

黄芪水提取物吸湿模型的拟合

王雅洁, 汤成成, 贾艾玲, 董金香, 邱智东, 杨 晶*
(长春中医药大学药学院, 吉林 长春 130117)

摘要: **目的** 拟合黄芪水提取物吸湿模型。**方法** 煎煮法制备水提取物, 重量法绘制提取物的吸湿动力学曲线和吸附/解吸等温线, 对吸湿数据进行拟合。以均方根误差 (RMSE)、残差平方和 (RSS) 和决定系数 (R^2) 为评价指标, 优化拟合模型。**结果** 吸湿动力学曲线的双指数模型, 以及吸附/解吸等温线的 Peleg 模型为拟合效果最佳的 2 个模型 (R^2 最接近于 1, RMSE 和 RSS 最接近于 0)。其中, 各吸附/解吸等温线都属于第 II 种类型 “S” 等温线, 而解吸等温线平衡含水率高于吸附等温线, 故出现明显的滞后现象, 并属于 H_3 型。**结论** 双指数模型和 Peleg 模型分别能较好地拟合黄芪水提取物的吸湿动力学曲线和吸附/解吸等温线。
关键词: 黄芪; 水提取物; 模型拟合; 吸湿动力学曲线; 吸附/解吸等温线
中图分类号: R969.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1528(2017)01-0065-06
doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2017.01.012

Fitting of moisture adsorption models for *Astragali Radix* aqueous extract

WANG Ya-jie, TANG Cheng-cheng, JIA Ai-ling, DONG Jin-xiang, QIU Zhi-dong, YANG Jing*
(School of Pharmaceutical Sciences, Changchun University of Chinese Medicine, Changchun 130117, China)

ABSTRACT: **AIM** To fit the moisture adsorption models for *Astragali Radix* aqueous extract. **METHODS** For the aqueous extract prepared by decocting, the moisture adsorption kinetics curve and adsorption/desorption isotherms were drawn by gravimetry, and then the data on moisture adsorption were fitted. The fitted models were optimized according to evaluation indices of root mean square error (RMSE), residual sum of squares (RSS) and coefficient of determination (R^2). **RESULTS** The double exponential model for moisture adsorption kinetics curve and Peleg model for adsorption/desorption isotherms were considered as the two best models with regard to their fitting effects (R^2 values were the closest to 1, RMSE and RSS values were the closest to 0). Among them, various adsorption/desorption isotherms all belonged to type II (“S” isotherm), while the higher equilibrium moisture content of desorption isotherm than that of adsorption isotherm contributed to obvious type H_3 hysteresis phenomenon. **CONCLUSION** Double exponential model and Peleg model can well fit the moisture adsorption kinetics curve and adsorption/desorption isotherms of *Astragali Radix* aqueous extract, respectively.
KEY WORDS: *Astragali Radix*; aqueous extract; model fitting; moisture adsorption kinetics curve; adsorption/desorption isotherms

黄芪为豆科植物蒙古黄芪 *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. var. *mongholicus* (Bge.) Hsiao 或膜荚黄芪 *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. 的干燥根, 其性甘, 微温, 归肺、脾经, 功效补气升阳、固表止汗、利水消肿、生津养血、行滞通痹、托毒排脓、敛疮生肌^[1]。在《中国药典》

2015 年版一部所有单味和成方制剂中, 黄芪用药形式大多是研成细粉或水煎煮提取、浓缩、干燥, 以获得提取物^[1], 但其水提取物^[2-4]因大多含有皂苷、多糖等极性基团而具有较强的吸湿性^[5-7], 吸湿后会出现变软、结块、霉变、氧化、水解、有效成分含有量降低等现象^[8-9], 严重的还会影响药理

收稿日期: 2016-04-11
基金项目: 吉林省科技厅项目 (20140309002yy)
作者简介: 王雅洁 (1993—), 女, 硕士, 研究方向为制药技术。Tel: 18843195821, E-mail: 2363099814@qq.com
* 通信作者: 杨 晶 (1979—), 女, 博士, 讲师, 研究方向为物理化学与药剂学。Tel: 13500813952, E-mail: 764130589@qq.com

