

大孔树脂法纯化玉米须中槲皮素的工艺优化

田佳琦, 徐艳阳*, 宋勃欣, 王雅馨, 董 亚

(吉林大学食品科学与工程学院, 长春 130022)

摘要: **目的** 获得大孔树脂法纯化玉米须中槲皮素的最优工艺条件。**方法** 以吸附率、吸附量、洗脱率为指标, 通过静态吸附与洗脱试验, 确定综合指标最优树脂。通过单因素试验研究树脂质量、洗脱剂体积、洗脱剂体积分数对玉米须中槲皮素纯化效果的影响。最后利用 $L_{16}(4^5)$ 正交表, 以回收率为指标, 对上述 3 个因素进行优化。**结果** 通过筛选评价, D101 型大孔树脂的综合性能最优。正交试验确定的最佳纯化工艺参数为: 树脂质量 1.5 g, 洗脱剂体积 15 mL, 洗脱剂体积分数 70%。在此条件下, 通过 3 次验证试验, 测得槲皮素的回收率为 $(91.41 \pm 1.63)\%$, 纯化后样液中槲皮素纯度达到 53.89%, 较纯化前的纯度提高 2.39 倍。**结论** 采用正交法优化大孔树脂法纯化玉米须中槲皮素的工艺具有可行性。

关键词: 玉米须; 槲皮素; 大孔树脂吸附法; 正交法

Optimization of purification process of quercetin in corn silk by macro-porous resin adsorption

TIAN Jia-Qi, XU Yan-Yang*, SONG Bo-Xin, WANG Ya-Xin, DONG Ya

(College of Food Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the optimum purification technical conditions of quercetin in corn silk by macro-porous resin adsorption. **Methods** Static adsorption and desorption experiments with indexes of the ratios of adsorption and desorption were explored to select the optimum resin. On the basis of single-factor tests, the recovery rate of quercetin was investigated by orthogonal experiments of $L_{16}(4^5)$ with response to 3 main variables, including resin mass, eluent volume and eluent volume fraction. **Results** The D101 resin had the best purification effect. The optimum technical conditions were determined by orthogonal experiments as the resin mass was 1.5 g, eluent volume was 15 mL and eluent volume fraction was 70%. Under these conditions, the recovery rate of quercetin was $(91.41 \pm 1.63)\%$ by 3 times validation experiment. The purity of quercetin reached 53.89%, which was increased by 2.39 times compared with before purification. **Conclusions** It is feasible to use orthogonal method to get the optimum purification technical conditions of quercetin in corn silk by macro-porous resin adsorption

KEY WORDS: corn silk; quercetin; macro-porous resin adsorption method; orthogonal experiment

基金项目: 吉林大学大学生创新创业训练项目(2015450533)

Fund: Supported by the Project of Innovation and Entrepreneurship Training for Undergraduate Student in Jilin University (2015450533)

*通讯作者: 徐艳阳, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品营养与安全。E-mail: xuyy@jlu.edu.cn

*Corresponding author: XU Yan-Yang, Ph.D., Associate Professor, College of Food Science and Engineering, Jilin University, No.5333, Xi'an Road, Changchun 130062, China. E-mail: xuyy@jlu.edu.cn

1 引言

玉米又称玉蜀黍, 属禾本科一年生草本植物, 是我国主要的经济作物之一。玉米须为玉米的花柱和柱头, 是常用的药材之一^[1]。玉米须在玉米籽粒的形成和发展过程中, 作为传粉受精的媒介和通道, 具有非常重要的植物生理生化功能^[2]。我国玉米种植广泛, 玉米产量位居世界第二位^[3], 种植面积达 2350 万公顷, 平均 45000 株/公顷, 据测算平均每株作物可收获 15 g 的干玉米须^[4], 因此估算我国玉米须的年产量可达 750 吨以上。但因为玉米须的开发利用有限, 除少量入药外大部分被烧掉或丢弃, 造成资源的极大浪费。

