

洋葱皮总黄酮提取工艺的优化

刘江¹, 胡筱波^{1*}, 郝强¹, 时国庆²

(1. 华中农业大学 食品科技学院, 湖北 武汉 430070; 2. 郑州轻工业学院 食品与生物工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 为了优化洋葱皮黄酮的提取工艺, 以洋葱皮黄酮得率为考察指标, 在单因素试验基础上结合三元二次回归正交旋转组合设计, 对洋葱皮总黄酮的提取工艺进行研究。结果表明, 浸提次数、乙醇体积分数、液料比、浸提时间、浸提温度等因素都对黄酮得率有影响。采用 SAS 软件进行运算分析, 建立提取率吸光度(Y)与调控因子(X_i)间的回归方程: $Y = 0.439431 + 0.019437X_1 + 0.007312X_2 + 0.009812X_3 - 0.014998X_1^2 + 0.001125X_1X_2 - 0.004873X_2^2 - 0.003375X_1X_3 - 0.001875X_2X_3 - 0.007373X_3^2$ 。主因素效应分析结果表明, 3 个因素对洋葱皮黄酮提取率有显著影响, 大小顺序为浸提温度(X_1) > 液料比(X_3) > 提取时间(X_2); 因素间交互效应分析表明, 交互作用并不显著。对回归模型进行频率分析, 结果表明, 醇水提取黄酮的具体工艺参数为: 浸提温度 72.7℃、浸提时间 2.1h、液料比 32.1:1, 在此条件下用 50% 乙醇浸提 2 次, 提取率吸光度均值为 0.433, 则洋葱皮黄酮的提取率可达 3.8%。

关键词: 洋葱皮; 黄酮; 三元二次回归正交旋转组合设计

中图分类号: S633.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-3268(2011)06-0153-05

Optimization of Extraction Technics of Total Flavones in Onionskin

LIU Jiang¹, HU Xiaobo^{1*}, HAO Qiang¹, SHI Guoqing²

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. School of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to optimize the extraction technology of the onionskin flavones, the extraction technics which onionskin flavones extraction ratio was used as the index were studied by single factor and second-order regression orthogonal rotation design. The times of extraction, concentration of ethanol, the ratio of liquid to material, extraction time, extraction temperature all affected the extraction ratio. All the data were put into SAS software to get the regression equation of extraction absorbance(Y) and the factor (X_i) which was $Y = 0.439431 + 0.019437X_1 + 0.007312X_2 + 0.009812X_3 - 0.014998X_1^2 + 0.001125X_1X_2 - 0.004873X_2^2 - 0.003375X_1X_3 - 0.001875X_2X_3 - 0.007373X_3^2$. The analysis of single factor showed that the sequence of influence was the temperature(X_1) > ratio of liquid to material (X_3) > the time(X_2); the interaction effects were not obvious. Frequency analysis on the regression model showed that the optimize plan which 95% confidence interval (absorbance > 0.430) were considered as follows: 50% ethanol (V/V) as solvent, ration of liquid to material 32.1:1 (V/m) at 72.7℃ for 2.1h each time for 2 times, the average extraction absorbance was 0.433 and the content of flavones in onion-skin was as high as 3.8%.

Key words: Onionskin; Flavones; Second-order regression orthogonal rotation design

收稿日期: 2010-12-10

作者简介: 刘江(1984), 女, 河南郑州人, 在读硕士研究生, 研究方向: 食品科学。E-mail: giali@126.com

* 通讯作者: 胡筱波(1974), 女, 湖南长沙人, 副教授, 博士, 主要从事功能食品及其营养评价、农副产品深加工等方面的研究。

E-mail: hxbxmg@mail.hzau.edu.cn

黄酮类化合物是广泛存在于植物界的一大类天然产物,具有多种生理功能,可以降低胆固醇,改善血液循环,减少心脑血管疾病的发病率^[1];具有降低血糖^[2]、稳定胶原质、改善糖尿病引起的视网膜病及毛细血管脆化的作用。黄酮还能抑制炎性生物酶的渗出,增进伤口愈合和止痛^[3]。此外,黄酮类化合物还能抑制癌细胞生长和对抗致癌、促癌因子,是一类可用于癌症化学预防的天然产物^[4]。

