

鸡蛋粉等温吸附特性研究

李彦坡¹, 麻成金¹, 黄群¹, 吴标¹, 马美湖^{1,2}

(1. 吉首大学食品科学研究所, 湖南 吉首 416000) (2. 湖南农业大学食品科技学院, 湖南 长沙 410128)

摘要: 研究了冷冻干燥鸡蛋全蛋粉、蛋白粉和蛋黄粉在 10℃、20℃、30℃、40℃ 下的等温吸附和解吸特性及滞后现象, 建立 3 种蛋粉等温吸附曲线的回归方程, 并计算出三种干燥蛋粉的 BET 单层值。

关键词: 全蛋粉; 蛋白粉; 蛋黄粉; 真空冷冻干燥; 等温吸湿线; 滞后现象; BET

中图分类号: TS253.1; 文献标识码: A; 文章编号: 1673-9078(2007)09-0024-05

Studies on the Adsorption Isotherms of Egg Powder

LI Yan-po¹, MA Cheng-jin¹, HUANG Qun¹, WU Biao¹, MA Mei-hu^{1,2}

(1. Institute of Food Science, Jishou University, Jishou 416000, China)

(2. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: The adsorption, desorption and hysteresis properties of the freeze drying All-egg powder, Albumen powder and vitellus powder at 10℃, 20℃, 30℃ and 40℃ were studied. The Regression equation of absorption isotherms curves of the three kinds of egg powders was obtained and the BET surface values of these egg powders were also achieved.

Key words: all-egg powder; albumen powder; vitellus powder; vacuum freeze drying; Isotherms absorption curve; hysteresis phenomenon; BET

我国蛋品加工历史悠久, 产蛋量位居世界第一, 然而蛋品的深加工却相当滞后, 现代化程度低下, 已严重制约我国禽蛋业的发展。蛋粉的加工原理主要是利用在高温短时或真空冷冻条件下, 使蛋液大部分水分脱去制成含水量为 4.5% 左右的粉状制品。由于蛋粉含水量很低, 在保藏运输过程中其品质保持问题就显得尤为重要。而等温吸附和解吸规律对确立合理的干燥、包装和贮藏工艺具有重要的指导价值^[1-4]。

目前广泛采用扩散法测定等温吸附和解吸曲线, 其原理是不同的盐的饱和溶液在一定的温度条件下具有不同的相对湿度, 将样品置于由这些盐的饱和溶液形成的具有一定相对湿度的环境中, 使样品进行等温吸附或解吸, 通过测定样品的水分活度和平衡含水率来确定样品的等温吸附特性。

本文用饱和溶液形成不同的相对湿度环境, 通过扩散法使蛋粉进行等温吸附或解吸, 用静态称重法^[5-6]测得蛋粉的等温吸附和等温解吸平衡含水率, 用水分活度仪测量蛋粉的水分活度, 绘制并分析蛋粉等温吸附曲线、等温解吸曲线和 BET 图, 确定蛋粉的 BET 单层值, 为蛋类的加工贮藏提供参考依据。

收稿日期: 2007-04-08

基金项目: 福特基金项目资助 (06JDPHE027)

通讯作者: 麻成金

1 材料与方法

1.1 试验材料

鸡蛋(购于吉首市石家冲市场); 各种试剂均为分析纯。

1.2 主要仪器与设备

LGJ-10 型冷冻干燥机, MDF-192 型低温冰箱, SPX-250B-Z 型生化培养箱, AEL-200 型电子天平, AW-1 型智能水分活度仪。

1.3 研究方法

1.3.1 蛋粉的制备

分离新鲜的鸡蛋清、蛋黄, 对蛋清、蛋黄和全蛋液分别进行真空冷冻干燥, 制得干燥蛋粉。将干燥蛋粉置于放有干燥硅胶粒的干燥器中放置数天, 使其干燥一致。

1.3.2 吸附平衡含水率的测定

快速称量 2 g 干燥蛋粉, 放入已恒重的培养皿中, 铺平, 然后将培养皿放入密封性良好的干燥器上部, 干燥器下部放置不同盐的饱和溶液以产生不同的平衡相对湿度, 见表 1。干燥器置于培养箱内使其恒温。此时环境相对湿度大于蛋粉水分含量, 蛋粉吸附水分, 每隔 2 h 称量培养皿 1 次, 当连续两次称量差小于 0.0002 g 时就认为样品已达水分平衡, 根据培养皿前