玉米须中含有多种化学成分, 如挥发油、皂苷、黄酮类等。槲皮素化学名为 3,5,7,3',4'-五羟基黄酮, 属于黄酮类化合物, 是玉米须中的重要活性物质。槲皮素具有保护心脑血管^[5]、保护肝脏^[6]、减缓高脂血症^[7]、抗氧化^[8]、抗菌消炎^[9]、抗多耐药药^[10]、抗癌^[11]、抗肿瘤^[12]等多种生物活性作用, 是目前国内外研究的热点课题。因此从玉米须中提取、纯化槲皮素, 对其在生理、药理方面的研究起到很大的推动作用。

大孔树脂是二十世纪六、七十年代发展起来的一种新型非离子型高分子聚合物吸附剂, 物理化学性质稳定, 具有大孔网状结构, 不溶于酸、碱及各种有机溶剂^[13]。大孔树脂吸附法是通过分子间的氢键作用和树脂多孔性结构的筛选作用吸附混合物, 经一定溶剂洗脱而达到分离纯化目的的一种方法。大孔树脂相对于其它的吸附剂具有较多的优点, 如其吸附性能好、对有机成分选择性强、机械强度高、价格低廉、再生处理方便等, 特别适合制药工业中药物的分离纯化。景怡等^[14]采用 AB-8 大孔树脂对玉米须中的总黄酮进行纯化, 纯化后玉米须总黄酮纯度达 61.3%, 回收率达 92.5%。李奈等^[15]采用大孔树脂分离纯化沙棘叶中的槲皮素, 纯化后槲皮素纯度达到 97% 以上。王亚红等^[16]采用大孔树脂纯化瓦松中总黄酮, 纯化后总黄酮含量达到 54.11%。然而, 目前还没有从玉米须中分离纯化槲皮素

的工艺研究。

本研究通过大孔树脂法对玉米须中的槲皮素进行纯化, 并利用正交法确定最佳纯化条件, 以期对槲皮素的开发利用提供依据。

2 材料与方法

2.1 材料、试剂与仪器

2.1.1 材料

玉米须来自山东潍坊。经清洗、烘干、粉碎, 过 60 目筛处理, 备用。

2.1.2 试剂

无水乙醇、盐酸、氢氧化钠(均为分析纯, 北京化工厂); AB-8 大孔吸附树脂(天津市光复精细化工研究所); D101、NKA-9、D280、DA201 大孔吸附树脂(沧州宝恩吸附材料科技有限公司); 槲皮素标准品(纯度 99%, 中国食品药品检定研究院)。

2.1.3 仪器

101A-1ET 电热鼓风干燥箱(上海实验仪器厂有限公司); FW177 型中草药粉碎机(天津市泰斯特仪器有限公司); BSA124S 型电子分析天平(赛多利斯科学仪器(北京)责任有限公司); HH 数显恒温水浴锅(江苏金坛市金城国胜实验仪器厂); KQ-250DB 型数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司); LD4-2A 型雷勃尔低速离心机(北京雷勃尔离心机有限公司); SHA-C 水浴恒温振荡器(金坛市恒丰仪器厂); 玻璃层析柱(长春市华泰玻璃仪器经销部); T6 新世纪紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)。

2.2 试验方法

2.2.1 玉米须中槲皮素的粗提取及质量浓度的测定

(1) 槲皮素检测波长的选择和槲皮素标准曲线的绘制

以 80% 乙醇溶液为参比液, 将槲皮素溶液在 200~600 nm 波长范围内扫描, 得到其吸收光谱, 其最大吸收波长分别位于 256 nm 和 374 nm 附近。本试验采用 374 nm 为测定波长, 光谱扫描曲线见图 1。