洋葱皮是百合科(Liliaceae)葱属(*Allium*) 2a 生草本植物洋葱的外层干皮,是洋葱种植和加工过程中产生的废弃物。国内外一些研究发现,洋葱中含有丰富的黄酮类化合物,尤以最外层表皮含量最高^[5]。从洋葱皮中提取黄酮类化合物用于开发相关保健食品基料,可以变废为宝,减少污染,提高农产品附加值。目前,对洋葱皮的相关研究较少,陈勇等、徐德峰等通过颜色反应和薄层层析等方法对其中黄酮类化合物进行了初步定性分析,推测其为槲皮素及其衍生物^[6-7];白明生等、王莹等采用四因素三水平正交试验,对其提取工艺进行了研究^[8-9]。本研究拟采用三元二次回归正交旋转组合设计建立数学模型,优化洋葱皮总黄酮的提取工艺。

1 材料和方法

1.1 原料及仪器

原料:洋葱皮采集于郑州市北环蔬菜批发市场,为红皮洋葱剥离废弃物。将洋葱皮洗净、烘干、粉碎备用。无水乙醇(AR),北京化工厂;槲皮素标准品:中国药品生物制品鉴定所提供,纯度 95%(AR)。

仪器:T6 新世纪型分光光度计(北京普析通用仪器有限公司);SHZ-2000 型双配套循环水式多用真空泵(巩义市英峪予华仪器厂);RE-52A 型旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂);HH-2 数显恒温水浴锅(金坛市华峰仪器有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 槲皮素标准曲线的绘制与洋葱皮黄酮含量的计算

1.2.1.1 槲皮素标准曲线的绘制 采用 $\text{NaNO}_2\text{-Al(NO}_3)_3\text{-NaOH}$ 法^[10]:精确称取槲皮素标准品 20.2 mg,用 60% 乙醇定容至 100 mL,得到槲皮素储备液 $C_{\text{储}} = 0.202 \text{ g/L}$ 。从中精确吸取 5.0 mL,用 30% 乙醇定容至 100 mL,得到槲皮素标准液 $C_{\text{标}} = 0.0101 \text{ g/L}$ 。精确吸取 0、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 mL 此溶液于 10 mL 容量瓶中,用 30% 乙醇补足至 5 mL,精确加入 5% NaNO_2 0.3 mL,摇匀后放置 5 min,再加入 10% $\text{Al(NO}_3)_3$ 0.3 mL,摇匀后再放

置 6 min,最后加入 4% NaOH 4 mL,分别用 30% 乙醇定容至刻度,摇匀,放置 10 min 后,在 318 nm 处测定吸光度,以不加槲皮素标准液的反应溶液为参比。

1.2.1.2 洋葱皮黄酮类物质含量的测定^[11] 精确称取洋葱皮粉末 5.00 g 于 500 mL 圆底烧瓶中,加入一定量不同体积分数的乙醇溶液,在不同条件下水浴提取,提取液抽滤离心,合并滤液,用 30% 的乙醇溶液定容至 500 mL,再精确吸取 0.1 mL 上述溶液于 10 mL 容量瓶中,其他操作同 1.2.1.1,测定其吸光度,根据回归方程求出洋葱皮总黄酮提取液的质量浓度(C),按公式(1)计算样品黄酮类物质得率(E), $E = \frac{C \times 10 \times 5000}{5 \times 1000} \times 100\%$ (1)。

1.2.2 单因素试验 试验分别考察了浸提次数、乙醇体积分数、液料比、浸提时间、浸提温度对洋葱皮总黄酮得率的影响。以洋葱皮黄酮类物质含量为评价指标,对浸提次数(1、2、3、4)、乙醇体积分数(10%、30%、50%、70%、90%、100%)、液料比(10 ◇1、20 ◇1、30 ◇1、40 ◇1、50 ◇1)、浸提时间(0.5 h、1 h、1.5 h、2 h、2.5 h、3 h)、浸提温度(40 ℃、50 ℃、60 ℃、70 ℃、80 ℃、90 ℃) 5 种影响因素进行单因素试验。

1.2.3 三元二次回归正交旋转组合设计 参照单因素试验结果,试验以 5.00 g 洋葱皮中提取出的总黄酮所对应的吸光度值为目标函数,选择提取温度(℃)、提取时间(h)、液料比(V/m)为调控因子,采用三元二次回归正交旋转组合设计优化提取工艺,设计水平及编码值见表 1。