后质量的变化计算样品的干基含水量，即吸附平衡含水率，用水分活度仪测出样品的水分活度。

表 1 饱和溶液在不同的温度下的平衡相对湿度

饱和溶液	不同温度下平衡相对湿度			
	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C
LiCl	11.29	11.31	11.28	11.21
MgCl ₂	33.47	33.07	32.44	31.60
Mg(NO ₃) ₂	58.86	55.87	52.89	49.91
KI	72.11	69.90	67.89	66.09
KNO ₃	95.96	94.62	92.31	89.03

1.3.3 解吸平衡含水率的测定

将称量好的干燥蛋粉样品置于相对湿度为 100% 的环境中使其吸附水分，水分平衡后置于由饱和溶液形成的一定相对湿度环境的干燥器中，保持恒温，此时环境的相对湿度低于样品的水分含量，样品进行等温解吸，每隔 2 h 称量培养皿 1 次，当两次连续称量差小于 0.0002 g 时就认为已达水分平衡，计算此时样品的干基含水量，即解吸平衡含水率，并测量蛋粉的水分活度。

2 结果与分析

2.1 吸附等温特性

以相对湿度为横坐标，蛋粉在 10 °C、20 °C、30 °C、40 °C 下的等温吸附平衡含水率为纵坐标，利用 OriginPro 7.0 中的点线图功能将其连成平滑曲线，即得蛋粉在不同温度条件下的等温吸附曲线，如图 1~3 及 10 所示。

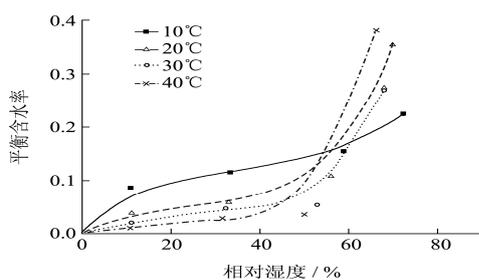


图 1 全蛋粉等温吸附曲线

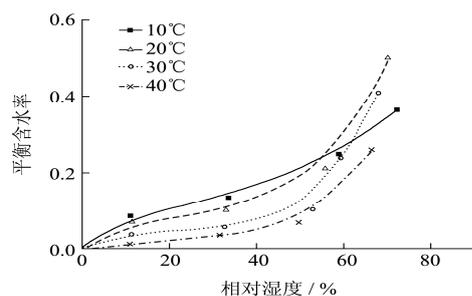


图 2 蛋白粉等温吸附曲线

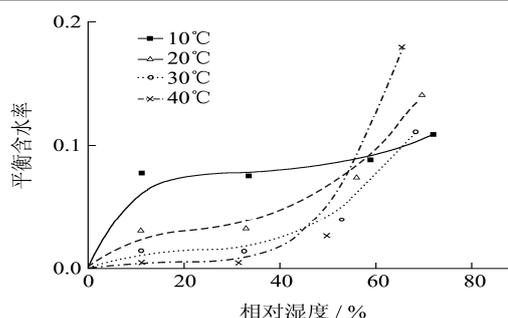


图 3 蛋黄粉等温吸附曲线

由图 1 可以看出，在相对湿度为 10%~70% 范围内全蛋粉的等温吸湿曲线呈反 S 形的特征，在相对湿度为 10% 和 40%~60% 处，样品的吸附速率有较明显的变化，这主要是由于蛋粉结构疏松多孔，达到单层水分子时有较明显的变化，随后水分主要通过氢键与相邻的水分子和溶质分子缔合，当水分结合方式变为物理截留时，样品的吸湿速率有较明显变化。

由图 1~3 可以看出，随温度的升高，样品的平衡含水量降低。相同的相对湿度条件下，蛋白粉平衡含水量最大，蛋黄粉的平衡含水量最小。

2.2 等温解吸特性和滞后现象

以相对湿度为横坐标，蛋粉的等温解吸平衡含水率为纵坐标，利用 OriginPro 7.0 将其连成平滑曲线得到蛋粉在不同温度下的等温解吸曲线，如图 4~6 所示。以相对湿度为横坐标，三种蛋粉在 20 °C 的等温和解吸平衡含水率为纵坐标，绘制出三种蛋粉的吸附和解吸曲线，如图 7~9 所示。