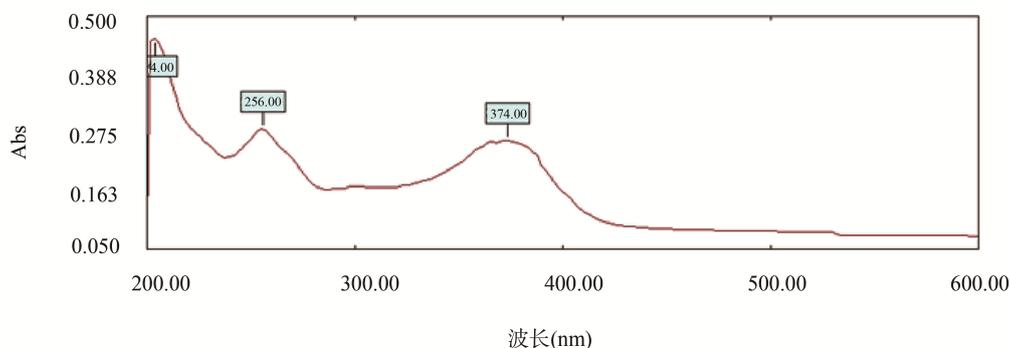


图 1 光谱扫描曲线图

Fig. 1 Curve of spectral scanning

准确称取槲皮素标准品 1.25 mg, 用体积分数 60%乙醇溶解, 移入 25 mL 容量瓶中, 用体积分数 60%乙醇溶液定容(0.05 mg/mL), 摇匀, 在 374 nm 为测定波长下测定吸光度值。得到标准曲线方程为 $Y=52.92X+0.129$, $r^2=0.9994$, 吸光度与槲皮素标准溶液浓度在 0.002~0.014 mg/mL 范围内线性关系良好。

(2)玉米须中槲皮素的粗提取及质量浓度的测定

称取适量的玉米须粉末于锥形瓶中按照液料比 25:1 (mL/g)加入 50%的乙醇, 在功率为 200 W、温度 60 °C 的超声清洗器中超声 40 min, 然后 4000 r/min 离心 5~10 min, 吸取上清液, 得到槲皮素粗提液。

准确吸取 2 mL 粗提液于 25 mL 容量瓶中, 用体积分数 50%乙醇溶液定容, 摇匀, 测定其在 374 nm 波长下的吸光度, 代入标准曲线方程得到槲皮素的质量浓度。

2.2.2 玉米须中槲皮素的纯化

2.2.2.1 大孔树脂的预处理与再生

(1)大孔树脂的预处理

称取一定量大孔树脂, 加入 2 倍体积的无水乙醇浸泡 24 h, 待树脂充分溶胀后用蒸馏水洗至无味; 然后分别用 2 倍体积 5% NaOH、5% HCl 浸泡 3 h, 完毕后用蒸馏水洗至中性。置于 35 °C 恒温干燥箱中烘干 24 h, 备用。

(2)大孔树脂的再生

将使用过的大孔树脂用无水乙醇浸泡 24 h 后, 按预处理的方法分别碱洗酸洗 3 h, 最后用蒸馏水洗至中性, 干燥备用。

2.2.2.2 大孔树脂的静态吸附与洗脱静力学试验

分别称取 1.0 g 预处理后的 NKA-9、AB-8、D101、D280、DA201 大孔树脂于具塞锥形瓶中, 准确移取槲皮素提取液 20 mL, 加入盛有大孔树脂的锥形瓶内, 置于 25 °C、180 r/min 的恒温水浴振荡器上振荡 24 h 后过滤, 测滤液的吸光度值。

取出吸附饱和的树脂, 用滤纸吸干表面水分, 加入体积分数为 70%的乙醇 20 mL, 置于 25 °C、180 r/min 的恒温水浴振荡器上振荡 24 h 后过滤, 测定洗脱液的吸光度值。