活性，甚至引起一些毒副作用^[10]。

目前，关于黄芪提取物吸湿过程模型的研究报道较少^[11-12]。本实验对其在 25 ℃ 下吸湿动力学曲线以及吸附/解吸等温线进行测定，并通过 1stOpt 软件，以 7 种模型进行拟合，得到最佳拟合方程，并研究吸附/解吸等温线滞后现象的机理，从而为深入研究黄芪提取物的吸湿行为、投入生产、干燥、贮藏，以及开发其他中药提取物的防潮技术奠定基础。

1 实验材料

1.1 实验设备 DHG-9240A 电热恒温鼓风干燥箱（上海精宏实验设备有限公司）；DZF-6090 真空干燥箱（上海新苗医疗器械制造有限公司）；EL204 电子天平（梅特勒-托利多仪器上海有限公司）；HSP-100B 恒温恒湿培养箱（金坛市天竞实验仪器厂）。

1.2 实验试剂 乙酸钾、氯化钙、碳酸钾、硝酸锂、溴化钠、氯化钾、硝酸钾、硫酸、氯化钠（天津市光复精细化工研究所）。黄芪 *Astragalus membranaceus*（Fisch.）Bge. 购自吉林省长春市宏检大药房，由长春中医药大学姜大成教授鉴定，符合《中国药典》2015 年版一部黄芪项下有关规定。

2 实验方法与结果

2.1 提取物制备 取黄芪饮片 1 200 g，加水煎煮 3 次，每次 1 h，过滤，合并滤液，浓缩^[7]，真空干燥，粉碎成细粉，即得。

2.2 吸湿动力学实验

2.2.1 曲线绘制 将黄芪提取物置于装有 P₂O₅ 的真空干燥器中 12 h 以上以脱湿平衡。将底部盛有过饱和 NaCl 溶液的干燥器于 25 ℃ 下放置 48 h，使其内部相对湿度恒定在 75.25%^[13]。精密称取适量，置于上述干燥器中（称量瓶盖打开），于 4、8、12、24、48、72、96、120、144、168、192、216、240 h 后取出，盖紧瓶盖，精密称定称量瓶与提取物质量，直至前后两次质量差不超过 0.003 g，即为恒重。采用重量法测定含水率，并计算吸湿率，公式为吸湿率 = [(吸湿后提取物质量 - 吸湿前提取物质量) / 吸湿前提取物质量] × 100%，平行 3 次。以时间为横坐标，吸湿率为纵坐标绘制吸湿曲线，见图 1。由图可知，黄芪提取物吸湿平衡含水量随着时间增加而逐渐增加，吸附达到平衡时约需要 200 h。

2.2.2 模型拟合 选取 7 个吸湿动力学模型（表 1）对黄芪提取物进行拟合，其中 y 是平衡含水率， x 是时间， y_0 、 A 、 B 、 C 、 D 和 K 是相应的模型参数。

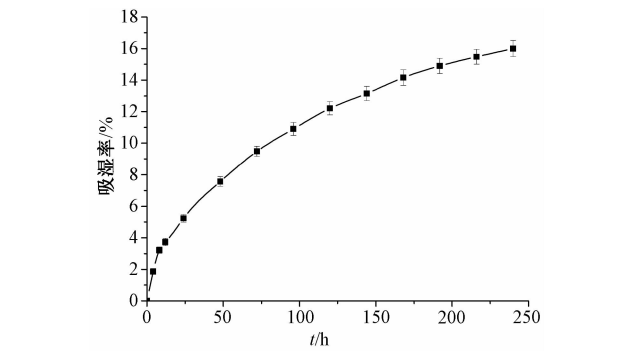


图 1 吸湿动力学曲线
Fig. 1 Moisture adsorption kinetics curve

表 1 吸湿动力学模型
Tab. 1 Models for moisture adsorption kinetics

模型	方程
双指数模型	$y = y_0 - Ae^{-Cx} - Be^{-Dx}$
二项式方程	$y = Ax^2 + Bx + C$
Logarithmic 模型	$y = A + B\ln x$
Higuchi 方程	$y = Kx^{0.5}$
Weibull 分布	$\ln \ln \frac{1}{1-y} = A\ln x + B$
零级过程	$y = y_0 + Kx$
一级过程	$y = y_0(1 - e^{-Kx})$