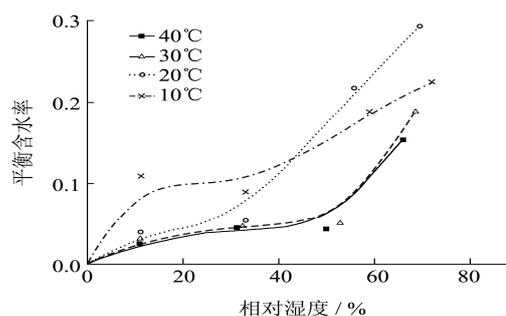


图 4 全蛋粉等温解吸曲线

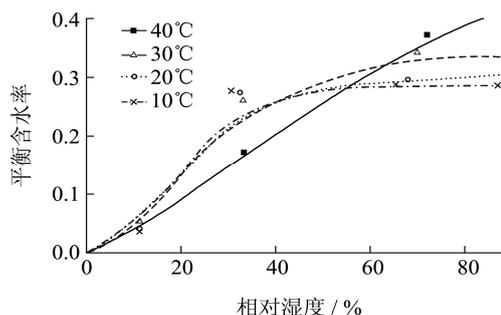


图 5 蛋白粉等温解吸曲线

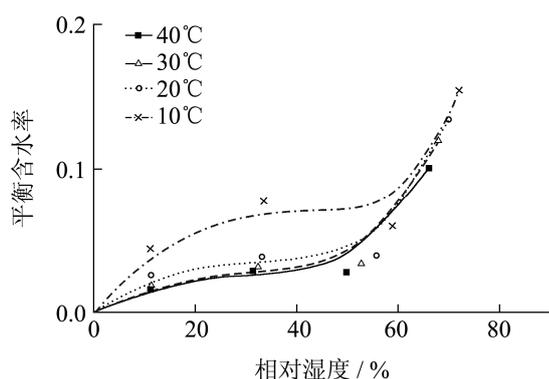


图6 蛋黄粉等温解吸曲线

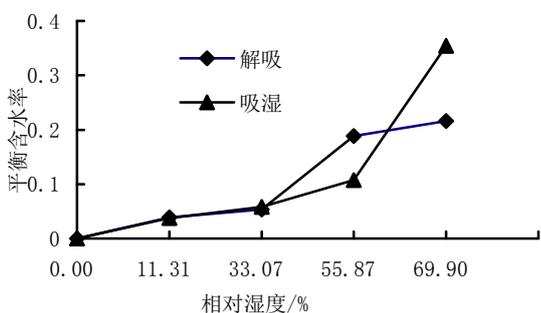


图7 全蛋粉在 20 °C 的吸附和解吸曲线

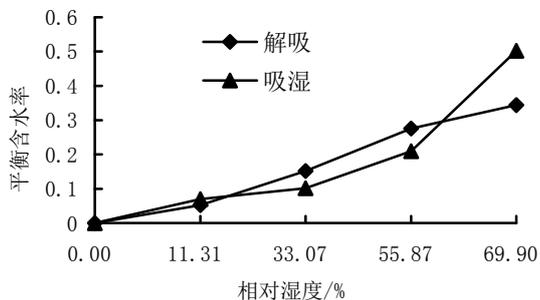


图8 蛋白粉在 20 °C 的吸附和解吸曲线

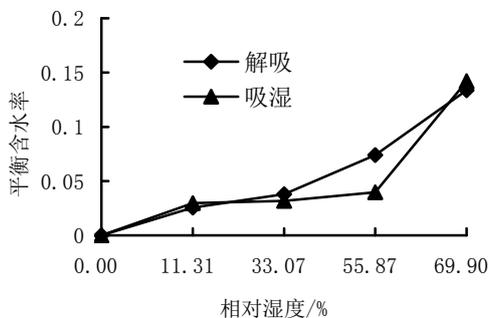


图9 蛋黄粉在 20 °C 的吸附和解吸曲线

由图 4~6 可得出, 三种蛋粉的等温解吸曲线都呈反 S 形, 随着温度的升高, 干燥蛋粉的平衡含水率逐渐降低。三种蛋粉的解吸过程中蛋白粉解吸较难失水,

蛋黄最易解吸, 这主要是由于真空冷冻干燥使蛋粉的比表面积增大, 而从三种干燥蛋粉中的组成成分来看, 组成蛋白粉的主要成分是蛋白质, 而这些蛋白质中又主要为可溶性蛋白, 即球状水溶性糖蛋白及粘蛋白分子组成的蛋白质体系, 从而表现为蛋白粉中亲水溶质的极性基团与水分子吸附作用增强, 蛋黄粉中含有约 64.1% 的脂肪^[7], 组成蛋白以脂蛋白为主, 从而影响了蛋粉的解吸曲线的形状。