计算各树脂在 25 °C 下的吸附率(%), 吸附量($\mu\text{g/g}$)与洗脱率(%), 计算公式如下:

$$E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

$$Q = \frac{(C_0 - C_1) \times V_1}{m} \quad (2)$$

$$D = \frac{C_2 \times V_2}{(C_0 - C_1) \times V_1} \times 100 \quad (3)$$

式中: E 为吸附率, %; Q 为吸附量, $\mu\text{g/g}$; D 为洗脱率, %; C_0 为初始槲皮素的质量浓度, $\mu\text{g/mL}$; C_1 为吸附平衡后槲皮素的质量浓度, $\mu\text{g/mL}$; V_1 为加入样品液体积, mL; m 为树脂质量, g; C_2 为洗脱液中槲皮素的质量浓度, $\mu\text{g/mL}$; V_2 为洗脱

液体积, mL。

2.2.2.3 大孔树脂的动态吸附与洗脱动力学试验

称取适量预处理后的树脂, 装入玻璃层析柱, 先向其中加入 20 mL 70%乙醇溶液浸泡一段时间, 待树脂溶胀后, 水洗。以一定的速率加入 20 mL 槲皮素提取液。吸附饱和后加入 3 倍体积的蒸馏水洗柱, 然后分别加入一定体积分数的适量乙醇洗脱, 收集流出液, 测定吸光度。考察树脂质量、洗脱剂体积、洗脱剂体积分数对玉米须中槲皮素纯化过程动态工艺参数的影响。

2.2.2.4 玉米须中槲皮素纯化工艺条件优化

在单因素试验的基础上, 以纯化后槲皮素的回收率^[17]为指标, 计算公式为(4), 采用 $L_{16}(4^5)$ 正交表进行工艺优化, 正交试验因素与水平见表 1。

$$G = \frac{C_2 \times V_2}{C_0 \times V_1} \times 100 \quad (4)$$

式中: G 为回收率, %; C_0 为初始槲皮素的质量浓度, $\mu\text{g/mL}$; V_1 为加入样品液体积, mL; C_2 为洗脱液中槲皮素的质量浓度, $\mu\text{g/mL}$; V_2 为洗脱液体积, mL。

表 1 因素与水平表
Table 1 Levels of factors

水平	因素		
	A 树脂质量/g	B 洗脱剂体积/mL	C 洗脱剂体积分数/%
1	2.5	25	90
2	2.0	20	80
3	1.5	15	70
4	1.0	10	60

2.2.2.5 玉米须中槲皮素纯度的测定

称取一定量玉米须粉末按照 2.2.1 的方法进行粗提取、浓缩蒸发、烘干后得膏状物, 称重。将膏状物用适量 50%乙醇溶液溶解, 测吸光度, 得槲皮素的质量, 计算纯化前槲皮素的纯度。

每次取 20 mL 上述槲皮素粗提液, 按照最佳工艺参数进行纯化, 收集洗脱液, 烘干后称重。按照上述方法计算纯化后槲皮素的纯度。计算公式为

$$F(\%) = \frac{C \times V}{M} \times 100 \quad (5)$$

式中: F 为槲皮素的纯度, %; C 为槲皮素的质量浓度, mg/mL ; V 为槲皮素提取液的体积, mL; M 为槲皮素干燥后膏状物的质量, mg 。

2.3 数据处理与分析

每次试验重复 3 次, 采用 Excel 2013、SPSS 20.0、DPS 软件对试验结果进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 大孔树脂的筛选

由表 2 可以看出, 5 种大孔树脂中非极性大孔树脂 DA201-C 对玉米须中槲皮素的吸附能力是最强的, D101 次之。分析原因是槲皮素属于非极性化合物, 因此根据相似相溶的原理, 其在水中较易被非极性树脂吸附。但 D101 对玉米须中槲皮素的洗脱能力是最强的。综合考虑吸附与洗脱效果, 选择 D101 型大孔树脂对玉米须中的槲皮素进行纯化。

3.2 D101 大孔树脂动态吸附与洗脱试验

3.2.1 树脂质量的确定

在上样量为 20 mL, 洗脱剂体积为 20 mL, 洗脱剂体积分数为 70% 的条件下, 考察不同树脂质量对玉米须中槲皮素的纯化动态回收率的影响, 结果见图 2。

