

# 酶法转化糖苷型沙棘叶黄酮生成苷元工艺优化\*

冯淑环<sup>1</sup> 殷丽君<sup>1</sup> 袁蕊<sup>1</sup> 韭泽悟<sup>2</sup> 李刚<sup>3</sup> 程永强<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083;

2. 日本国际农林水产业研究中心, 筑波 305-8686, 日本;

3. 青海康普生物科技股份有限公司, 西宁 810003)

**【摘要】** 为提高聚半乳糖醛酸酶(Pectinex Ultra SP-L)转化沙棘叶黄酮苷元得率,在单因素分析的基础上进行响应面试验。选择酶解时间、酶解温度和pH值为自变量,转化得到的黄酮苷元总质量为响应值。结果显示,酶解时间为显著影响因素,酶解温度和pH值影响不显著。确定了酶解转化的最佳条件为:酶解温度50.8℃,酶解pH值5.16,酶解时间2.5h,在此条件下15mg沙棘叶提取物得到黄酮苷元0.1801mg,转化率为62%。

**关键词:** 聚半乳糖醛酸酶 沙棘叶 黄酮 响应面 转化率

中图分类号: TS201.1; Q556+.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)04-0127-06

## Optimization of Enzymatic Conversion of Flavonoids Extracted from Sea Buckthorn Leaves

Feng Shuhuan<sup>1</sup> Yin Lijun<sup>1</sup> Yuan Rui<sup>1</sup> Nirasawa Satoru<sup>2</sup> Li Gang<sup>3</sup> Cheng Yongqiang<sup>1</sup>

(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba 305-8686, Japan

3. Qinghai General Health Bio-science Co., Ltd., Xining 810003, China)

### Abstract

In order to increase the yield of sea buckthorn leaves flavonoid aglycones converted from flavonoid glycosides by the enzyme-Pectinex Ultra SP-L, on the basis of single-factor test, response surface analysis method was used. Hydrolysis time, hydrolysis temperature and pH value were chosen to be independent variables. The value of flavonoid aglycones quality was regarded as the response value. The results showed that the hydrolysis time was a significant effect factor and hydrolysis temperature and pH value had no significant impact. The optimum conditions for enzymatic conversion were hydrolysis temperature of 50.8℃, pH value of 5.16, hydrolysis time of 2.5 h. Under those conditions, the total aglycones quality obtained from 15 mg sea buckthorn leaf extract was 0.1801 mg and the conversion rate to flavonoids aglycones was 62%.

**Key words** Pectinex Ultra SP-L, Sea buckthorn leaves, Flavonoids, Response surface, Conversion rate

### 引言

沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)是胡颓子科沙棘属的灌木亚乔木,沙棘叶中富含黄酮类化合物<sup>[1]</sup>。在绿色食品开发、医疗保健、疾病防治以及

环境保护等方面都有良好的应用前景。沙棘黄酮是沙棘中一种极其重要的活性成分,在果实和叶子中大量存在,沙棘叶中的黄酮含量甚至高于沙棘果实中的含量,但市场上沙棘产品大多数是由沙棘果实制作的,沙棘叶并未得到广泛关注和有效利用。

收稿日期: 2010-06-24 修回日期: 2010-08-02

\* 国家自然科学基金资助项目(30972286)和“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2007BAD83B03)

作者简介: 冯淑环,硕士生,主要从事功能食品研究,E-mail: shuhuanfeng2004@163.com

通讯作者: 程永强,副教授,主要从事食品生物技术与功能食品研究,E-mail: chengyq@cau.edu.cn

另外,沙棘黄酮制品通常是添加直接提取的黄酮类物质,而在自然界中广泛存在的黄酮类物质都是以糖苷形式存在的,这种存在形式更加稳定。一些中药中所存在的沙棘黄酮大多数也是糖苷形式。而现在越来越多的研究表明,黄酮苷元比糖苷更容易被人体吸收并且具有更强的生理活性<sup>[2-5]</sup>。