2.3 统计分析 应用 1stOpt 软件对黄芪提取物吸湿数据进行分析，以均方根误差（RMSE）、残差平方和（RSS）和决定系数（ R^2 ）3 个统计参数来检验模型拟合效果，表达式分别为 $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{n}}$ 、 $RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - y_p)^2$ 、 $R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - y_p)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}$ ，式中 y_i 是实验值， y_p 是理论值， $\bar{y}_i$ 是平均含水率， n 是实验数据量。 R^2 越接近 1，RMSE 和 RSS 越接近于 0，曲线拟合效果越好，实验值与预测值越吻合^[14-15]。

将黄芪提取物的吸湿动力学数据用表 1 中 7 个模型进行拟合，结果见表 2~3，发现 R^2 由高到低依次为双指数模型 > Weibull 分布 > Higuchi 方程 > 零级过程 > 二项式方程 > Logarithmic 模型 > 一级过程，RMSE 和 RSS 由低到高均依次为双指数模型 < Weibull 分布 < Higuchi 方程 < 二项式方程 < 零级过程 < Logarithmic 模型 < 一级过程。由此可知，其最佳拟合模型是双指数模型，即模型方程为 $y = 18.839\ 1 + 2.720\ 6e^{-5.102\ 4x} + 16.181\ 9e^{-135.789\ 1x}$ 。

表 2 吸湿动力学曲线模型参数

Tab. 2 Model parameters of moisture adsorption kinetics curves

模型	A	B	C	D	y_0	K
双指数模型	-2.720 6	-16.181 9	5.102 4	135.789 1	18.839 1	—
二项式方程	-0.000 259 4	0.120 1	1.743 4	—	—	—
Logarithmic 模型	-4.883 2	3.629 2	—	—	—	—
Higuchi 方程	1.081 5	—	—	—	—	—
Weibull 分布	30.041 9	0.037 62	—	—	—	—
零级过程	—	—	—	—	5.375 5	0.013 14
一级过程	—	—	—	—	3.124 7	0.062 89

表 3 吸湿动力学曲线统计系数

Tab. 3 Statistical coefficients of moisture adsorption kinetics curves

模型	RMSE	RSS	R^2
双指数模型	0.075 30	0.079 39	0.999 8
二项式方程	0.644 5	5.815 9	0.985 4
Logarithmic 模型	0.967 5	13.103 7	0.967 1
Higuchi 方程	0.259 3	0.961 1	0.997 7
Weibull 分布	0.122 2	0.209 1	0.999 5
零级过程	0.770 0	8.301 4	0.987 7
一级过程	1.465 3	30.060 4	0.924 4

2.4 水分吸附/解吸实验

2.4.1 水分吸附 将黄芪提取物置于 P_2O_5 真空干燥器中 12 h 以上以脱湿平衡，在 25 ℃ 下将其装入称量瓶中，精密称定总质量，将称量瓶置于不同过饱和溶液和硫酸控制的不同相对湿度环境下， CH_3COOK 、 $CaCl_2$ 、 K_2CO_3 、 $LiNO_3$ 、 $NaBr$ 、 $NaCl$ 、 KCl 、 KNO_3 过饱和溶液的相对湿度分别为 22.45%、31.00%、42.76%、47.50%、57.70%、75.28%、84.26%、92.48%，而 48% 硫酸和 44% 硫酸的相对湿度分别为 40.52% 和 48.52%。将称量瓶盖打开，放置 168 h，精密称定称量瓶与黄芪提取物质量，直至前后两次质量差不超过 0.003 g，即为恒重。

2.4.2 水分解吸 在 25 ℃ 下，将干燥黄芪提取物放入相对湿度为 92.48% 的恒温恒湿培养箱中，静置一定时间平衡，得到调湿后的样品，将其精密称定质量后置于“2.4.1”项下 9 个相对湿度低于 92.48% 的干燥器中(称量瓶盖打开)，放置 168 h，精密称定称量瓶与提取物质量，直至前后两次质量差不超过 0.003 g，即为恒重。

2.4.3 吸附/解吸等温线 根据相关数据计算吸湿百分率，以相对湿度为横坐标，平衡吸湿率为纵坐标绘制曲线，结果见图 2，可知在不同相对湿度下，黄芪提取物平衡含水量的变化速率也有所差异，其中在低相对湿度区间（0 ~ 60%）内，随着相对湿度增加，其增幅不大；当相对湿度大于

