韧性饼干的等温吸湿特性及模型表征

褚振辉1,卢立新1,2

(1. 江南大学, 无锡 214122; 2. 中国包装总公司食品包装技术与安全重点实验室, 无锡 214122)

摘要:以韧性饼干为试验对象,用静态称重法研究了 23,30 和 45 ℃下,饼干的平衡含水率与水分活度的关系, 基于常用的等温吸湿模型对试验数据进行拟合。结果表明:韧性饼干的等温吸湿曲线为 S 型,随着温度的升高 平衡含水率会逐渐增加,这与大多数已知食品的吸湿曲线相反;从水分活度适用范围和拟合精度方面来看, GAB模型最适合拟合韧性饼干的等温吸湿曲线。

关键词:饼干;等温吸湿曲线;吸湿模型

中图分类号: TB485.5; TS206.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2011)03-0012-04

Moisture Sorption Isotherm Characteristics and Model Characterization of Tough Biscuit

CHU Zhen-hui¹, LU Li-xin^{1,2}

(1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Key Laboratory of Food Packaging Techniques and Safety of China National Packaging Corporation, Wuxi 214122, China)

Abstract: The relation between equilibrium moisture content and water activity of tough biscuit at 23 $^{\circ}$ C, 30 $^{\circ}$ C and 45 $^{\circ}$ C was studied by gravimetric method. The test data were fitted with typical moisture absorption models. The results showed that the moisture isotherm of tough biscuit was S type model; the equilibrium moisture content increases with temperature increases, which was the inversion of other foods; the GAB model is the most suitable for fitting adsorption isotherms of biscuit in the aspects of activity scope and fitting precision. Key words: biscuit; moisture sorption isotherm; moisture sorption model

在食品包装的研究中,通常需要了解关于食品吸 湿特性的信息,因为吸湿特性与食品的加工、包装等 各个环节的关系十分密切。等温吸湿曲线是研究食 品基质与水分关系的一个重要工具,它为选择合适的 储存条件和包装系统提供必要的信息^[1]。目前,国内 外的文献中对各类食品的等温吸湿特性做了大量的 研究^[2-3],但对作为对含水率非常敏感的如饼干等烘 烤类食品,研究却十分有限。国内的研究主要是在 2008年,原琳通过静态称重法,由 MOS 模型拟合得 到了酥性饼干在 23,32 和 42 ℃下的等温吸湿特性曲 线,结果表明酥性饼干的等温吸湿曲线为 S 型,在水 分活度一定时,平衡含水率随温度的升高而减少^[4], 但其试验对象为粉末,未对整体饼干的吸湿特性进行 研究。

笔者以整体的韧性饼干为研究对象,进行等温吸 湿试验,基于常用的等温吸湿模型对试验数据进行拟 合,确定最适合表征韧性饼干吸湿特性的模型,为韧 性饼干的防潮包装研究提供理论指导。

1 等温吸湿模型

目前国内外的文献中,有很多用来表征食品平衡 含水率与水分活度关系的数学模型,这些模型可分为 3种类型:动力学模型(BET 模型、GAB 模型),半经 验模型(Ferro-Fontan 模型、Halsey 模型)和经验模 型^[5]。每种模型都在特定的水分活度范围或某种特

收稿日期: 2010-09-29

作者简介:褚振辉(1986一),男,浙江宁波人,江南大学硕士生,主攻食品包装。

通讯作者:卢立新(1966-),男,江苏宜兴人,博士,江南大学教授、博士生导师,主要从事食品包装技术、运输包装等研究。

基金项目:"十一五"国家科技支撑计划课题(2006BAD30B02);江南大学创新团队发展计划资助课题

定类别的食品中得到过相对成功的应用。但到目前为止,还没有一种模型能够成功地用来表征所有食品的吸湿特性。这主要是由于水分活度依赖于食品的构成组分,而食品种类的极其多样化导致很难找到一种合适的模型能够表征不同类型食品的吸湿特性^[6]。