因此,将自然状态下的黄酮糖苷经过水解去掉糖而得到的黄酮苷元,将会在很大程度上提高黄酮的利用率。黄酮的水解包括酸水解、碱水解、酶解等方法,酶解法是较为温和且对环境非常友好的一种方法。目前,国内采用酶法水解沙棘黄酮的研究较少,因此本文以获得沙棘黄酮苷元为目的,利用沙棘叶作为原料对沙棘黄酮糖苷向沙棘黄酮苷元的酶解转化进行研究。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料与设备

#### 1.1.1 试验材料

大果沙棘干燥叶粉,2005年采自青海省。芦丁、槲皮素、山奈酚和异鼠李素标品,购自上海同田生物技术有限公司;Pectinex Ultra SP-L(实测酶活267 U/mL),购自诺维信(中国)生物技术有限公司。

#### 1.1.2 主要仪器设备

LC-10Avp型高效液相色谱仪,日本岛津公司;色谱柱,DIAMONSIL C-18(4.6 mm × 250 mm × 5 μm);LGJ-10型冷冻干燥机,北京四环科学仪器厂有限公司制造。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 沙棘叶黄酮类物质的提取方法

将干燥的沙棘叶粉碎过筛,取80~100目(此范围较易提取且提取率较大)之间的叶粉60 g,用石油醚脱脂。于脱脂后叶粉中加入10倍体积的体积分数为65%的乙醇水溶液,于可控温摇床在45℃以150 r/min的频率振荡提取8 h,抽滤,重复提取3次,合并提取液,真空旋转蒸发除去乙醇,冷冻干燥的沙棘叶黄酮提取物。

#### 1.2.2 液相色谱法检测酶解物中沙棘苷元质量

所用高效液相色谱条件为:流动相是体积分数为0.5%的甲酸水溶液(A溶液)和纯乙腈(B溶液)。总流速1 mL/min,进样量20 μL,柱温40℃,检测波长254 nm,灵敏度1.000 0 AUFS。梯度洗脱程序为0~40 min,B溶液体积分数15%~45%。精量称取芦丁、异鼠李素、槲皮素和山奈酚标准品,以峰面积值为纵坐标,质量为横坐标进行线性回归,并计算酶解产物中沙棘黄酮苷元的质量。

### 1.2.3 盐酸水解法测定槲皮素、山奈酚和异鼠李素糖苷的含量

取适量沙棘叶提取物,加入10 mL甲醇,超声5 min以促进溶解,再加入质量分数为25%的盐酸溶液2 mL,吹入氮气15 min,封口。90℃水浴条件下水解1.5 h,冷却后定容至10 mL。经0.45 μm的有机滤膜过滤后用HPLC测定槲皮素、山奈酚和异鼠李素3种物质的含量,并计算提取物中含有这3种苷元的总黄酮糖苷的含量。

$$F = 2.054K + 2.588Q + 2.437I$$

式中  $F$ ——槲皮素、山奈酚和异鼠李素3种物质的总质量,mg

$Q$ ——槲皮素质量,mg

$K$ ——山奈酚质量,mg

$I$ ——异鼠李素质量,mg

2.054、2.588和2.437分别为槲皮素、山奈酚和异鼠李素转化为糖苷的换算因子<sup>[6]</sup>。

### 1.2.4 酶解沙棘叶提取物及酶解转化率

将沙棘叶提取物配制成3 mg/mL的溶液置于试管中,并于试管中加入聚半乳糖醛酸酶,水浴振荡反应。酶解完毕,于4℃下静置30 min,离心,沉淀用色谱级甲醇溶解,用0.45 μm滤膜过滤后进行HPLC检测;上清液经过0.45 μm滤膜过滤后,也进行HPLC检测。在设定的色谱条件下进行HPLC分析。转化率计算式为

$$\zeta = \frac{W_1}{W} \times 100\%$$

式中  $W_1$ ——酶解生成的槲皮素、山奈酚和异鼠李素苷元对应的总糖苷质量,mg

$W$ ——沙棘叶提取物中槲皮素、山奈酚和异鼠李素苷元对应的总糖苷质量,mg

### 1.3 试验设计

#### 1.3.1 单因素试验设计

果胶酶解沙棘叶黄酮类物质主要影响因素有酶解时间、酶解pH值、酶解温度和加酶量等。为了考察各因素对酶解效果的影响,首先进行单因素试验。

(1) 酶解温度对酶解产物中3种黄酮苷元总量的影响:分别取30 mg沙棘叶黄酮提取物,溶于10 mL pH值为6.0的磷酸盐缓冲液中,加入2 U/mg聚半乳糖醛酸酶,在30、40、50、60、70℃中水浴振荡2 h。测定并计算酶解产物中3种黄酮苷元的质量。