60% 时，其增幅显著增大。按照国际理论和应用化学联合会（IUPAC）规定的分类方法，黄芪提取物的吸湿等温线属于第 II 种类型“S”等温线（曲线整体趋势不出现平台，在偏左侧会有一个拐点），具有单层和多层吸附位点，与文献 [15-16] 报道一致。黄芪提取物解吸等温线的变化趋势与吸附等温线近似一致，故也属于第 II 种类型“S”等温线。另外，在同一相对湿度下，解吸平衡含水率明显大于吸附时平衡含水量，表现为吸附等温线位于解吸等温线下方，故存在滞后现象，根据 IUPAC 分类，黄芪提取物的吸附/解吸等温线介于垂直和水平之间，可归属于 H_3 型（迟滞环形状较为细长，方向介于垂直与水平之间）^[17]。

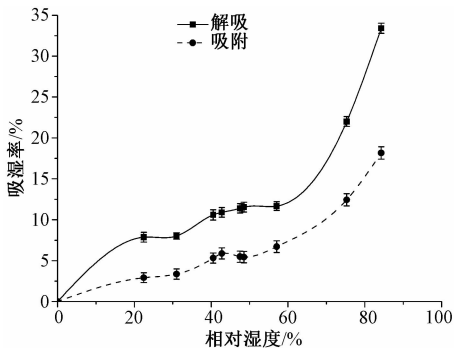


图 2 吸附/解吸等温线

Fig. 2 Adsorption/desorption isotherms

2.4.4 模型拟合 选取 7 个吸湿等温线模型（表 4）对黄芪提取物的水分吸附/解吸过程进行拟合，其中 y 是含水率， x 是相对湿度， y_0 、A、B、C、D 和 K 是相应的模型参数。

2.4.5 统计分析 采用表 4 中 7 个模型对黄芪提取物的吸附/解吸等温线进行拟合。结果发现，吸附/解吸等温线的 R^2 由高到低均依次为 Peleg > GAB > Mod-BET > Smith = Henderson > Halsey > Oswin，RMSE 和 RSS 由低到高均依次为 Peleg < GAB < Mod-BET < Halsey < Oswin < Smith = Henderson，即吸附和解吸的最佳模型是 Peleg 模型，而且

其拟合数据与实验值吻合较好（图 3）。代入模型常数，得到吸附拟合模型方程（1）和解吸拟合方程式（2）。

表 4 吸湿等温线模型

Tab. 4 Models for moisture adsorption isotherms

模型	方程
Mod-BET	$y = y_0 Cx / [(1 - x)(1 - x + Cx)]$
Halsey	$y = [A / \ln(1/x)]^{1/B}$
Smith	$y = A - B \ln(1 - x)$
Henderson	$y = [-\ln(1 - x) / A]^{1/B}$
Oswin	$y = A [x / (1 - x)]^B$
GAB	$y = y_0 CKx / (1 - Kx)(1 - Kx + CKx)$
Peleg	$y = Ax^C + Bx^D$

$$y = 2.73 \times 10^{-14} x^{0.1857} + 7.5347 x^{0.8852} \tag{1}$$
$$y = 1.48 \times 10^{-13} x^{7.3357} + 2.0058 x^{0.4330} \tag{2}$$

3 讨论

3.1 吸湿机制 黄芪提取物的吸湿机制为提取物表面有能与水分子作用的活性位点，两者通过分子间作用力相互吸引，水分子吸附在黄芪提取物表面，而黄芪提取物粉体之间存在的空隙可看成毛细管，其吸附作用使得水分吸附在粉体孔隙中。其整个吸湿过程是随着环境中相对湿度增加，水分在提取物表面上逐步凝聚的过程，大致可分为 3 个阶段：（1）提取物从干燥状态开始，表面活性位点开始不断吸附水分子，同时提取物粉体一层层将水分吸附到孔壁上，不断累积，孔壁上的水层越来越厚，见图 4a ~ 4c^[18]。（2）当孔壁上的水层增加到相当厚度时，在孔径相对较小处首先相连而形成凹液面，随着吸附水量增加，凹液面逐渐外移，直至