由图 2 可以看出, 随着树脂质量的增加, 纯化后玉米须中槲皮素的回收率增加。在树脂质量为 1.5 g 时回收率达到最大值, 之后随着树脂质量的增加回收率减少。分析原因是树脂质量一定程度的增加使上样液和洗脱液与树脂的接触机会增加, 纯化效果提高。但在层析柱截面积一定的

条件下, 树脂质量越大, 柱床高度越高, 反而使上样液和洗脱液与树脂接触机会减少, 纯化效果降低。考虑到纯化效果, 选择树脂质量 1.5 g 为较优树脂质量。

3.2.2 洗脱剂体积的确定

在上样量为 20 mL, 树脂质量为 1.5 g, 洗脱剂体积分数为 70% 的条件下, 考察不同洗脱剂体积对玉米须中槲皮素的动态洗脱率的影响, 结果见图 3。

由图 3 可知, 洗脱剂体积在 5~10 mL 范围内, 随着洗脱剂体积的增加, 洗脱率增加较缓慢且较低。洗脱剂体积在 10~15 mL 范围内, 洗脱率急剧上升达到 78.36%。之后随着洗脱剂体积的增加, 洗脱率变化非常小。分析原因是洗脱剂体积低于 15 mL 时, 少量的洗脱剂不足以将吸附的槲皮素完全洗脱下来。洗脱剂体积达到 15 mL, 被树脂吸附的槲皮素洗脱完全, 因此洗脱率达到最大, 之后趋于稳定。考虑到洗脱效果与试剂成本, 选择洗脱剂体积 15 mL 为较优洗脱剂体积。

3.2.3 洗脱剂体积分数的确定

在上样量为 20 mL, 树脂质量为 1.5 g, 洗脱剂体积为 20 mL 的条件下, 考察不同洗脱剂体积分数对玉米须中槲皮素的动态洗脱率的影响, 结果见图 4。

表 2 不同大孔树脂对槲皮素的静态吸附与洗脱效果

Table 2 Static adsorption and desorption of quercetin by different macroporous resins

型号	极性	吸附率/%	吸附量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	洗脱率/%
AB-8	弱极性	89.69±0.27 ^b	0.2237±0.0272 ^{ab}	66.60±0.65 ^b
NKA-9	极性	79.98±0.25 ^d	0.1950±0.0123 ^b	69.58±0.25 ^b
D101	非极性	94.92±0.18 ^a	0.2397±0.0176 ^{ab}	76.07±0.95 ^a
D280	极性	83.12±0.30 ^c	0.1827±0.0210 ^b	36.66±0.51 ^d
DA201-C	非极性	94.79±0.61 ^a	0.2773±0.0203 ^a	40.79±1.39 ^c

注: 以上均为列比较。同一列数据标注不同小写字母表示差异显著^[17], $P<0.05$ 。

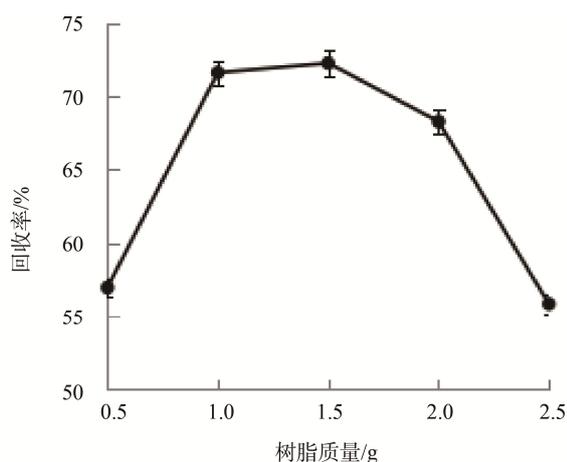


图 2 树脂质量对大孔树脂回收率的影响($n=3$)

Fig. 2 Effects of the resin mass on the recovery rate of macroporous ($n=3$)