选择了 3 个三参数和 2 个三参数模型来拟合饼 干的等温吸湿数据,见表 1。这 5 个模型之前都曾成

从 1 可应应供生	表 1	等温吸湿模型
------------------	-----	--------

Tab.1 Moisture sorption isotherm models								
模型	数学表达式							
GAB 模型	$X = \frac{wcka_w}{(1 - ka_w)(1 - ka_w + kca_w)}$							
Ferro-Fontan 模型	$X \!=\! \left[\frac{b}{\ln\left(\frac{a}{a_w}\right)}\right]^{1/c}$							
Oswin 模型	$X = (a+bT) \left(\frac{a_w}{1-a_w}\right)^{1/c}$							
Halsey 模型	$X = \frac{-a}{[\tau \ln(a_w)]^{1/b}}$							
Lewickil 模型	$X = a \left(\frac{1}{a_w} - 1\right)^{b-1}$							

功地用来描述某些食品在特定水分活度范围内的吸

2 试验

湿特性[7]。

2.1 材料

选用苏州某食品企业生产的韧性饼干,主要配料 有:小麦粉(质量分数 60%)、食用植物油、葡萄糖浆、 麦芽提取物、食品添加剂、鸡蛋液、食用盐、浓缩乳清 蛋白粉。

2.2 设备

主要设备:THS-AOC-100AS 恒温恒湿试验机, 庆声科技有限公司,江苏昆山;AB204-N 电子分析天 平,梅特勒-托利多集团,瑞士。

2.3 方法

试验的温度条件:23,30 和 45 ℃;相对湿度为: 25%,35%,50%,60%,75%,90%。

在每一温度的各个不同湿度条件下进行平衡含 水率的测定。试样为一式3份,最后取平均值,方法 如下:

选择3个干净的玻璃皿(带盖),去盖称量并记录

其质量 m_v ;做好记录好后,每个玻璃皿内放入一片新 拆包装的饼干(约 5 g),玻璃皿和饼干一起称量并记 录质量 m_{t1} ;将 3 个带有饼干的玻璃皿(不加盖)全部 放入预先设定好温度和相对湿度的恒温恒湿箱中。 48 h 后,每隔 2 h,先加盖取出玻璃皿,再去盖置于电 子分析天平中称取玻璃皿和饼干的总质量,整个称量 过程不超过 30 s,直到连续 2 次称得的质量误差少于 0.05%(约 0.002 5 g),也即每分钟质量变化少于 0.002%时^[8],认为吸湿达到平衡,记录饼干与玻璃皿 的质量 m_{t2} 。饼干的初始质量 $m_i = m_{t1} - m_v$;平衡时 的质量 $m_e = m_{t2} - m_v$

平衡含水率的计算公式为:

 $X_{e} = \frac{m_{e}}{m_{e}}(X_{0}+1)-1$

式中: X_e 为干基平衡含水率 $(g/g); m_e$ 为饼干平 衡时的质量 $(g); X_0$ 为干基初始含水率 $(g/g); m_i$ 为 饼干的初始质量(g)。

2.4 数据处理

等温吸湿试验得到的数据由 matlab 软件中的 cftool 工具箱,采用 Levenberg and Marquart 算法进 行拟合,得到各个模型的常数。模型拟合效果的评价 指标有误差平方和 SSE、决定系数 R-square 和均方 根误差 RMSE。

