

响应面法优化葡萄皮渣中可溶性膳食纤维的 酸法提取工艺

杜彬¹, 李凤英², 范长军², 朱凤妹^{2,*}

(1.河北科技师范学院分析测试中心, 河北 昌黎 066600; 2.河北科技师范学院食品科技学院, 河北 昌黎 066600)

摘要:目的: 利用响应面法对葡萄皮渣中可溶性膳食纤维的酸法提取工艺进行优化。方法: 在单因素试验基础上选取试验因素与水平, 根据 Box-Behnken 试验设计原理采用四因素三水平的响应面分析法, 依据回归分析确定各工艺条件的影响因素, 以可溶性膳食纤维得率为响应值作响应面和等高线图。结果: 在分析各个因素的显著性和交互作用后, 得出葡萄皮渣可溶性膳食纤维提取的最佳工艺为盐酸的浓度 0.40mol/L、提取温度 75℃、提取时间 90min、料液比 1:12(g/mL), 在此工艺条件下可溶性膳食纤维得率为 47.56mg/g。结论: 响应面回归方程与实验结果拟合性好, 此模型合理可靠, 可用于实际预测。

关键词: 葡萄皮渣; 可溶性膳食纤维; 酸法; 响应面法

Response Surface Methodology for Optimization of Extraction Process for Soluble Dietary Fiber from Grape Pomace with Hydrochloric Acid

DU Bin¹, LI Feng-ying², FAN Chang-jun², ZHU Feng-mei^{2,*}

(1. Analysis and Testing Center, Hebei Normal University of Science and Technology, Changli 066600, China;

2. College of Food Science and Technology, Hebei Normal University of Science and Technology, Changli 066600, China)

Abstract: Objective: To optimize the extraction of soluble dietary fiber (SDF) from grape pomace with hydrochloric acid. Methods: One-factor-at-a-time experiments, mathematical modeling based on Box-Behnken experimental design and multiple regression analysis and response surface analysis were carried out to investigate the individual and interactive effects of various process conditions on extraction yield of SDF and their significance. Response surface and contour plots were drawn with extraction yield of SDF as a function. Results: The optimal conditions for SDF extraction were 0.40 mol/L hydrochloric acid as extraction solvent at a material-to-liquid ratio of 1:12 (g/mL) and 75 °C for an extraction duration of 90 min. Under the optimal extraction conditions, the yield of SDF was up to 47.56 mg/g, which was close to the model-predicted value. Conclusion: The developed regression equation can be well fitted with experimental results and is reasonable, reliable and applicable for actual prediction.

Key words: grape pomace; soluble dietary fiber; acid method; response surface methodology

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)22-0128-07

葡萄是世界上产量最大的水果之一, 我国产的葡萄, 40% 作为鲜食, 40% 作为酿酒, 20% 用于加工葡萄干、果汁等产品^[1]。葡萄加工过程中产生的废弃物(皮、籽、梗)约占鲜果总量的 20%~30%。目前, 对葡萄废弃物的研究和利用较为重视, 并进行了大量研究。从葡萄废弃物中提取到对人体健康有益的物质, 包

括酚类化合物^[1-4]、黄酮类物质^[5]、原花青素^[6-7]、白藜芦醇^[8]等, 并已应用到食品、医学等行业中, 形成了一定的市场规模。研究表明, 葡萄废弃物如皮渣^[9]、枝条^[10]是具有高价值的药用植物化学物质及抗植物病原物质的潜在来源。而葡萄废弃物一般被当作废料舍弃或用做肥料、饲料等, 资源综合利用率很低, 不仅造成了

收稿日期: 2011-06-22

基金项目: 河北省高等学校科学技术研究青年基金项目(2010247); 河北省科学技术研究与发展计划项目(09221009); 河北科技师范学院博士基金项目(2009YB005)

作者简介: 杜彬(1980—), 男, 实验师, 硕士, 研究方向为食品科学。E-mail: trueyeoman@163.com

* 通信作者: 朱凤妹(1978—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为食品科学。E-mail: zhufengmei0714@163.com