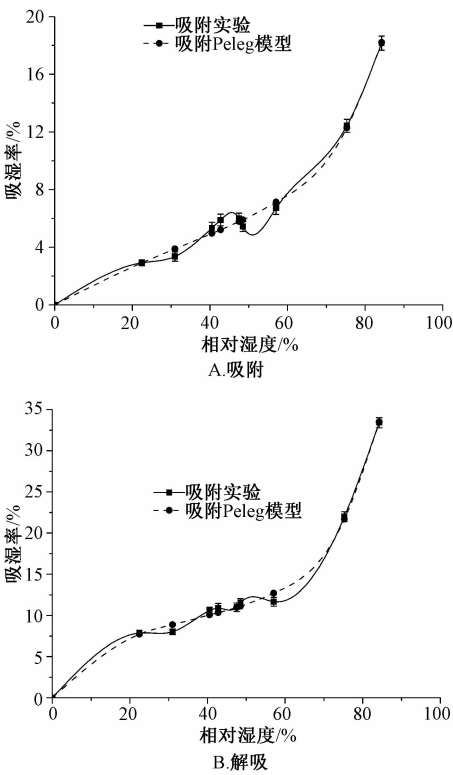


图 3 吸附/解吸等温线与 Peleg 模型拟合曲线

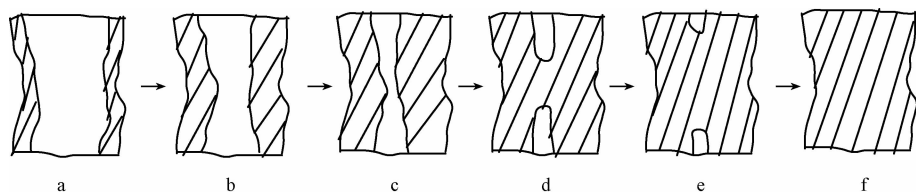
Fig. 3 Adsorption/desorption isotherms and Peleg model fitting curves

水分将孔全部填满为止，见图 4d ~ 4f。（3）水分将孔填满后，提取物含水量继续增大，当提取物没有孔时不再存在毛细现象，其蒸气压变化规律与液面为水平状态时基本相同，这个过程一直持续到水蒸气为饱和状态。模型参数及统计学结果见表 5 ~ 6。

表 5 吸附/解吸等温线的模型参数

Tab. 5 Model parameters of adsorption/desorption isotherms

状态	模型	A	B	C	D	y_0	K
解吸	Mod-BET	—	—	3.476 1	—	0.480 3	—
	Halsey	1.14×10^{-93}	80.478 7	—	—	—	—
	Smith	1.47×10^{-6}	0.544 4	—	—	—	—
	Henderson	0.588 9	0.289 0	—	—	—	—
	Oswin	12.695	1.975 4	—	—	—	—
	GAB	—	—	0.039 27	—	527.085 4	0.011 24
	Peleg	1.48×10^{-13}	2.005 8	7.335 7	0.433 0	—	—
吸附	Mod-BET	—	—	0.047 14	—	0.095	—
	Halsey	4.51×10^{-58}	67.058	—	—	—	—
	Smith	2.54×10^{-8}	0.887 5	—	—	—	—
	Henderson	0.154 7	0.366 7	—	—	—	—
	Oswin	6.626 0	0.874 7	—	—	—	—
	GAB	—	—	0.121 4	—	86.289 5	0.010 5
	Peleg	2.73×10^{-14}	7.534 7	0.185 7	0.885 2	—	—



注：阴影部分为被凝集的水

图 4 黄芪提取物吸湿机制

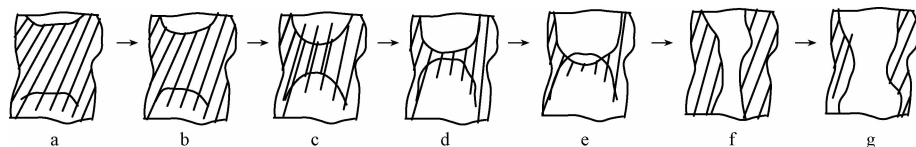
Fig. 4 Moisture adsorption mechanism of Astragali Radix extract

表 6 吸附/解吸等温线的统计学系数
Tab. 6 Statistical coefficients of adsorption/desorption isotherms