编码值	因素		
	X_1 (提取温度,℃)	X_2 (提取时间,h)	X_3 (液料比, V/m)
- 2	60	1.5	20 ◇1
- 1	65	1.75	25 ◇1
0	70	2	30 ◇1
1	75	2.25	35 ◇1
2	80	2.5	40 ◇1
变化值	5	0.25	5 ◇1

2 结果与分析

2.1 黄酮类物质的标准曲线

用最小二乘法作线性回归,得到槲皮素质量浓度(C)与吸光度(A)关系曲线的回归方程为: $A = 114.23C + 0.0016$, $R^2 = 0.9991$ (2),说明在此浓度范围内槲皮素质量浓度与吸光度有良好的线性相关性(图 1)。

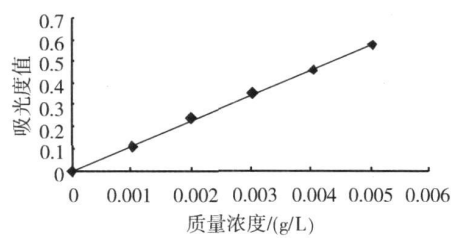


图 1 槲皮素标准曲线

2.2 洋葱皮黄酮提取率单因素试验结果

在浸提温度 70℃、液料比 30∶1、浸提时间 2 h、乙醇体积分数 50% 条件下,4 次浸提对黄酮总量的贡献率分别为 72.8%、19.8%、4.9%、2.5%,说明前 2 次浸提已将绝大部分黄酮类物质提取出来,故选择提取次数为 2 次。相同条件,考察提取时间对黄酮得率的影响,结果显示:在浸提时间低于 2 h 时,黄酮类物质含量呈迅速增加的趋势;2 h 后,增加放缓。说明 2 h 即可基本使黄酮类物质达到溶解平衡。

在浸提温度 70℃、液料比 30∶1、浸提时间 2 h、浸提 2 次的条件下,改变乙醇体积分数(10%、30%、50%、70%、90%、100%),考察乙醇体积分数对黄酮类物质得率的影响。结果表明,随着乙醇体积分数的增加,洋葱皮黄酮类物质提取率呈先增后减的趋势,在乙醇体积分数为 50% 时,达到最大,这可能是 50% 乙醇最利于黄酮类物质的溶出。料液比的考察结果显示,在(10~50)∶1 的 5 个液料比中,随着液料比的增大,黄酮类物质得率逐渐增加。当料液比为 30∶1 时,再增大比例,黄酮类物质得率增加不明显,考虑到溶剂用量和能源损耗等因素,选择 30∶1 进一步优化。同样,在 40~90℃ 的 6 个温度条件下,在较低温度范围内,随着浸提温度的升高,黄酮类物质得率亦随之增加,当温度达到 70℃ 时,含量最高,但当温度再升高时含量反而降低。这可能是由于随着浸提温度的升高,分子运动速度加快,渗透、扩散、溶解速度加快,但过高温度可能引起黄酮类物质结构破坏。

2.3 洋葱皮黄酮提取率三元二次回归正交旋转组合试验结果

2.3.1 数学模型的建立 洋葱皮黄酮提取率的试验结果见表 2。采用 SAS 软件对试验数据进行运算分析,建立提取率吸光度(Y)与调控因子(X_i)间的回归方程: $Y = 0.439431 + 0.019437X_1 + 0.007312X_2 + 0.009812X_3 - 0.014998X_1^2 + 0.001125X_1X_2 - 0.004873X_2^2 - 0.003375X_1X_3 -$

$0.001875X_2X_3 - 0.007373X_3^2$ (3)。

SAS 软件分析得到失拟项= 0.175 2> 0.05,表明试验设计合理,该模型能较好地描述变量与提取率吸光度之间的关系。

表 2 洋葱皮黄酮提取率吸光度(Y)与调控因子(X_i)的三元二次回归正交旋转组合设计及结果

试验号	因素			Y(A)
	X_1	X_2	X_3	
1	1	1	1	0.439
2	1	1	-1	0.429
3	1	-1	1	0.422
4	1	-1	-1	0.416
5	-1	1	1	0.398
6	-1	1	-1	0.386
7	-1	-1	1	0.397
8	-1	-1	-1	0.366
9	2	0	0	0.423
10	-2	0	0	0.347
11	0	2	0	0.442
12	0	-2	0	0.409
13	0	0	2	0.440
14	0	0	-2	0.391
15	0	0	0	0.441
16	0	0	0	0.447
17	0	0	0	0.429
18	0	0	0	0.434
19	0	0	0	0.437
20	0	0	0	0.451
21	0	0	0	0.433
22	0	0	0	0.445
23	0	0	0	0.449