(2) 酶解pH对酶解产物中3种黄酮苷元总量的影响:分别取30 mg沙棘叶黄酮提取物,溶于10 mL pH值为3.0、4.0、5.0、6.0、7.0的磷酸盐缓冲液中,加入2 U/mg聚半乳糖醛酸酶,在50℃中水浴振荡2 h。测定并计算酶解产物中3种黄酮苷元

的质量。

(3) 酶解时间对酶解产物中3种黄酮苷元总量的影响:分别取30 mg沙棘叶黄酮提取物,溶于10 mL pH值为6.0的磷酸盐缓冲液中,加入2 U/mg聚半乳糖醛酸酶,在50℃中水浴分别振荡1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 h。测定并计算酶解产物中3种黄酮苷元的质量。

(4) 加酶量对酶解产物中3种黄酮苷元总量的影响:分别取30 mg沙棘叶黄酮提取物,溶于10 mL pH值为6.0的磷酸盐缓冲液中,加入0.67、1.33、2.00、2.67、3.30 U/mg聚半乳糖醛酸酶,在50℃中水浴振荡2 h。测定并计算酶解产物中3种黄酮苷元的质量。

### 1.3.2 响应面法优化果胶酶酶解沙棘叶黄酮工艺

在单因素试验结果的基础上,根据Box2 Benhnken的中心组合试验设计原理,综合单因子试验结果,选取对酶解显著影响的酶解时间、酶解温度、加酶量,在单因子试验的基础上采用三因素三水平的响应面分析方法。每管加入3 mg/mL的提取物溶液5 mL,以酶解得到的槲皮素、山奈酚和异鼠李素总质量为响应值。

## 2 结果与分析

### 2.1 沙棘叶提取物中沙棘总黄酮的含量

由盐酸水解法得到,沙棘叶提取物中含有槲皮素、山奈酚和异鼠李素这3种黄酮苷元的总糖苷的质量分数为4.67%。

### 2.2 标准品及提取物的液相色谱图

对比图1~3色谱图可以看出,酶解转化前沙棘叶提取物中几乎不存在槲皮素、山奈酚和异鼠李素苷元,进一步证明了沙棘叶中槲皮素、山奈酚和异鼠李素主要是以糖苷形式存在的。

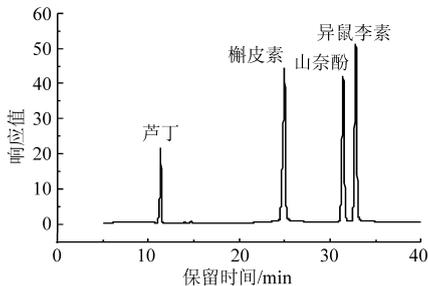


图1 槲皮素、山奈酚和异鼠李素标准溶液的HPLC图谱

Fig. 1 HPLC profiles of standard solutions of quercetin, kaempferol and isorhamnetin