状态	模型	RMSE	RSS	R ²
解吸	Mod-BET	3.526 4	124.352 9	0.850 4
	Halsey	7.466 9	557.543 7	0.241 0
	Smith	15.371 4	2 346.234 1	0.243 8
	Henderson	15.317 4	2 346.234 1	0.243 8
	Oswin	8.570 9	734.603 9	7.259 3 × 10 ⁻³²
	GAB	1.246 3	15.531 4	0.980 4
	Peleg	0.520 0	2.704 1	0.996 3
吸附	Mod-BET	2.025 6	41.031 9	0.872 1
	Halsey	4.373 7	191.289 9	0.200 6
	Smith	8.236	678.322 8	0.203 9
	Henderson	8.236	678.322 8	0.203 9
	Oswin	4.891 7	239.284 0	1.615 4 × 10 ⁻³²
	GAB	0.431 2	1.859 3	0.992 2
	Peleg	0.365 4	1.335 2	0.997 2

3.2 解吸机制 黄芪提取物解吸是随着环境中水蒸气分压逐渐降低，其中水分逐步蒸发的过程，也大致分为 3 个阶段：（1）环境中水蒸气从饱和状

态其蒸气压逐步减少，直到提取物孔中水分蒸发前为止，可近似看成吸湿过程第 3 阶段的逆过程，因此解吸等温线和吸附等温线相差不大。（2）首先是凹球面逐步形成的过程（图 5a~5c），由于附加压力从零逐渐变大，弯曲液面实际受到的压力逐步减小，加上相对湿度降低和水分减小所带来的影响，蒸气压下降很快，而含水量下降较慢，并且液体最终形成的凹液面比吸湿过程所形成者要大得多，故不是吸湿过程逆过程，解吸曲线与吸附曲线相差较大。其次是液体凹面形成后逐步向内部收缩的过程，此时毛细管中大部分水分要蒸发掉，这个过程时间相对要长得多（图 5d~5e）。最后是球面断裂过程，此时吸附的水层可近似看成一个柱面，但断开处水层较厚，是一个不稳定状态，因此含水量下降较快，直至孔中的水层均匀一致为止（图 5f~5g）。（3）水分形成稳定柱面后继续解吸，可近似看成吸湿的逆过程，故解吸曲线与吸附曲线相差不大。



注：阴影部分为被凝集的水

图 5 黄芪提取物解吸机制

Fig. 5 Moisture desorption mechanism of Astragali Radix extract

3.3 模型优化 本实验首次绘制了黄芪提取物在 25 ℃时的吸湿动力学曲线和吸附/解吸等温线，并对吸湿动力学数据进行拟合，发现双指数模型拟合效果最佳，它是根据物质质量守恒定律和费克扩散第一定律建立的模型，参数有着特定的物理意义，故用于拟合黄芪提取物吸湿动力学过程时具有重要的参考价值，而且黄芪提取物在 25 ℃下的吸附/解吸等温线都属于 IUPAC 分类的第Ⅱ种类型，表明可进行多层吸附。同时，在某一相对湿度范围内，

吸附/解吸等温线存在一个明显的滞后现象，属于 H₃ 型，其拟合结果表明 Peleg 模型最佳。

参考文献：

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典：2015 年版一部[S]. 北京：中国医药科技出版社，2015：302-303.
[2] 丁丽霞，常新全. 中药活性成分分析手册：下册[M]. 北京：学苑出版社，2002.
[3] 郑虎占，董泽宏，余靖. 中药现代研究与应用：第 3 卷[M]. 北京：学苑出版社，1998.
[4] 李小芳，何倩灵，向永臣，等. 黄芪多糖颗粒防潮辅料的

研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(9): 11-14.

[5] 孙淑萍, 狄留庆, 黄耀洲, 等. 不同辅料对中药全浸膏制剂防潮效果的比较研究[J]. 中成药, 2006, 28(6): 897-899.

[6] 狄留庆, 孙淑萍, 黄耀洲. 粉体表面改性技术降低中药全浸膏制剂引湿性的应用研究[J]. 南京中医药大学学报, 2006, 2(4): 241-242.