资源的浪费,而且污染了环境。因此,研究和开发葡萄废弃物,可以做到变废为宝,对合理利用自然资源,促进葡萄与葡萄酒产业的可持续发展具有重要意义。

葡萄皮渣中总膳食纤维(total dietary fiber, TDF)含量较高,占皮渣干质量的75%。膳食纤维主要是指能抗人体小肠消化吸收,而在人体大肠能部分或全部发酵的可食用植物性成分、碳水化合物及其相类似物质的总和,包括多糖、寡糖、木质素以及相关的植物性成分。1991年世界卫生组织专家组在日内瓦举办的会议中,将膳食纤维推荐为“人体膳食纤维营养目标”物质,被列为继糖、蛋白质、脂肪、水、矿物质和维生素之后的“第七大营养素”^[11]。国内外研究表明,膳食纤维是健康饮食中不可缺少的,它不仅与人体健康密切相关,而且还在预防某些疾病及改善某些病症方面起着重要的作用^[12]。膳食纤维在保持消化系统健康上扮演着重要的角色,具有降糖减肥、降脂及解毒等作用,同时摄取足够的膳食纤维还可以预防心血管疾病、糖尿病和结肠癌。因此开展葡萄皮渣中膳食纤维的研究,对于合理开发利用葡萄废弃物资源具有重要意义^[13]。本实验分别通过单因素试验和响应面方法,以可溶性膳食纤维(soluble dietary fiber, SDF)得率为指标,探讨葡萄皮渣中可溶性膳食纤维酸法提取的最佳工艺参数,以期得到一种简单、高效的提取工艺,为葡萄废弃物综合利用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

葡萄皮渣 河北科技师范学院食品科技学院酿酒工程实验室。

浓盐酸、无水乙醇、氢氧化钠、磷酸二氢钾等均为国产分析纯。

1.2 设备与仪器

SP-723型可见分光光度计 上海光谱仪器有限公司; TDL-4型离心机 湖南湘仪有限公司; SF6-01B型电热恒温鼓风干燥箱 黄石市恒丰医疗器械有限公司; FZ102微型植物试样粉碎机 河北省黄骅市科学仪器厂; FA2104型电子天平 上海良平仪器仪表有限公司; HH-S型恒温水浴锅 金坛市医疗仪器厂; KQ5200DB型数控超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司; SHZ-D型循环水式真空泵 巩义市予华仪器有限责任公司。

1.3 方法

1.3.1 可溶性膳食纤维的提取

将干燥的葡萄皮渣粉碎,过筛(孔径为0.425mm),备用。称取0.5g葡萄皮渣粉末于试管中,加入一定量浓度的盐酸溶液,水浴加热,一定时间后离心取上清

液,将上清液挥发一些水分,向上清液中加入3倍体积的无水乙醇,静置30min,5000r/min离心10min,得沉淀物为可溶性膳食纤维,烘干,称量,计算得率。

$$\text{可溶性膳食纤维得率}/(\text{mg/g}) = \frac{m_1}{m_2}$$

式中: m_1 为提取的可溶性膳食纤维的质量; m_2 为原料质量。

1.3.2 影响可溶性膳食纤维得率的单因素试验

1.3.2.1 盐酸浓度对可溶性膳食纤维得率的影响

称取葡萄皮渣0.5g,按料液比1:10(g/mL),盐酸浓度分别0.25、0.30、0.35、0.40、0.45mol/L,温度为70℃,水浴提取80min,10000r/min离心5min,取上清液,挥发部分水分,加入3倍体积的无水乙醇静置30min,离心取沉淀,烘干称量,计算可溶性膳食纤维得率。

1.3.2.2 温度对可溶性膳食纤维得率的影响

称取葡萄皮渣0.5g,盐酸浓度0.40mol/L,料液比1:10(g/mL),温度分别为60、65、70、75、80℃,水浴提取80min,10000r/min离心5min,取上清液,挥发部分水分,加入3倍体积的无水乙醇静置30min,离心取沉淀,烘干称量,计算可溶性膳食纤维得率。

1.3.2.3 提取时间对可溶性膳食纤维得率的影响

称取葡萄皮渣0.5g,盐酸浓度0.40mol/L,料液比1:10(g/mL),温度70℃,水浴提取时间分别为60、70、80、90、100min,10000r/min离心5min,取上清液,挥发部分水分,加入3倍体积的无水乙醇静置30min,离心取沉淀,烘干称量,计算可溶性膳食纤维得率。

1.3.2.4 料液比对可溶性膳食纤维得率的影响

精确称取葡萄皮渣0.5g,盐酸浓度0.40mol/L,料液比分别为1:10、1:15、1:20、1:25、1:30(g/mL),温度70℃,水浴提取80min,10000r/min离心5min,取上清液,挥发部分水分,加入3倍体积的无水乙醇静置30min,离心取沉淀,烘干称量,计算可溶性膳食纤维得率。