### 2.3 提取物酶解后的液相色谱图

聚半乳糖醛酸酶酶解沙棘叶提取物所得产物的液相色谱图。

由图4~6可以看出,酶解之后的上清液和沉淀的甲醇溶解液中,都存在大量槲皮素、山奈酚和异鼠

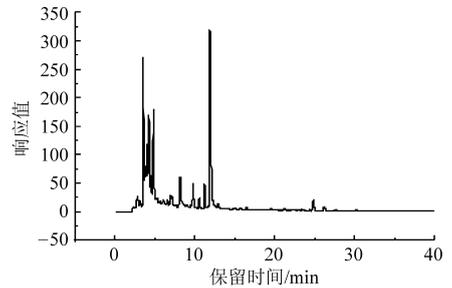


图2 沙棘叶提取物水溶液的HPLC图谱

Fig. 2 HPLC profiles of aqueous solution of sea buckthorn leaves extraction

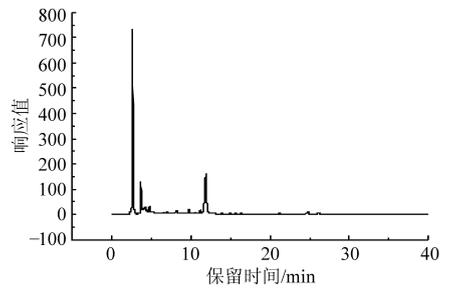


图3 沙棘叶提取物甲醇溶液HPLC图谱

Fig. 3 HPLC profiles of methanol solution of sea buckthorn leaves extraction

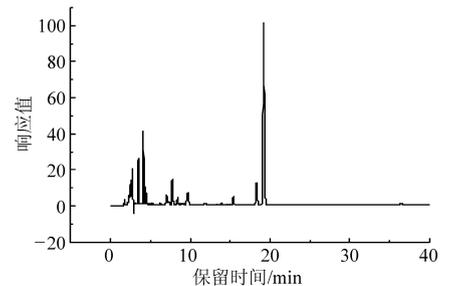


图4 酶液空白对照HPLC图谱

Fig. 4 HPLC profiles of solution of Pectinex Ultra SP-L

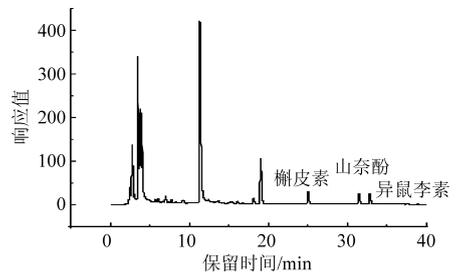


图5 酶解后上清液的HPLC图谱

Fig. 5 HPLC profiles of supernatant after hydrolysis

李素3种苷元。说明在聚半乳糖醛酸酶的作用下,一些糖苷形式的黄酮失去了糖从而生成了槲皮素、山奈酚和异鼠李素苷元,可见聚半乳糖醛酸酶能够引起沙棘叶提取物中黄酮糖苷键的断裂。

### 2.4 聚半乳糖醛酸酶酶解的单因素试验

#### 2.4.1 酶解温度

酶解温度是影响酶反应的重要因素。由图7可以看出,黄酮苷元总质量随着温度的升高先增加后

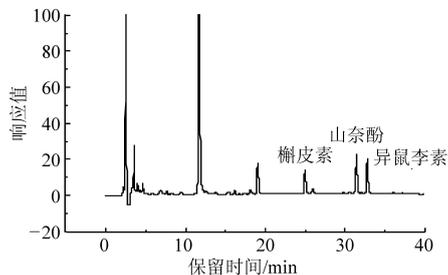


图6 酶解后水不溶物的甲醇溶液 HPLC 图谱  
Fig. 6 HPLC profiles of precipitation dissolved in methanol after hydrolysis

下降。这是因为酶反应也遵循阿伦纽斯原理,提高酶解温度有利于加快酶解速率,但是当酶解温度过高时,蛋白质发生变性,反而降低反应速度。所以在 30 ~ 50℃ 之间,苷元量不断增加,到 50℃ 达到最大,50℃ 之后,黄酮苷元总质量迅速下降。

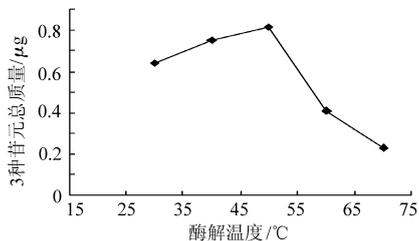


图7 酶解温度对黄酮苷元总质量的影响  
Fig. 7 Effects of hydrolysis temperature on yield of total aglycones

2.4.2 pH 值

pH 值会影响酶蛋白的分子结构,改变 pH 值会影响酶活性中心上必须基团的解离程度,同时也可以影响底物和辅酶的解离程度,从而影响酶分子对底物分子的结合和催化。图 8 为 pH 值对沙棘叶黄酮苷元总质量的影响。pH 值对酶解结果影响非常明显。这是由于在固定了底物浓度和温度的条件下,pH 值为 5 时酶和底物的解离状态,最适宜它们相互结合,并发生催化作用,从而使酶反应速度达到最大值。pH 值大于 5 或者小于 3 时,黄酮苷元总质量明显下降。