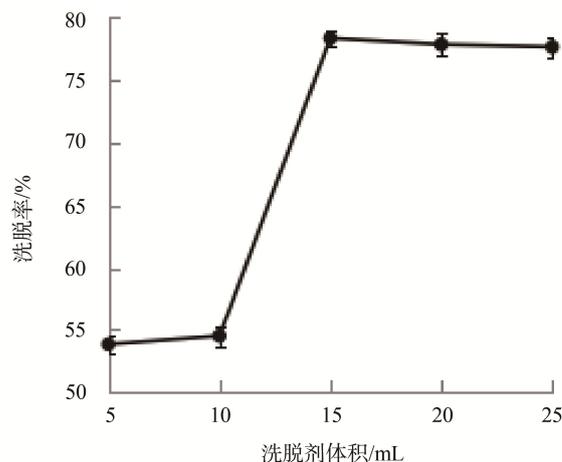


图 3 洗脱剂体积对大孔树脂洗脱率的影响($n=3$)

Fig. 3 Effects of eluent volume on the ratio of desorption of macroporous resin ($n=3$)

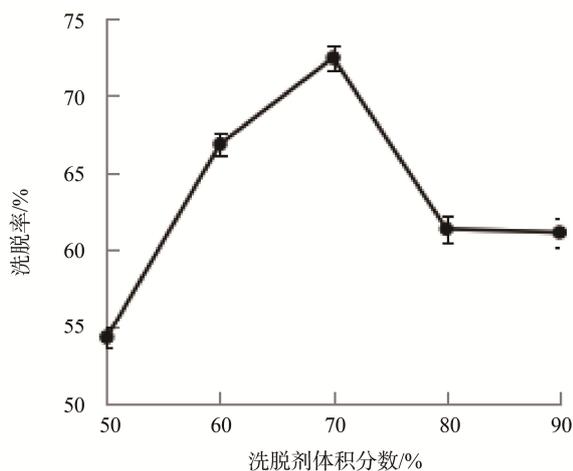


图4 洗脱剂体积分数对大孔树脂洗脱率的影响($n=3$)

Fig. 4 Effects of eluent volume fraction on the ratio of desorption of macroporous resin($n=3$)

由图4可知,洗脱率随洗脱剂体积分数的增加呈现先

升高后降低的趋势。洗脱剂体积分数小于70%时,洗脱率随洗脱剂体积分数的增加而升高。洗脱剂体积分数大于70%时,洗脱率随洗脱剂体积分数的增加而降低。根据相似相溶的原理,70%的乙醇与槲皮素分子极性最接近,因此洗脱率最大。考虑到洗脱效果与试剂成本,选择洗脱剂体积分数70%为较优洗脱剂体积分数。

3.3 正交试验优化结果

为进一步研究树脂质量、洗脱剂体积、洗脱剂体积分数对大孔树脂纯化玉米须中槲皮素的影响,以回收率为指标进行正交试验,结果见表3、4。

由表3极差分析可知,影响玉米须中槲皮素纯化回收率的主次因素顺序为洗脱剂体积分数>洗脱剂体积>树脂质量,即洗脱剂体积分数对槲皮素纯化回收率的影响最大,树脂质量对槲皮素纯化回收率的影响最小,最优水平组合为 $A_3B_3C_3$,即在树脂质量为1.5 g,洗脱剂体积为15 mL,洗脱剂体积分数为70%的条件下,槲皮素的回收率最高。