1.3.3 Box-Behnken 优化试验设计

采用 Design-Expert 7.1 软件,采用 Box-Behnken 设计建立数学模型,以盐酸物质的量浓度、提取温度、提取时间和料液比4个因素为自变量,可溶性膳食纤维得率为响应值,设计四因素三水平的二次回归方程拟合自变量和可溶性膳食纤维得率之间的函数关系,采用响应面分析法优化提取工艺。试验设计因素水平见表1。

表1 响应面分析因素与水平表

Table 1 Coded values and corresponding experimental values of the optimization parameters used in response surface analysis

水平	X ₁ 盐酸 浓度/(mol/L)	X ₂ 提取 温度/℃	X ₃ 提取 时间/min	X ₄ 料液 比(g/mL)
-1	0.35	70	80	1:10
0	0.40	75	90	1:15
1	0.45	80	100	1:20

2 结果与分析

2.1 葡萄皮渣中可溶性膳食纤维提取工艺单因素试验

2.1.1 盐酸浓度对可溶性膳食纤维得率的影响

通过试验得出盐酸浓度对可溶性膳食纤维提取的影响,其结果见图1。表2为盐酸物质的量浓度对可溶性膳食纤维得率影响的方差分析表。

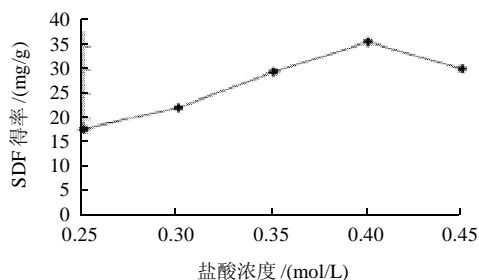


图1 盐酸浓度对可溶性膳食纤维得率的影响

Fig.1 Effect of hydrochloric acid concentration on extraction yield of SDF

表2 盐酸浓度对SDF得率影响的方差分析表

Table 2 ANOVA analysis for the effect of hydrochloric acid concentration on extraction yield of SDF

变异来源	平方和	自由度	均方	F值
处理间	598.8884	4	149.7221	136.049
处理内	11.0050	10	1.1005	
总变异	609.8934	14		

注: $F_{0.01(4,10)} = 5.99$ 。下同。

如图1所示,其他条件一定时,随着盐酸浓度的升高,葡萄皮渣中可溶性膳食纤维的提取得率先升高,当盐酸浓度超过0.40mol/L后,可溶性膳食纤维的提取得率呈下降趋势。分析其原因可能为盐酸会破坏可溶性膳食纤维的化学键,使其溶于盐酸,但是当盐酸浓度超过某个值时,可能会使可溶性膳食纤维的结构异构化,从而不利于其溶于此时的盐酸。由表2可知,处理间的F值为136.049,大于查表所得的5.99,因此盐酸浓度在不同水平时对可溶性膳食纤维提取得率有显著影响。

2.1.2 提取温度对可溶性膳食纤维得率的影响

如图2所示,其他条件一定时,随着温度的升高,葡萄皮渣中可溶性膳食纤维的提取得率先升高,当温度

超过75℃后,可溶性膳食纤维的提取得率呈下降趋势。可能因为在某一温度范围内,随着温度的升高,有利于可溶性膳食纤维化学键的断裂,从而使更多的可溶性膳食纤维溶解,但当温度超过75℃时,较高的温度会造成盐酸的挥发,其造成的结果可能使盐酸的量减少,也可能挥发些水份使盐酸浓度升高,这都将不利于更多的可溶性膳食纤维溶于当时的盐酸。由表3可知,处理间的F值为105.499,大于查表所得的5.99,因此提取温度在不同水平时对可溶性膳食纤维提取得率有显著影响。

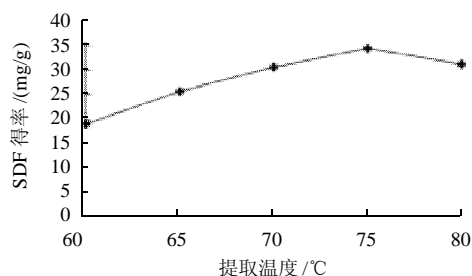


图2 提取温度对可溶性膳食纤维得率的影响

Fig.2 Effect of extraction temperature on extraction yield of SDF

表3 提取温度对SDF得率影响的方差分析表

Table 3 ANOVA analysis for the effect of extraction temperature on extraction yield of SDF