2.3.2 提取率吸光度数学模型解析 主因素效应分析:为了分析各主因素对洋葱皮总黄酮提取率的单独影响,通过“降维法”,把回归方程(3)其他 2 个因素固定在零水平,得到第 3 个因素的偏子回归方程:

$Y_1 = 0.439431 + 0.019437X_1 - 0.014998X_1^2$ (4),

$Y_2 = 0.439431 + 0.007312X_2 - 0.004873X_2^2$ (5),

$Y_3 = 0.439431 + 0.009812X_3 - 0.007373X_3^2$ (6),

对其分别求导,可得:

$dy_1/dx_1 = 0.019437 - 0.029996X_1$ (7),

$dy_2/dx_2 = 0.007312 - 0.009746X_2$ (8),

$dy_3/dx_3 = 0.009812 - 0.014746X_3$ (9)。

令 $dy_i/dx_i = 0$ ($i = 1, 2, 3$) 可求出 Y_i 极大值时各主因素单独最适量: $X_1 = 0.648$ 、 $X_2 = 0.750$ 、 $X_3 = 0.665$ 。

由方程式(4) - (6) 知,主因素对提取率影响大小顺序为浸提温度(X_1)> 液料比(X_3)> 提取时间(X_2)。由主效应模型得出各因素不同水平下提取率(表 3),由此可知:(1)随着浸提温度的增加,洋葱皮黄酮的提取率增加,且在 60~70℃ 范围内有较大增幅,之后增幅变小,75~80℃ 范围内提取率随着温度增加反而减小;(2)随着浸提时间的增加,洋葱皮

黄酮的提取率呈现先增加后降低的趋势, 在 2. 25 h 附近达到最大, 之后略有降低; (3) 随着液料比的增加, 洋葱皮黄酮的提取率也随之增加, 且在 35 ∶ 1 附近达到最大, 随后降低, 但变化幅度较小。

表 3 温度、时间、液料比对洋葱皮黄酮提取率吸光度的影响

因素	不同水平吸光度					平均吸光度
	- 2	- 1	0	1	2	
X_1	0. 340 565	0. 404 996	0. 439 431	0. 443 87	0. 418 313	0. 409 435
X_2	0. 405 315	0. 427 246	0. 439 431	0. 441 87	0. 434 563	0. 429 685
X_3	0. 390 315	0. 422 246	0. 439 431	0. 441 87	0. 429 563	0. 424 685

因素间交互效应分析: 固定该模型任何一个因素为 0 水平时可得另 2 个因素交互效应模型:

$$Y_{12} = 0. 439 431 + 0. 019 437X_1 + 0. 007 312X_2 - 0. 014 998X_1^2 + 0. 001 125X_1X_2 - 0. 004 873X_2^2 \quad (10),$$

$$Y_{13} = 0. 439 431 + 0. 019 437X_1 + 0. 009 812X_3 - 0. 014 998X_1^2 - 0. 003 375X_1X_3 - 0. 007 373X_3^2 \quad (11),$$

$$Y_{23} = 0. 439 431 + 0. 007 312X_2 + 0. 009 812X_3 - 0. 004 873X_2^2 - 0. 001 875X_2X_3 - 0. 007 373X_3^2 \quad (12).$$

由表 4 可知, 浸提温度与液料比的交互效应为: 随着液料比的增加, 提取率呈现先增加后降低的趋势, 到 35 ∶ 1 水平时最高, 以后有小幅降低; 低温条件下, 随液料比的增加, 其变化幅度较大, 中等和较高温度时, 变化幅度较小, 且在 30 ∶ 1 水平时取到最大值。通过对两因素不同水平的分析可以得到, 浸提温度 75 ℃ 和料液比 30 ∶ 1 为两因素最佳提取率组合。同理可分析其他条件下的提取率。

表 4 浸提温度与液料比交互效应下的洋葱皮黄酮提取率吸光度

X_3	X_1					平均吸光度
	- 2	- 1	0	1	2	
- 2	0. 277 949	0. 349 13	0. 390 315	0. 401 504	0. 382 697	0. 360 319
- 1	0. 316 63	0. 384 436	0. 422 246	0. 430 06	0. 407 878	0. 392 25
0	0. 340 565	0. 404 996	0. 439 431	0. 443 87	0. 418 313	0. 409 435
1	0. 346 379	0. 410 81	0. 441 87	0. 442 934	0. 414 002	0. 411 199
2	0. 344 197	0. 401 878	0. 429 563	0. 427 252	0. 394 945	0. 399 567
\bar{Y}	0. 325 144	0. 390 25	0. 424 685	0. 429 124	0. 403 567	