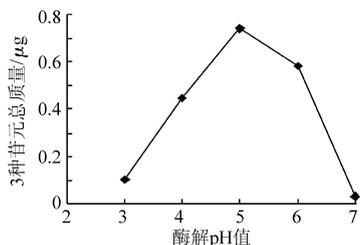


图8 酶解 pH 值对黄酮苷元总质量的影响  
Fig. 8 Effects of pH value on yield of total aglycones

2.4.3 酶解时间

由图 9 可知,黄酮提取物酶解时间为 1 ~ 1.5 h 时对酶解转化影响非常显著,而在 1.5 h 之后随酶解时间延长明显放缓。酶解时间在 2 h 时,结果达

到最高,酶解效果最为显著,2 h 之后,酶解后黄酮苷元总质量相对稳定,随酶解时间延长无明显变化。

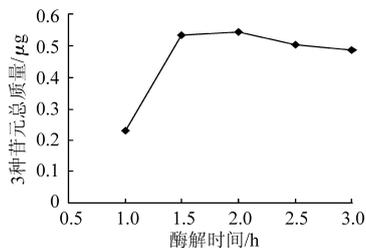


图9 酶解时间对黄酮苷元总质量的影响  
Fig. 9 Effects of hydrolysis time yield of total aglycones

2.4.4 加酶量

由图 10 可知,黄酮提取物随着加酶量的提高不断提升。当加酶量小于 2 U/mg 时,黄酮提取物中苷元总质量随着加酶量的增加改变十分显著,这是由于在固定量的底物中,随着加酶量的增加,越来越多的底物被酶结合反应,因此产物越来越多;在加酶量为 2.7 U/mg 以上时,黄酮苷元总质量基本不随加酶量的改变而增加。因此后续响应面试验中加酶量都采用 2.7 U/mg。

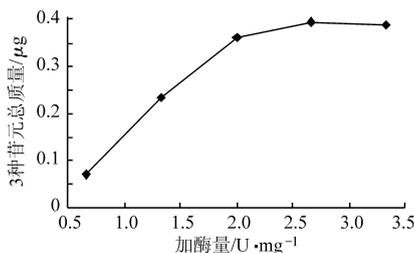


图10 加酶量对黄酮苷元总质量的影响  
Fig. 10 Effects of enzyme dosage on yield of total aglycones

2.5 响应面法优化沙棘叶黄酮酶解工艺

采用 SAS 软件对试验数据进行回归分析,由此可求出影响因素的一次效应、二次效应及其交互效应的关联方程对聚半乳糖醛酸酶酶解沙棘叶提取物的影响因素进行更深入的研究和条件优化,每支试管中加入 3 mg/mL 的沙棘叶提取物溶液 5 mL,进行试验并作出响应面图。

根据单因素试验结果,响应面试验的因素水平如表 1 所示。

表 1 试验因素和水平  
Tab. 1 Factors and levels

水平	因素		
	酶解温度 X <sub>1</sub> /°C	酶解 pH 值 X <sub>2</sub>	酶解时间 X <sub>3</sub> /h
-1	40	4	1
0	50	5	2
1	60	6	3