变异来源	平方和	自由度	均方	F值
处理间	439.0446	4	109.7612	105.499
处理内	10.404	10	1.0404	
总变异	449.4486	14		

2.1.3 提取时间对可溶性膳食纤维得率的影响

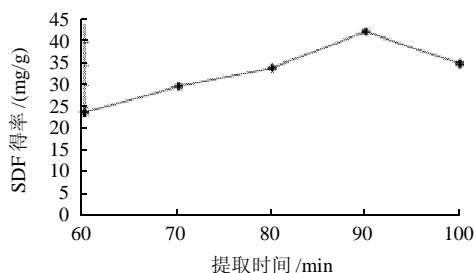


图3 提取时间对可溶性膳食纤维得率的影响

Fig.3 Effect of extraction time on extraction yield of SDF

表4 提取时间对SDF得率影响的方差分析表

Table 4 ANOVA analysis for the effect of extraction time on extraction yield of SDF

变异来源	平方和	自由度	均方	F值
处理间	554.3456	4	138.5864	116.645
处理内	11.881	10	1.1881	
总变异	566.2266	14		

如图3所示,其他条件一定时,随着提取时间的延长,葡萄皮渣中可溶性膳食纤维的提取得率先升高,当提取时间超过90min后,可溶性膳食纤维的提取得率呈下降趋势。分析原因可能是在90min以前,随着时间的延长,可溶性膳食纤维的化学键断裂的越来越多,但超过90min,由于水分蒸发,盐酸浓度和盐酸的量会发生改变,浓度变大,量减少,从而不利于可溶性膳食纤维的更多溶解。由表4可知,处理间的 F 值为116.645,大于查表所得的5.99,因此浸提时间在不同水平时对可溶性膳食纤维提取得率有显著影响。

2.1.4 料液比对可溶性膳食纤维得率的影响

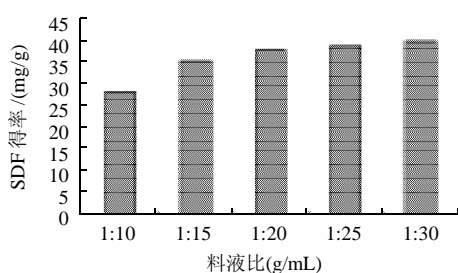


图4 料液比对可溶性膳食纤维得率的影响

Fig.4 Effect of material-to-liquid ratio on extraction yield of SDF

表5 料液比对SDF得率影响的方差分析表

Table 5 ANOVA analysis for the effect of material-to-liquid ratio on extraction yield of SDF

变异来源	平方和	自由度	均方	F值
处理间	258.0159	4	64.504	56.34
处理内	11.449	10	1.1449	
总变异	269.4649	14		

由图4可知,其他条件一定时,葡萄皮渣中可溶性膳食纤维的提取得率随料液比的升高而升高,但超过1:15(g/mL)后,提取率升高比较缓慢,趋于稳定。溶剂用量多少,生产成本低,因此选择1:15(g/mL)比较合适。由表5可知,处理间的 F 值为56.34,大于查表所得的5.99,因此料液比在不同水平时对可溶性膳食纤维提取得率有显著影响。

2.2 可溶性膳食纤维提取工艺回归模型的建立及方差分析

响应面法优化葡萄皮渣中可溶性膳食纤维提取工艺的结果见表6,采用Design-Expert 7.1软件,选用Box-Behnken模型,对表6中数据进行回归分析,得到回归方程:

$$Y = 49.84 + 3.92X_1 + 1.08X_2 - 2.07X_3 + 3.04X_4 + 2.68X_1X_2 - 3.47X_1X_3 + 2.63X_1X_4 + 0.66X_2X_3 + 0.15X_2X_4 + 1.05X_3X_4 - 9.87X_1^2 - 6.65X_2^2 - 8.18X_3^2 - 0.43X_4^2$$

式中: Y 为可溶性膳食纤维得率; X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 分别为盐酸浓度、提取温度、提取时间、料液比4个自变量的编码值。