2. 3. 3 提取率模型优化 本试验采用频率分析法寻找最优工艺。对数学回归模型进行频率分析, 得到的结果见表 5, 在 95% 置信区间内提取率吸光度大于 0. 430 的优化提取方案为: 温度 71. 56~ 73. 80 ℃, 时间

2. 04~ 2. 24 h, 液料比(30. 14~ 34. 15) ∶ 1, 提取条件的平均值: 温度 72. 7 ℃, 时间 2. 1 h, 液料比 32. 1 ∶ 1, 提取率吸光度均值为 0. 433, 根据公式(1)、(2) 计算得到洋葱皮黄酮提取率可达 3. 8%。

表 5 温度、时间、液料比的取值频率分析

水平	X_1		X_2		X_3	
	次数	频率	次数	频率	次数	频率
- 2	0	0. 0000	0	0. 0000	0	0. 0000
- 1	0	0. 0000	5	0. 178 6	6	0. 214 3
0	14	0. 5000	8	0. 285 7	9	0. 321 4
1	13	0. 464 3	9	0. 321 4	8	0. 285 7
2	1	0. 035 7	6	0. 214 3	5	0. 178 6
合计	28	1. 0000	28	1. 0000	28	1. 0000
95% 置信区间	0. 312 286~ 0. 759 143		0. 170 555~ 0. 972 302		0. 027 698~ 0. 829 445	
最佳方案	71. 56~ 73. 80		2. 04~ 2. 24		(30. 14~ 34. 15) ∶ 1	

3 结论与讨论

本试验根据三元二次回归旋转正交组合设计, 建立洋葱皮黄酮提取率的回归方程为 $Y = 0. 439 431 + 0. 019 437X_1 + 0. 007 312X_2 + 0. 009 812X_3 - 0. 014 998X_1^2 + 0. 001 125X_1X_2 - 0. 004 873X_2^2 - 0. 003 375X_1X_3 - 0. 001 875X_2X_3 - 0. 007 373X_3^2$ 。

SAS 软件分析得到失拟项 = 0. 175 2 > 0. 05, 表明试验设计合理, 该模型能较好地描述变量与提取率吸光度之间的关系。经过计算机模拟优化分析后, 确定出对洋葱皮黄酮提取有显著影响的 3 个因素, 对提取率影响大小的顺序为浸提温度(X_1) > 液料比(X_3) > 提取时间(X_2); 最佳工艺参数为浸提温度 72. 7 ℃、浸提时间 2. 1 h、液料比 32. 1 ∶ 1, (下转第 160 页)

表 7 正交试验结果

序号	发酵时间/min	单甘酯/%	维生素 C/%	CM G-Na/%	总评分
1	18	0.38	0.28	0.125	79
2	18	0.40	0.30	0.15	82
3	18	0.42	0.32	0.175	76
4	20	0.38	0.30	0.175	86
5	20	0.40	0.32	0.125	90
6	20	0.42	0.28	0.15	81
7	22	0.38	0.32	0.15	77
8	22	0.40	0.28	0.175	79
9	22	0.42	0.30	0.125	74
K ₁	79	80.7	79.7	81	
K ₂	85.7	83.7	80.6	80	
K ₃	76.7	77	81	80.3	
较好水平	A ₂	B ₂	C ₃	D ₁	
极差 R	9.0	6.7	1.3	1	
影响因素顺序	1	2	3	4	

3 结论

- 1) 随着二次醒发时间的增加, 酵母产气量增加, 面团冷冻后裂纹和冻缩的程度也呈增加趋势。醒发时间过长还会导致酵母过度活化, 产气过多, 在解冻(醒发)中后劲不足, 从而导致塌陷、产品口感差、比容较小等问题。综合各因素情况, 最终确定最佳二次醒发时间为 20 min。
- 2) 添加单甘酯、维生素 C、CM G-Na 的冷冻面团及其成品的品质均好于空白条件下冷冻面团和其成品品质, 裂纹情况、冻缩情况、馒头的比容、色度、质构和口感等均有明显改善。
- 3) 正交试验结果表明, 发酵时间对冷冻面团品

质的影响最大, 其次是单甘酯、维生素 C、CM G-Na。确定最佳的添加剂组合为: 单甘酯 0.40%, 维生素 C 0.32%, CM G-Na 0.125%。

参考文献:

[1] 何宏. 添加剂对冷冻面团品质的影响[J]. 冷饮与速冻食品工业, 1999(2): 15-17.

