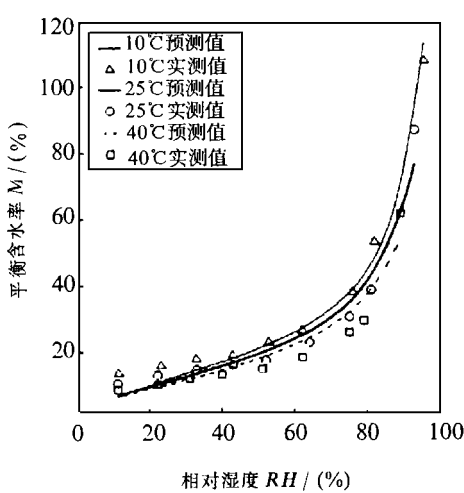


图 6 龙眼吸湿 EMC 预测值与
实测值的似合比较

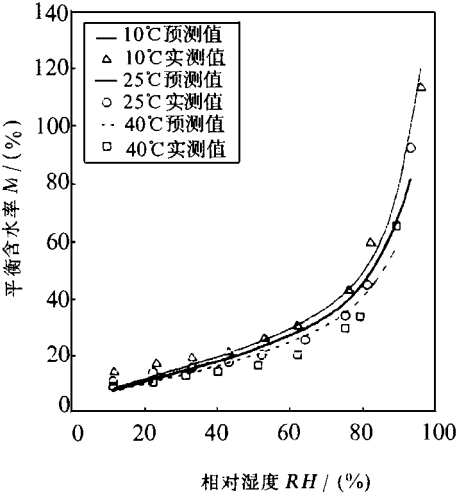


图 7 龙眼吸湿 EMC 预测值与
实测值的似合比较

3 结论

(1)龙眼的平衡含水率曲线表现出明显的吸湿滞后现象。在相同的相对湿度条件下,龙眼的吸湿和解吸平衡含水率都随温度的升高而减小;在相同的温度条件下,则随相对湿度增大而增大,当相对湿度超过 60%以后,平衡含水率随之急剧增大。

(2) Halsey 模型 $M_e = [\exp(A + B \cdot T) / (-\ln RH)]^{1/C}$ 较适合于描述龙眼的平衡含水率曲线。对吸湿过程: 参数 $A = 6.3802$, $B = -0.0066$, $C = 1.6301$; 对解吸过程: $A = 7.293$, $B = -0.0078$, $C = 1.7244$ 。

参 考 文 献

- 达式奎. 1987. 食品工程测试. 上海: 上海交通大学出版社, 199~208
- 杨林青, 牛智有. 1993. 红枣平衡含水率模型的拟合研究. 农业工程学报, 9(1): 92~98
- Ajibola O O. 1986. Equilibrium moisture properties of winged been seed. Trans ASAE, 29(5): 1485~1487
- Boquet M R, Dickerson R W. 1979. Equations for fitting water sorption isotherms of foods. Part III: Evaluation of various three-parameter models. J Food Technol, 14: 527~534
- Chen C C, Morey R V. 1989. Comparison of four EMC/ERH equations. Trans ASAE, 32(3): 983~990
- Iglesias H A, Chirife J. 1976. A model for describing the water sorption behavior of foods. J Food Sci, 41: 984~992
- Saravacos G A, Tsiourvas D A, Tsami E. 1986. Effect of temperature on the water adsorption isotherms of sultana raisins. J Food Sci, 51(2): 381~387

STUDIES ON EQUILIBRIUM MOISTURE CONTENT MODEL OF THE LONGAN

Chen Yubai Shao Yaojian Liu Daobei Zhao Huahai Zhou Xuecheng

(College of Polytechnic, South China Agr. Univ., Guangzhou 510642)

Abstract

An indirect method was used to determine the equilibrium moisture content (EMC) for absorption and desorption of the longan fruit at 10 °C ~ 40 °C and 10% ~ 90% relative humidity. It was found that there were significant moisture sorption hysteresis and that the EMC of the absorption and desorption decreased with increase in temperature. Based on the experiment data, the SAS NLIN Procedure was used to regress the Modified Henderson equation, the Modified Henderson-Thompson equation, the Modified Halsey equation and the Modified Oswin equation. The Modified Halsey equation was found to be significant and to provide the best agreement to the EMC curves for both the absorption and desorption of the longan fruit.

Key words longan; equilibrium moisture content; model