表3 正交试验结果

Table 3 Results of orthogonal experiment

试验号	A	B	C	D	E	回收率/%
1	1	1	1	1	1	72.24
2	1	2	2	2	2	82.16
3	1	3	3	3	3	84.41
4	1	4	4	4	4	83.22
5	2	1	2	3	4	82.72
6	2	2	1	4	3	82.03
7	2	3	4	1	2	87.82
8	2	4	3	2	1	90.18
9	3	1	3	4	2	84.99
10	3	2	4	3	1	86.50
11	3	3	1	2	4	85.13
12	3	4	2	1	3	86.48
13	4	1	4	2	3	74.97
14	4	2	3	1	4	85.86
15	4	3	2	4	1	83.39
16	4	4	1	3	2	79.59
K_1	80.507	78.730	79.748	83.100	83.078	
K_2	85.688	84.138	83.688	83.110	83.640	
K_3	85.775	85.188	86.360	83.305	81.972	
K_4	80.952	84.868	83.127	83.407	84.233	
R	5.268	6.458	6.612	0.307	2.261	

表 4 方差分析结果
Table 4 Results of variance analysis

方差来源	偏差平方和	自由度	均方和	F_{it}	显著性水平
树脂质量	100.461	3	0.001	17.648	0.01**
洗脱剂体积	110.347	3	0.006	19.385	0.01**
洗脱剂体积分数	88.578	3	0.006	15.560	0.01**
空列	0.274	3	0.002	0.048	
空列	11.111	3	0.003	1.952	
误差	11.38	6	0.002		
总和	322.151	24			

$F_{0.05}(6,24)=4.760$ $F_{0.01}(6,24)=9.780$

注: **表示有极显著的影响

由表 4 方差分析可知, 树脂质量、洗脱剂体积、洗脱剂体积分数对玉米须中槲皮素纯化的回收率的影响都极显著。槲皮素回收率误差限为 2.66%。因此, 最优组合的槲皮素回收率真值在 88.20%~93.52%之间, 置信度为 95%, 按树脂质量为 1.5 g, 洗脱剂体积 15 mL, 洗脱剂体积分数 70% 的条件进行验证试验, 测得槲皮素回收率为 (91.41±1.63)%。因此, 采用正交法优化大孔树脂法纯化玉米须中的槲皮素是可行的。

4 结 论

通过静态吸附与洗脱试验, 表明 D101 是所研究树脂中最适合于玉米须中槲皮素纯化的。在单因素试验的基础上, 通过正交试验确定影响槲皮素纯化效果的主次因素顺序为: 洗脱剂体积分数>洗脱剂体积>树脂质量。最佳工艺条件是: 树脂质量为 1.5 g, 洗脱剂体积为 15 mL, 洗脱剂体积分数为 70%。在该条件下, 纯化后的槲皮素回收率为 (91.41±1.63)%, 实际值与理论值基本吻合。纯化后的样液中槲皮素纯度达到 53.89%, 较纯化前的纯度提高 2.39 倍。因此, 利用 D101 型大孔树脂纯化玉米须中的槲皮素是有效的, 可以为工业生产提供依据。