同时由图 7~9 可知, 三种蛋粉的等温吸附和解吸滞后现象出现在不同的相对湿度范围内, 全蛋粉滞后环在 34%~61% 内, 蛋白粉滞后环出现在 16%~60% 相对湿度范围, 而蛋黄粉在 20%~68% 的范围内滞后现象较明显。滞后现象可能是由于蛋粉的组成成分不同而引起, 冷冻干燥的蛋白粉中的蛋白质大多为可溶性蛋白质, 干燥后呈疏松多孔毛细管物料, 解吸时毛细管收缩变细, 毛细管液面呈凹形, 管内压力低于管外蒸气压力, 致使水蒸气在毛细管内自动凝聚而产生等温解吸和吸附滞后现象。

2.3 水分活度对蛋粉平衡含水率的影响

以水分活度为横坐标, 平衡含水率为纵坐标, 利用 OriginPro 7.0 绘出三种蛋粉在 20 °C 的吸附曲线, 如图 10、11 所示。

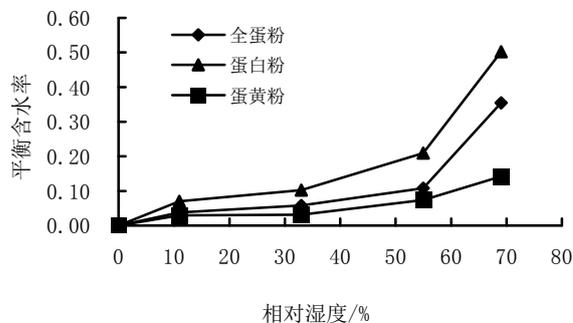


图10 三种蛋粉在 20 °C 的吸附曲线

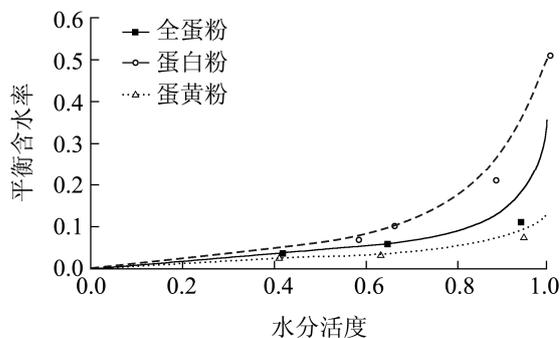


图11 三种样品在 20 °C 的吸湿曲线

由图 10 可知, 蛋粉的平衡含水率随水分活度的增加而增加, A_w 在 0~0.6 范围内曲线较平缓, A_w 大于

0.6 时,平衡含水率变化较快,这主要是 A_w 在小于 0.6 时,蛋粉内水的结合状态为 BET 单层水以及主要通过氢键与相邻的水分子和溶质分子缔合的水,而大于 0.6 左右的水则为物理截留水。从图 10、图 11 中可以得出,随水分活度的增加,在相等的平衡水分含量条件下,蛋白粉的水分活度最大,全蛋粉次之,蛋黄粉的水分活度最小;在相等平衡含水率的条件下,蛋粉的水分活度大于外界的相对湿度,且相对湿度的很小变化时可引起水分活度的较大的改变。

2.4 等温吸附曲线回归方程的建立和 BET 单层值

应用 Microsoft Excel 2003 软件建立三种蛋粉等温吸附曲线的回归方程。在蛋粉散点图上给数据添加趋势线,然后选择曲线类型,并要求显示回归公式和 R^2 值,即可得三种样品在各温度下的等温吸湿曲线的回归方程。其中 R^2 是曲线的相关系数的平方值,用于表示回归曲线与数据点的拟合程度。 R^2 值在 0~1 之间, R^2 值越趋近 1,表示曲线和方程拟合得越好^[8]。由表 2 中可以看出,全蛋粉在 10℃ 时的等温吸附曲线、蛋白粉在 20℃ 的等温吸附曲线、蛋黄粉在 30℃ 的等温吸附曲线拟合得最好。