[7] 杜若飞, 冯 怡, 刘 怡, 等. 中药提取物吸湿特性的数据分析与表征[J]. 中成药, 2008, 30(12): 1768-1771.

[8] 孙淑萍, 狄留庆, 黄耀洲, 等. 中药全浸膏制剂防潮技术应用研究进展[J]. 时珍国医国药, 2006, 17(3): 341-343.

[9] 范玉玲, 金毅群, 李 森, 等. 防止传统中药生脉饮浸膏粉吸潮的研究[J]. 中成药, 2007, 29(8): 1159-1160.

[10] 伍振峰, 丘玲玲, 郑 琴, 等. 中药提取物及其制剂防潮策略研究[J]. 中国医药工业杂志, 2011, 42(1): 66-69.

[11] 罗世江. 不同辅料对中药全浸膏制剂防潮效果探讨[J]. 中国医药导刊, 2013, 15(5): 917-918.

[12] 李小芳, 何倩灵, 耿桂香, 等. 防潮辅料对黄芪多糖吸湿

性的影响[J]. 中成药, 2011, 33(5): 800-803.

[13] 肖 琼, 沈平嬢, 朱莲华. 中药固体制剂防潮技术与辅料应用的研究[J]. 中成药, 2007, 29(2): 209-211.

[14] 崔红华, 李习文, 王会弟, 等. 不同辅料对 SN-中药颗粒剂吸湿性的影响[J]. 中国药业, 2007, 16(4): 46-46.

[15] 刘成梅, 周国辉, 万 婕, 等. 大米淀粉解吸等温线与吸附等温线的拟合模型[J]. 食品工业科技, 2014, 35(10): 198-201.

[16] Yang Z, Zhu E L, Zhu Z S. Moisture sorption isotherms and net isosteric heats of sorption of green soybean[J]. *Int J Food Eng*, 2012, 8(3): 1-16.

[17] Mcminn W A M, Magee T R A. Studies on the effect of temperature on the moisture sorption characteristics of potatoes[J]. *J Food Process Eng*, 1999, 22(2): 113-128.

[18] Sing K S W, Everett D H, Haul R A W, *et al.* Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity[J]. *Pure Appl Chem*, 1985, 57(4): 603-619.

星点设计-响应面法优化黄芪双水相萃取工艺

宋力飞, 刘常青, 李曼莎, 段海霞*, 马志鹏, 刘乡乡
(广州泽力医药科技有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: **目的** 通过星点设计-响应面法优化黄芪双水相(乙醇-磷酸氢二钾)萃取工艺。**方法** 以乙醇质量分数、磷酸氢二钾溶液质量分数和黄芪投料比为影响因素, 总黄酮、总皂苷萃取率为评价指标, 星点设计-响应面法优化工艺。**结果** 最佳条件为乙醇质量分数 27.97%, 磷酸氢二钾溶液质量分数 22.03%, 黄芪投料比 1:58.85, 总黄酮萃取率达 74.13% (集中在上层), 总皂苷萃取率达 81.34% (集中在下层)。**结论** 该方法简单精确, 预测性良好, 可用于萃取黄芪中的总黄酮和总皂苷。

关键词: 黄芪; 总黄酮; 总皂苷; 双水相萃取; 星点设计-响应面法

中图分类号: R284.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1528(2017)01-0070-06

doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2017.01.013

Optimization of two-phase aqueous extraction for *Astragali Radix* by central composite design-response surface method

SONG Li-fei, LIU Chang-qing, LI Man-sha, DUAN Hai-xia*, MA Zhi-peng, LIU Xiang-xiang
(Guangzhou Zeli Pharmatech Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

ABSTRACT: **AIM** To optimize the two-phase (ethanol-dipotassium phosphate) aqueous extraction for *Astragali Radix* by central composite design-response surface method. **METHODS** With ethanol concentration, dipotassium hydrogen phosphate solution concentration and *Astragali Radix* feed ratio as influencing factors, together with

收稿日期: 2016-03-24
基金项目: 国家高技术研究发展计划 (2014AA022204)
作者简介: 宋力飞, 男, 高级工程师, 研究方向为中药制剂。E-mail: songlifei@21cn.com
* 通信作者: 段海霞, 女, 硕士, 研究方向为中药活性成分的分离纯化。E-mail: xdhaixia@163.com