参考文献

- [1] 王艳. 玉米苞叶中黄酮类化合物的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
Wang Y. Studies on flavonoids in the bract of zea mays L [D]. Changchun: Jilin University, 2010.
- [2] 汤鲁宏, 丁霖霖, 尤丽芬, 等. 玉米须生物活性成分的初步研究—玉米须多糖及其免疫增强作用[J]. 无锡轻工大学学报, 1995, 14(4): 319-324.
Tang LH, Ding XL, You LF, et al. Bio-active substances from corn silk corn silk poly- saccharide and its immunological enhancing function [J]. J Wuxi Univ Light Ind, 1995, 14(4): 319-324.
- [3] 张育光. 玉米须化学成分、药理作用及其应用研究进展[J]. 中国中医药现代远程教育, 2007, 5(2): 34-35.
Zhang YG. The chemical constituents of stigma, pharmacological effects and application research progress [J]. Chin Med Mod Dist Edu Chin, 2007, 5(2): 34-35.
- [4] Lanen JM. Composition of hybrid corn tassels [J]. Cer Chem, 1946, 23: 423-432.
- [5] Machha A, Francis IA, Ali MM, et al. Direct effects of quercetin on impaired reactivity of spontaneously hypertensive rat aortae: comparative study with ascorbic acid [J]. Clin Exp Pharm Physio, 2006, 33(4): 345-350.
- [6] Pavanato A, Tunon MJ, Camposs S, et al. Effects of quercetin on liver damage in rats with carbon tetrachloride-included cirrhosis [J]. Dig Dis Sci, 2003, 48(4): 824-829.
- [7] Chiemi K, Edson LS, Mayumi OK, et al. Attenuation of lipid peroxidation and hyperlipidemia by quercetin glucoside in the aorta of high cholesterol—fed rabbit [J]. Free Radic Res, 2005, 39(2): 185-194.
- [8] Choi YJ, Kang JS, Park JH, et al. Polyphenolic flavonoids differ in their antiapoptotic efficacy in hydrogen peroxide treated human vascular endothelial cells [J]. J Nutr, 2003, 133(4): 985-991.
- [9] 刘淑兰, 翟少伟, 陈伟龙. 槲皮素的生理功能及其应用前景[J]. 广东饲料, 2010, 19(7): 25-27.
Liu SL, Zhai SW, Chen WL. Physiological functions and application prospects of quercetin [J]. Guangdong Feed, 2010, 19(7): 25-27.
- [10] Chen C, Zhou J, Ji CY. Quercetin: a potential drug to reverse multidrug resistance [J]. Life Sci, 2010, 87(11/12): 333-338.
- [11] Moon YJ, Wang X, Morris ME. Dietary flavonoids: effects on xenobiotic and carcinogen metabolism [J]. Toxicol Vitro, 2006, 20(2): 187-210.
- [12] 罗玲, 吴凯男. 槲皮素的癌化学预防作用研究进展[J]. 中草药, 2001, 32(4): 378-379.
Luo L, Wu KN. Advances in research of quercetin on cancer chemoprophylaxis Chinese [J]. Tradit Herb Drugs, 2001, 32(4): 378-379.
- [13] 刘江波. 大孔吸附树脂分离纯化黄酮类化合物的规律性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.

- Liu JB. Studies on the separation and purification of flavonoids with macroporous adsorption resins [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [14] 景怡, 景荣琴, 任远, 等. AB-8 大孔吸附树脂分离纯化玉米须中总黄酮的研究[J]. 中医药学报, 2010, 38(1): 75-78.
- Jing Y, Jing RQ, Ren Y, *et al.* Study on the separation and purification the total flavonoids in the stigma by AB-8 macroporous absorption resins [J]. Acta Chin Med Pharm, 2010, 38(1): 75-78.
- [15] 李柰, 王昌涛, 孙宝国. 沙棘叶中黄酮提取及大孔树脂分离纯化槲皮素[J]. 食品科学技术学报, 2014, 32(4): 56-63.
- Li N, Wang CT, Sun BG. Water extraction and macroporous resins for purification of flavonoids from seabuckthorn leaves [J]. J Food Sci Technol, 2014, 32(4):56-63.
- [16] 王亚红, 王亚丽, 杨艳俊. 大孔树脂纯化瓦松中总黄酮的工艺[J]. 中国医院药学杂志, 2014, 34(10): 791-794.
- Wang YH, Wang YL, Yang YJ. Purification of total flavonoids from orostachy fimbriatus by macroporous adsorption resin[J]. Chin Hosp Pharm, 2014, 34(10): 791-794.
- [17] 于鹤云, 刘汉清, 刘嘉孙, 等. D-101 型大孔吸附树脂纯化黄蜀葵花总

黄酮的工艺研究[J]. 中成药, 2014, 36(3): 520-525.

Yu HY, Liu HQ, Liu JS, *et al.* Purification of total flavonoids from *Abelmoschus manihot* (L.) medic by D-101 microporous resin [J]. Chin Tradit Pat Med, 2014, 36(3): 520-525.

(责任编辑: 金延秋)

作者简介



田佳琦, 主要研究方向为食品科学与工程。
E-mail: 2992840850@qq.com



徐艳阳, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品营养与安全
E-mail: xuyy@jlu.edu.cn