3 结果与讨论

在 23,30 和 45 ℃ 温度下,试验测得的饼干平衡 含水率与水分活度之间的关系见图 1。用 5 个吸湿模



Fig. 1 Experimental data of biscuit moisture sorption test

型对 3 个温度下的等温吸湿数据进行拟合,23 ℃下 各个模型的拟合曲线见图 2,其他 2 个温度下各模型 的拟合曲线类似。



图 2 23 ℃时各个模型的拟合曲线 Fig. 2 Fitting curves of different models at 23 ℃

由图中数据可以看出,3个温度下,水分活度在 0.15~0.90范围时,饼干的平衡含水率为0.03~ 0.25g/g。等温吸湿曲线有2个折点,呈反S型,属 于吸湿特性曲线中的第2种类型。在水分活度小于 0.7时,平衡含水率随着水分活度的增加缓慢上升,这 个阶段饼干的吸湿主要受淀粉组分的影响,韧性饼干 中小麦粉质量分数不低于60%;在高水分活度(*a*_w> 0.7)时,平衡含水率随着水分活度的增加而急剧上升, 这是由于饼干中的糖类成分在含水率升高时发生溶解,使得饼干的水分吸附能力增加。

另外,从图 1 中可以看出,在 23~45 ℃范围内, 温度对韧性饼干平衡含水率具有正面影响作用,随着 温度的升高,平衡含水率是逐渐增加的。这个结果与 目前大多数食品的等温吸湿特性相反^[2-4,6-7]。因外 的研究发现一些食品的等温吸湿曲线也有这样的结 果^[9]。出现这种结果主要是由于在低水分活度时,水 分的吸附主要依靠食品中的生物聚合物,在正常情况 下随着温度的升高,生物聚合物导致的水分吸附效果 会降低。然而,当水分活度逐渐升高至超过中等水分 活度时,食品中水分的吸附主要由其中的糖类及其他 低相对分子质量的组分起作用,而这些组分能把温度 对水分吸附的负向作用抵消^[10],由于韧性饼干中含 有大量的糖类物质,最终使得饼干的平衡含水率随温 度的升高而增加。这种结果取决于食品的构成成分 和组分中糖类物质的溶解性。

通过 matlab 软件拟合得到的模型常数和拟合效 果评价指标见表 2。

表 2	3个温度下各个模型的常数及拟合效果评价指标	
-----	-----------------------	--

温度	措 刑		模型参数*		评价指标		
/℃	·℃ 候型	а	b	С	$SSE(imes 10^{-5})$	R-square	RMSE
	GAB	0.037 8	9.992 0	0.924 7	1.033	0.999 6	0.001 856
23	Ferro-Fontan	1.035 0	0.019 3	1.315 0	0.555	0.999 8	0.001 660
	Oswin	-498.9000	1.684 0	1.780 0	4.276	0.998 2	0.003 775
	Halsey	3.370 0	1.486 0	—	2.466	0.998 9	0.002 221
	Lewickil	0.064 1	0.438 2	—	4.276	0.998 2	0.003 270
30	GAB	0.042 9	8.019 0	0.911 8	1.897	0.999 3	0.002 515
	Ferro-Fontan	1.083 0	0.033 9	1.164 0	1.388	0.999 5	0.002 351
	Oswin	-228.6000	0.754 8	1.818 0	3.944	0.998 5	0.003 626
	Halsey	3.438 0	1.539 0	—	10.350	0.996 0	0.005 086
	Lewickil	0.069 6	0.450 0	—	3.944	0.998 5	0.003 140
45	GAB	0.044 1	9.980 0	0.921 5	0.667	0.999 8	0.001 491
	Ferro-Fontan	1.048 0	0.026 6	1.272 0	0.665	0.999 8	0.001 489
	Oswin	155.900 0	-0.490 1	1.796 0	3.378	0.998 9	0.003 390
	Halsey	4.188 0	1.521 0	—	4.597	0.998 5	0.003 390
	Lewickil	0.074 3	0.443 2	_	0.325	0.998 9	0.002 906

Tab.2 Coefficients and fitting effect evaluation index of different models at 3 temperatures