RSA 试验设计组合和水解得到的 3 种苷元总质量 Y 如表 2 所示。

表2 响应面分析条件及试验结果

Tab.2 Conditions of response surface analysis and test results

序号	酶解温度 $X_1/^\circ\text{C}$	酶解 pH 值 $X_2$	酶解时间 $X_3/\text{h}$	槲皮素质量 $Y_1/\text{mg}$	山奈酚质量 $Y_2/\text{mg}$	异鼠李素质量 $Y_3/\text{mg}$	总质量 $Y/\text{mg}$
1	40	4	2	0.032	0.044	0.034	0.110
2	40	6	2	0.016	0.035	0.033	0.084
3	60	4	2	0.022	0.036	0.024	0.082
4	60	6	2	0.031	0.044	0.038	0.113
5	50	4	1	0.025	0.046	0.034	0.105
6	50	4	3	0.038	0.037	0.050	0.125
7	50	6	1	0.017	0.038	0.028	0.083
8	50	6	3	0.040	0.064	0.057	0.162
9	40	5	1	0.024	0.030	0.024	0.078
10	60	5	1	0.035	0.047	0.040	0.122
11	40	5	3	0.038	0.036	0.039	0.113
12	60	5	3	0.030	0.037	0.062	0.130
13	50	5	2	0.045	0.069	0.059	0.172
14	50	5	2	0.047	0.070	0.060	0.177
15	50	5	2	0.042	0.065	0.060	0.168

经过多元回归拟合分析,得到产物中3种黄酮苷元总质量与聚半乳糖醛酸酶酶解各因素的二次方程模型为

$$Y = 0.172 + 0.008X_1 + 0.002X_2 + 0.018X_3 - 0.041X_1^2 + 0.014X_1X_2 - 0.007X_1X_3 - 0.034X_2^2 + 0.015X_2X_3 - 0.020X_3^2$$

对表2中的试验结果进行统计分析,得到的方差分析结果如表3所示。由表3可知,模型显著( $P < 0.05$ ),并且失拟项不显著( $P > 0.05$ ),因此此模型可以真实地拟合和推测实际情况。考察因素发现:酶解时间是显著影响因素,而pH值和酶解温度不是显著影响因素。虽然从单因素分析上看,三者都会明显影响苷元的产生,但是在响应面分析中,为了得到最优条件、减小误差、突出规律,缩小了因素的取值范围,从而削弱了因素的影响。由于交互项不显著,因素间的交互作用不显著。

根据回归方程,作出响应面和等高线,考察拟合响应曲面的形状,分析酶解时间、酶解温度、和酶解pH值对酶解得率的影响。由图11可知,酶解温度一定时,固定酶解时间,观察pH值对黄酮苷元总质量的影响可以发现,黄酮苷元总质量等高线变化比较平缓稀疏,需要有较大pH值变化才会影响到苷元的质量。而当固定酶解pH值时,观察酶解时间对于酶解效果的影响可以发现,苷元含量等高线变化稠密而陡峭,即酶解时间轻微的变动就会改变酶解效果。以上结果直观地反映了酶解时间是显著影

表3 方差分析

Tab.3 Variance analysis

因素	自由度	平方和	均方	F	P值
$X_1$	1	0.000464	0.000464	2.541033	0.171804
$X_2$	1	0.000047	0.000047	0.259593	0.63284
$X_3$	1	0.002498	0.002498	13.67263	0.014034*
$X_1^2$	1	0.006322	0.006322	34.61041	0.002016**
$X_1X_2$	1	0.000829	0.000829	4.538024	0.086375
$X_1X_3$	1	0.000178	0.000178	0.974934	0.368794
$X_2^2$	1	0.004175	0.004175	22.85461	0.004968**
$X_2X_3$	1	0.000874	0.000874	4.782867	0.080403
$X_3^2$	1	0.001468	0.001468	8.037068	0.036461*
模型	9	0.015448	0.001716	9.396638	0.011901*
一次项	3	0.003009	0.001003	5.491086	0.048643*
二次项	3	0.010558	0.003519	19.26689	0.003538**
交互项	3	0.001881	0.000627	3.431942	0.108854
误差	5	0.000913	0.000183		
失拟项	3	0.000872	0.000291	14.20201	0.066496
纯误差	2	0.000041	0.00002		
总和	14	0.016362			