[2] 张国治, 张龙, 张先起, 等. 速冻馒头生产工艺研究[J]. 郑州工程学院学报, 2002(9): 56-59.

[3] 王文果. 冷冻面团的研究与发展[J]. 四川食品与发酵, 2006(3): 15-19.

[4] 陈正宏, 顾军. 冷冻技术在面包工业中的新应用[J]. 食品与机械, 1993, 37(5): 12-14.

[5] 刘军义. 烘焙食品业的新技术信息[J]. 食品工业, 1996(6): 24-23.

[6] 陆启玉, 王显伦, 卢艳杰, 等. 食品工艺学[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1997.

[7] Rasanen J, Harkonen H, Autio K. Freeze-thaw stability of flour quality and fermentation time[J]. Cereal Chem, 1995, 72(6): 637-642.

[8] 王显伦, 任顺成. 面食品改良剂及应用技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2006.

[9] 邹奇波, 袁永利, 黄卫宁, 等. 食品添加剂对面团动态流变学及冷冻面团烘焙特性的影响研究[J]. 食品科学, 2006(27): 3-40.

[10] 李书国, 陈辉, 李雪梅, 等. 复合添加剂改善面包冷冻面团质量的试验研究[J]. 中国粮油学报, 2003, 21(3): 24-27.

(上接第 156 页) 在此条件下用 50% 乙醇浸提 2 次, 提取率吸光度均值为 0.433, 则洋葱皮黄酮的提取率可达 3.8%。

三元二次回归旋转正交组合设计较传统的正交统计方法更精确、快捷, 可以分析各因素之间的交互效应。它牺牲部分正交性而获得旋转性, 并基本保留正交设计试验次数少、计算简便等特点, 且有助于克服在回归正交设计中二次回归预测值的方差依赖于试验点在因子空间中位置的这个缺点^[12]。

参考文献:

[1] Marezin N, Papapetropoulos A, John D C, et al. Tyrosine kinase inhibitors suppress endotoxin and IL-1 β induced NO synthesis in aortic smooth muscle cells[J]. Am J physical, 1993, 265, 3(2): 1014.

[2] 原爱红, 黄哲, 马骏, 等. 桑叶黄酮的提取及其降糖作用的研究[J]. 中草药, 2004, 11(35): 1242-1243.

[3] 丘鲁婴, 毛春芹, 陆逸林. 三棱总黄酮镇痛作用研究[J]. 时珍国医国药, 2002, 11(4): 291.

[4] Attaway J A. Citrus juice flavonoids with anti-carcino-

genic and anti-tumor properties[J]. ACS Symposium Series, 1994, 546: 240-248.

[5] Hertog M G L, Hollman P C H, Venema D P. Optimization of a quantitative HPLC determination of potentially anti-carcinogenic flavonoids in vegetables and fruits[J]. Agric Food Chem, 1992, 40: 1591.

[6] 陈勇, 惠腾恩, 刘玉申. 洋葱皮萃取物中黄酮类化合物的分析研究[J]. 中国食品添加剂, 1997(1): 1-4.

[7] 徐德峰, 张卫明, 孙晓明, 等. 洋葱皮中黄酮类化合物的初步分析[J]. 食品科技, 2006, 31(8): 275-279.

[8] 白明生, 陈彦云, 李国旗. 洋葱皮总黄酮的超声波提取工艺研究[J]. 食品科技, 2008, 33(12): 190-193.

[9] 王莹, 王泽南, 王婷. 洋葱皮黄酮类物质提取工艺的研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(11): 87-89.

[10] 汪秋安. 天然黄酮类化合物的生理功能及其应用[J]. 香料香精化妆品, 1999(3): 28-33.

[11] 北京大学化学系仪器分析教学组. 仪器分析教程[M]. 北京: 北京大学出版社, 1999: 188-251.

[12] 徐位力, 罗焕亮, 范恩友, 等. 二次正交旋转组合设计对马占相思组培增殖培养基的优化[J]. 广西植物, 2002, 22(6): 517-520.