表6 可溶性膳食纤维提取工艺响应面分析试验设计及结果

Table 6 Experimental design and results for response surface analysis

试验号	X_1 盐酸浓度/(mol/L)	X_2 提取温度/℃	X_3 提取时间/min	X_4 料液比(g/mL)	SDF得率/(mg/g)
1	0.35	75	80	1:15	28.58
2	0.40	70	90	1:10	39.42
3	0.40	75	90	1:15	48.24
4	0.35	70	90	1:15	29.54
5	0.45	75	100	1:15	28.99
6	0.35	75	100	1:15	29.23
7	0.40	70	80	1:15	36.29
8	0.45	80	90	1:15	39.08
9	0.40	80	90	1:20	47.33
10	0.35	75	90	1:10	36.21
11	0.40	75	100	1:20	41.74
12	0.40	75	90	1:15	49.79
13	0.40	75	90	1:15	50.87
14	0.40	75	80	1:10	39.44
15	0.40	70	90	1:20	43.21
16	0.40	75	80	1:20	44.98
17	0.40	80	80	1:15	36.98
18	0.35	75	90	1:20	37.44
19	0.40	75	100	1:10	32.01
20	0.45	75	90	1:20	50.62
21	0.40	80	90	1:10	42.94
22	0.35	80	90	1:15	24.85
23	0.45	75	90	1:10	38.85
24	0.45	75	80	1:15	42.23
25	0.40	70	100	1:15	34.18
26	0.40	75	90	1:15	52.08
27	0.40	75	90	1:15	48.24
28	0.45	70	90	1:15	33.07
29	0.40	80	100	1:15	37.51

模型的方差分析结果见表7。模型的 F 值为19.35($P < 0.0001$),说明所选模型极为显著。失拟项 $P=0.2038 > 0.05$,失拟项差异不显著,方程对试验拟合程度较好。模型相关系数是0.9017,说明该模型能解释90.17%的响应值变化,仅有9.83%的变异不能由此模型解释。对回归方程系数进行显著性检验(表7),表明盐酸浓度 X_1 及其二次项 X_1^2 、提取温度二次项 X_2^2 、提取时间二次项 X_3^2 对可溶性膳食纤维得率有极显著影响;提取时间 X_3 和料液比 X_4 对可溶性膳食纤维得率有显著影响;盐酸浓度和提取温度的交互项 X_1X_2 、盐酸浓度和提取时间的交互项 X_1X_3 、盐酸浓度和料液比的交互项 X_1X_4 对可溶性膳食纤维得率的影响显著。其他变量的影响均不显著($P > 0.05$)。

表 7 响应面回归模型方差分析表

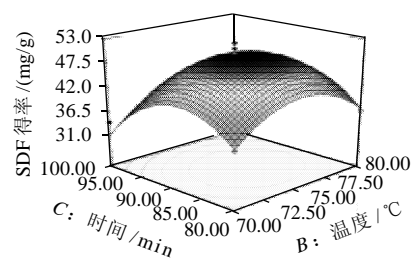
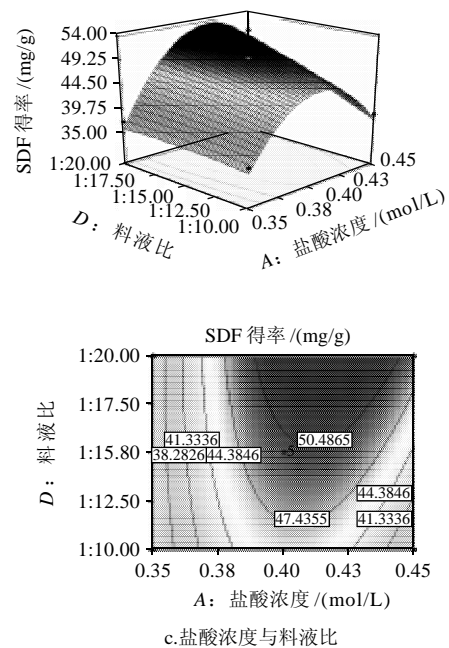
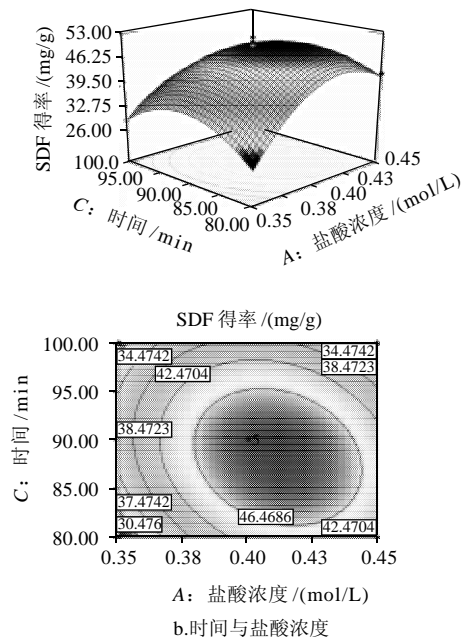
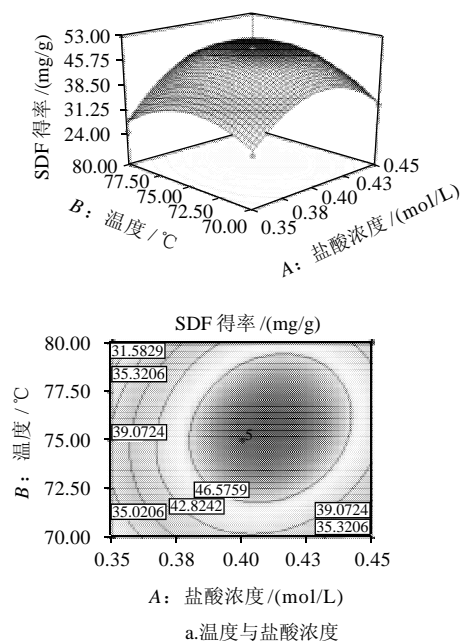
Table 7 Variance analysis for the built regression model