注: \* 为显著, \*\* 为高度显著。

响因素的结论。而且从等高线上,可以发现苷元含量的极大值在pH值4.8~5.4之间,酶解时间在2~3h之间的区域。

图12为酶解温度和酶解时间对黄酮质量的影

响。在固定酶解 pH 值和酶解时间时,随着温度升高,苷元质量升高,在 51℃ 左右达到峰值,随后酶蛋白的变性反应成为主导,酶活降低,苷元转化率降

低。延长酶解时间后苷元质量增加,在 2.1 ~ 2.7 h 间到达顶峰。随后有所下降,这可能是产物增加到一定程度后抑制水解反应的进一步进行。

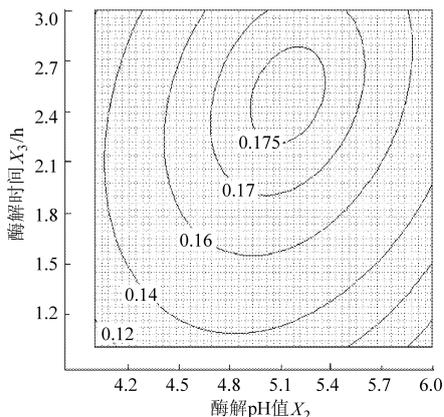
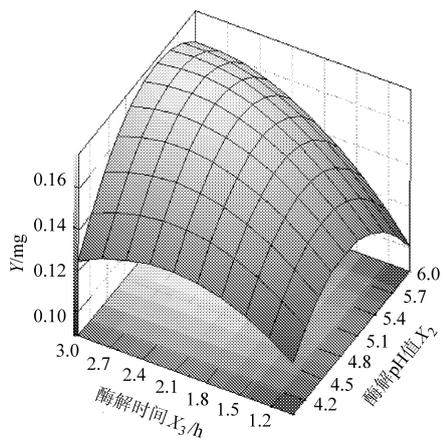


图 11 酶解时间和 pH 值对黄酮苷元总质量 Y 的影响(酶解温度为 50℃)

Fig. 11 Effects of hydrolysis time and pH value on the yield of the total aglycones(hydrolysis temperature is 50℃)

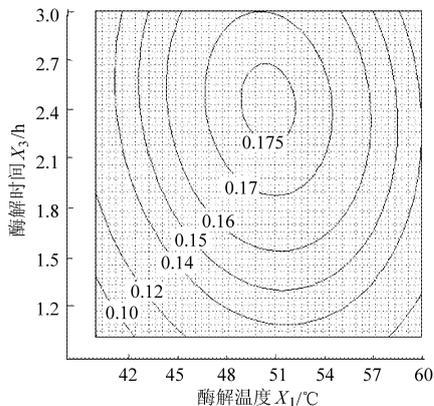
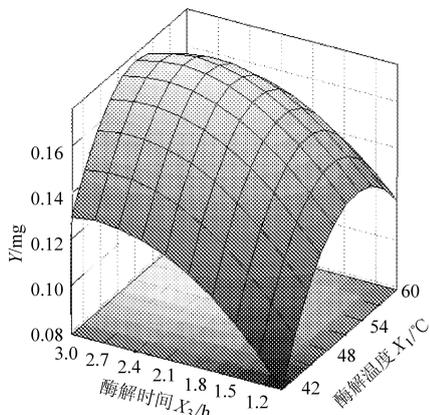


图 12 酶解时间和温度对黄酮苷元总质量 Y 的影响(酶解 pH 值为 5)

Fig. 12 Effects of hydrolysis time and pH value on the yield of the total aglycones(pH value is 5)

为进一步确定最佳点,对回归方程取导数求极值得最佳条件为:酶解温度 50.8℃,酶解 pH 值 5.16,酶解时间 2.5 h。在此工艺条件下 3 种黄酮苷元总质量的预测值为 0.176 9 mg ± 0.007 3 mg。经试验,在此条件下 15 mg 提取物实际得到的黄酮苷元质量分别为:槲皮素 0.045 8 mg,山奈酚 0.083 4 mg,异鼠李素 0.050 9 mg。

实际测得的 3 种黄酮苷元总质量为 0.180 1 mg,在预测极大值 0.169 6 ~ 0.184 2 mg 之间。与理论预测值相比,其相对误差约为 1.9 %。将得到的槲皮素、山奈酚和异鼠李素换算得到三者的总糖苷为 0.456 8 mg,计算得此时 3 种黄酮苷元的转化率为 62%。