表 2 三种样品等温吸湿曲线的回归方程

样品	回归方程	R^2
全蛋粉 (10℃)	$y=0.0074x^3-0.0681x^2+0.2352x-0.1739$	0.9989
全蛋粉 (20℃)	$y=0.0179x^3-0.1289x^2+0.308x-0.1988$	0.9973
全蛋粉 (30℃)	$y=0.017x^3-0.126x^2+0.2963x-0.1912$	0.9789
全蛋粉 (40℃)	$y=0.0279x^3-0.2035x^2+0.4519x-0.2817$	0.9809
蛋白粉 (10℃)	$y=0.003x^3-0.0188x^2+0.109x-0.091$	0.9958
蛋白粉 (20℃)	$y=0.0185x^3-0.1294x^2+0.328x-0.2171$	1.0000
蛋白粉 (30℃)	$y=0.0225x^3-0.1629x^2+0.3812x-0.2434$	0.9953
蛋白粉 (40℃)	$y=0.0127x^3-0.0878x^2+0.1989x-0.1259$	0.9936
蛋黄粉 (10℃)	$y=0.0074x^3-0.0735x^2+0.2396x-0.172$	0.9781
蛋黄粉 (20℃)	$y=0.0045x^3-0.0321x^2+0.0888x-0.06$	0.9920
蛋黄粉 (30℃)	$y=0.0051x^3-0.0357x^2+0.0842x-0.0533$	0.9993
蛋黄粉 (40℃)	$y=0.0115x^3-0.0803x^2+0.1717x-0.1039$	0.9962

根据动力学、热力学和统计学假设, BET 等温线一般表达式如下^[10]:

$$\frac{A_w}{m(1-A_w)} = \frac{1}{m_1c} + \frac{c-1}{m_1c} A_w$$

式中: A_w —水分活度, m —每克固体吸附水的量, m_1 —每克固体吸附的单层值,或 BET 单层值, C —与吸附热有关的常数。

以 A_w 为横坐标,以 $A_w/m(1-A_w)$ 为纵坐标作蛋粉的 BET 图如图 12~14 所示。

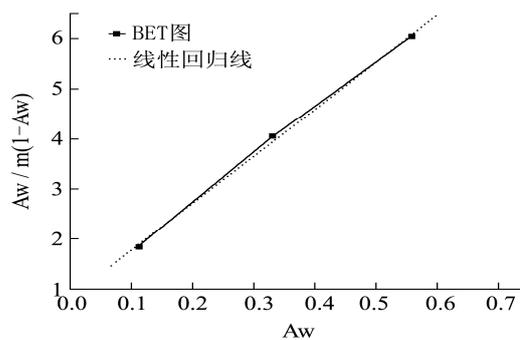


图 13 蛋白粉 BET 图

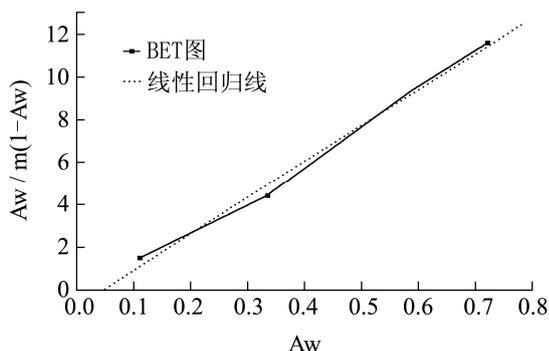


图 12 全蛋粉 BET 图

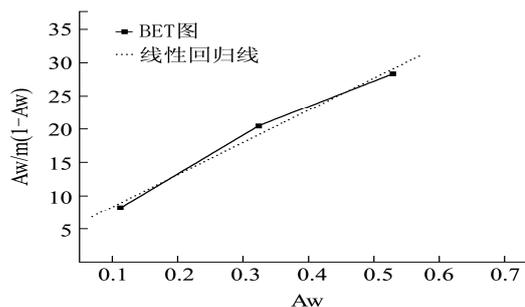


图 14 蛋黄粉 BET 图

将所得图线进行直线回归方程,样品的 BEY 单层值可以下式计算:

$$BET \text{ 单层值} = \frac{1}{(y \text{ 截距}) + (\text{斜率})}$$

利用上述公式,从三种样品的 BET 图中可以得出全蛋粉的 BET、冷冻干燥蛋白粉、蛋黄粉的 BET 单层值分别为 0.0618(g H₂O/g 干物质)、0.0976(g H₂O/g 干物质)、0.0189(g H₂O/g 干物质)。