*:对于 GAB 模型,表 2 中的模型常数 a, b, c 分别对应 GAB 模型中的常数 w, c, k。

可以看出,相对于其他模型,GAB模型和 Ferro-Fontan模型的拟合指标明显较好(RMSE 越小越 好),拟合效果的评价指标均在可接受范围之内。 GAB模型的水分活度适用范围在 0.1~0.9 之间,而 Ferro-Fontan 模型一般在水分活度为 0.7~1 之间表 现较好^[7],这 2 个模型在低水分活度范围的曲线拟合 见图 3,表明了 GAB 模型在较低水分活度时其拟合 效果比 Ferro-Fontan 模型好。饼干保质期的临界水





Fig. 3 Comparison of GAB and Ferro-Fontan model at 30 $^\circ\!\mathrm{C}$

分活度一般低于 0.5,因此选择 GAB 模型为饼干的 等温吸湿模型,见图 4。



图 4 3 个温度下 GAB 模型的拟合曲线

Fig. 4 Fitting curves of GAB model at 3 temperatures

4 结论

韧性饼干的等温吸湿曲线呈反 S 型,当温度一定时,随着水分活度的升高,平衡含水率则增加;当水分活度一定时,随着温度的升高,平衡含水率也增加,这与大多数食品的等温吸湿曲线相反。在湿度与温度2 个条件中,湿度条件对平衡含水率的影响更大。GAB模型最适合拟合韧性饼干的等温吸湿曲线。

参考文献:

- [1] LABUZA T P, MIZRAHI S,KAREL M. Mathematical Models for Optimization of Flexible Film Packaging of Foods for Storage[J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineering, 1972(15):150-155.
- [2] 文友先,张家年,张声华.稻谷吸附与解吸等温线研究 [J].华中农业大学学报,1999,18(3):286-289.
- [3] 刘力桥,奚德昌.烟草包装保存期预测的数学模型[J]. 包装工程,2004,25(2):45-48.
- [4] 原琳,卢立新.酥性饼干防潮包装保质期预测模型的研 究[J].食品工业科技,2008,29(10):206-208.
- [5] McMINN W A M, McKEE D J, MAGEE T R A. Moisture Adsorption Behaviour of Oatmeal Biscuit and Oat Flakes[J]. Journal of Food Engineering, 2007(79):481-493.
- [6] VULLIOUD M, MÁRQUEZ C A, De MICHELIS A. Desorption Isotherms for Sweet and Sour Cherry [J]. Journal of Food Engineering, 2004(63):15-19.
- [7] MAROULIS Z B, TSAMI E, MARINOS-KOURIS D, et al. Application of the GAB Model to Sorption Isotherm of Fruits[J]. Food Engineering, 1988(7):63-78.
- [8] GUILLARD V, BROYART B, BONAZZI C, et al. Moisture Diffusivity in Sponge Cake as Related to Porous Structure Evaluation and Moisture Content[J]. Journal of Food Science, 2003,68(2):555-562.
- [9] WEISSER H, WEBER J, LONCIN M. Water Vapour Sorption Isotherms of Sugar Substitutes in the Temperature Range 25 to 80 °C[J]. Inter Zeits Lebens Technol, 1982:33 -89.
- [10] AL-MUHTASEBA A H, McMINNA W A M, MAGEE T R A. Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Food Products: A Review [J]. Institution of Chemical Engineers, 2002(80):118-128.

(上接第11页)

- [7] 张芳芳,范国荣.药品包装材料中锡迁移量的石墨炉原
 子吸收光谱法测定[J].中国医药工业杂志,2009,40
 (3):209-212.
- [8] 陈明岩,徐立明,马书民,等.微波消解一氢化物发生原 子荧光法测定塑料原料及其制品中的砷、汞[J].化学分 析计量,2005,14(4):19-21.
- [9] 林光西,徐霞,张静梅.ICP-MS测定土壤样品中的有效 锰、铜和锌[J].光谱实验室,2006,23(6):1267-1270.
- [10] 李宁涛,卢立新,王利兵,等.微波消解一电感耦合等离 子体-质谱(ICP-MS)测定木制食品接触材料中有害 重金属[J].包装工程,2008,29(9):50-52.