### 3 结束语

采用聚半乳糖醛酸酶对沙棘叶黄酮进行酶解转化,通过单因素试验和响应面分析对聚半乳糖醛酸酶对沙棘叶黄酮转化工艺进行优化,得出较优工艺条件为:酶解温度 50.8℃,酶解 pH 值为 5.16,酶解时间 2.5 h。在此条件下实际得到的黄酮苷元质量分别为:槲皮素 0.045 8 mg,山奈酚 0.083 4 mg,异鼠李素 0.050 9 mg,总的苷元质量为 0.180 1 mg。在此转化条件下,酶解转化率可达到 62%。并得到转化率与酶解各因素变量的二次方程模型,该模型回归极显著。

### 参 考 文 献

1 杨喜花,陈敏,朱蕾,等. 超声循环提取沙棘叶中总黄酮的研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(3): 166 ~ 168.  
 Yang Xihua, Chen Min, Zhu Lei, et al. Study on extraction of flavonoids from sea buckthorn leaves by ultrasonic wave [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(3): 166 ~ 168. (in Chinese)

- Huang Lingxia, Wu Di, Jin Hangfeng, et al. Non-destructive detection of cocoon shell weight based on variable selection by visible and near infrared spectroscopy [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(2): 231 ~ 236. (in Chinese)
- 9 高洪智, 卢启鹏, 丁海泉, 等. 基于连续投影算法的土壤总氮近红外特征波长的选取[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(11): 2951 ~ 2954.
- Gao Hongzhi, Lu Qipeng, Ding Haiquan, et al. Choice of characteristic near-infrared wavelengths for soil total nitrogen based on successive projection algorithm [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(11): 2951 ~ 2954. (in Chinese)
- 10 孙旭东, 章海亮, 欧阳爱国, 等. 南丰蜜桔可溶性固形物近红外特征波段选择[J]. 农业机械学报, 2009, 40(7): 129 ~ 132.
- Sun Xudong, Zhang Hailiang, Ouyang Aiguo, et al. Selection of NIR characteristic wavelength bands for soluble solids content in Nanfeng mandarin fruit [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(7): 129 ~ 132. (in Chinese)
- 11 张巧杰, 张军. 基于小波变换的大米直链淀粉波长选择方法[J]. 农业机械学报, 2010, 41(2): 138 ~ 142.
- Zhang Qiaojie, Zhang Jun. Region selecting methods of near infrared wavelength based on wavelet transform [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(2): 138 ~ 142. (in Chinese)
- 12 陈斌, 孟祥龙, 王豪. 连续投影算法在近红外光谱校正模型优化中的应用[J]. 分析测试学报, 2007, 26(1): 66 ~ 69.
- Chen Bin, Meng Xianglong, Wang Hao. Application of successive projections algorithm in optimizing near infrared spectroscopic calibration model [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2007, 26(1): 66 ~ 69. (in Chinese)

(上接第 132 页)

- 2 高荣海, 赵秀红, 郑艳, 等. 大豆异黄酮糖苷和苷元免疫功能研究[J]. 粮油与油脂, 2008(7): 43 ~ 44.
- Gao Ronghai, Zhao Xiuhong, Zheng Yan, et al. Study on immunity fuction of soybean isofavone glycosides and aglycones [J]. Oils and Fats, 2008(7): 43 ~ 44. (in Chinese)
- 3 Mariusz K P, Jun Y, Yukihiro I. Daidzein and genistein but not their glucosides are absorbed from the rat stomach [J]. FEBS Letters, 1999, 447(2): 287 ~ 291.
- 4 Kenneth D R S, Nadine M B, Linda Z N, et al. Evidence for lack of absorption of soy isoflavone glycosides in humans, supporting the crucial role of intestinal metabolism for bioavailability [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2002, 76(2): 447 ~ 453.
- 5 Toru I, Mariusz K P, Sachiko O, et al. Soy isoflavone aglycones are absorbed faster and in higher amounts than their glucosides in humans [J]. The Journal of Nutrition, 2000, 130(7): 1695 ~ 1699.
- 6 熊冬梅, 邓泽元, 刘蓉, 等. 高效液相色谱法测定银杏保健品中总黄酮[J]. 食品科学, 2009, 30(22): 256 ~ 259.
- Xiong Dongmei, Deng Zeyuan, Liu Rong, et al. Determination of total flavonoids in *Ginkgo biloba* health products by HPLC [J]. Food Science, 2009, 30(22): 256 ~ 259. (in Chinese)