3 结论

三种蛋粉的等温吸附和解吸曲线都呈反 S 形,且三种蛋粉本身质构及组成成分的差异使得三种蛋粉都在一定的相对湿度范围内存在滞后现象,使解吸曲线滞后于吸附曲线。由三种蛋粉的等温吸附曲线可知,温度对蛋粉的吸附特性有一定的影响,随温度的升高,吸附特性增强,在 10%~40% 范围内等温吸附曲线较平缓,当相对湿度达到 50% 左右时,吸附平衡含水率明显增大。当相对湿度一定时,蛋粉的等温吸附平衡含水率随温度的升高而降低。温度对全蛋粉和蛋黄粉的等温解吸曲线有类似的影响,但蛋白粉的等温吸附曲线变化较平缓。同时,相对湿度对蛋粉的吸附和解吸特性也有影响,蛋粉的平衡含水率随相对湿度的增加而增加,当物料的平衡含水率一定时,相对湿度在 0%~60% 范围内温度越高,相对湿度越大。

通过建立蛋粉等温吸附曲线回归方程得出,全蛋粉在 10℃、蛋白粉在 20℃、蛋黄粉在 30℃ 时拟合得

最好,从而可以通过插值来研究蛋粉的等温吸湿特性。由蛋粉的 BET 图可以得出,干燥蛋粉的 BET 单层值分别为:真空冷冻干燥全蛋粉:0.0618(g H₂O/g 干物质);蛋白粉:0.09756(g H₂O/g 干物质);蛋黄粉:0.01896(g H₂O/g 干物质)。

参考文献

- [1] 姜正军,霍兰芝.我国蛋品加工业的现状与对策[J].食品科技,2004,(11):4-6
- [2] 马美湖.我国蛋与蛋制品加工重大关键技术筛选研究报告(一)[J].中国家禽,2005,3(26):1-5
- [3] 马美湖.我国蛋与蛋制品加工重大关键技术筛选研究报告(二)[J].中国家禽,2005,24(26):1-6
- [4] 马美湖.我国蛋与蛋制品加工重大关键技术筛选研究报告(三)[J].中国家禽,2005,1(27):3-7
- [5] 文友先,张家年,刘俭英.谷物吸附等温线试验方法模型及应用[J].粮食与饲料工业,1998,(6):14-16
- [6] 徐艳阳,张愨,孙金才,等.脱水竹笋的等温吸湿特性研究[J].食品研究与开发,2005,26(5):43-45
- [7] 马美湖.动物性食品加工学[M].北京:中国轻工业出版社,2003,1:201-220
- [8] 邱澄宇,葛玉.调味烤鱼片等温吸湿曲线的研究[J].食品科学,2006,27(12):227-229
- [9] 王璋,许时婴,汤坚.食品化学[M].北京:中国轻工业出版社,2005,(1):28

《食品研究与开发》2008 年征订启事

《食品研究与开发》是由天津市食品研究所和天津市食品工业生产力促进中心主办,国内外公开发行的食品专业科技期刊,于 1980 年创刊,现为月刊。采用国际流行开本大 16 开,共 12 个印张(192 页)。其专业突出,内容丰富,印刷精美,是一本既有基础理论研究,又包括实用技术的刊物。本刊已被“万方数据库”、“中文科技期刊数据库”等知名媒体收录,并被北京大学图书馆列入“中文核心期刊”。主要栏目有:科学研究、食品工艺、食品开发、检测分析、营养健康、食品保鲜、添加剂、食品机械和综述等。

本刊国内统一刊号 CN12-1231/TS; 国际刊号 ISSN1005-6521; 邮发代号: 6-197。全国各地邮局及本编辑部均可订阅。定价: 15 元/册,全年 180 元(12 期)。

本编辑部常年办理邮购, 订阅办法如下:

(1) 邮局汇款。地址: 天津市南开区卫津南路 36 号; 收款人: 《食品研究与开发》编辑部; 邮政编码: 300381。

(2) 银行汇款。开户银行: 天津银行天马支行;

账号: 106301201090048704; 单位: 食品研究与开发编辑部。

《食品研究与开发》编辑部

E-mail: tjfood@vip.163.com

电话(传真): 022-23015671