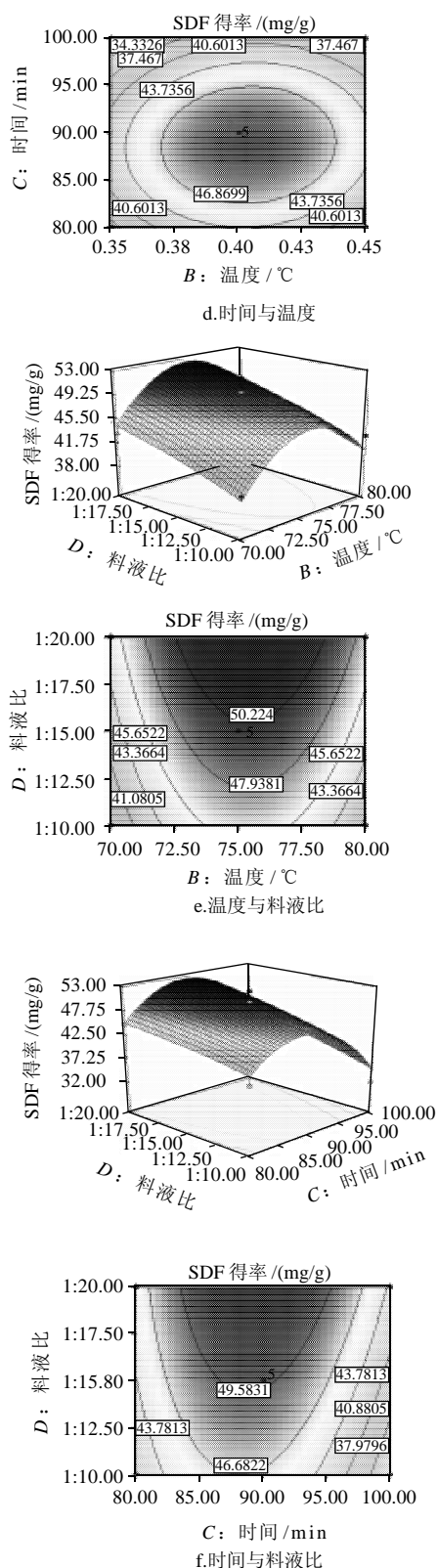
方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	1531.07	14	109.36	19.35	< 0.0001	***
X_1	184.01	1	184.01	32.55	< 0.0001	***
X_2	14.04	1	14.04	2.48	0.1374	
X_3	51.42	1	51.42	9.10	0.0093	**
X_4	110.72	1	110.72	19.59	0.0006	**
X_1X_2	28.62	1	28.62	5.06	0.0410	*
X_1X_3	48.23	1	48.23	8.53	0.0112	*
X_1X_4	27.77	1	27.77	4.91	0.0437	*
X_2X_3	1.74	1	1.74	0.31	0.0875	
X_2X_4	0.09	1	0.09	0.02	0.9014	
X_3X_4	4.39	1	4.39	0.78	0.3931	
X_1^2	631.35	1	631.35	111.69	< 0.0001	***
X_2^2	287.02	1	287.02	50.77	< 0.0001	***
X_3^2	434.24	1	434.24	76.82	< 0.0001	***
X_4^2	1.19	1	1.19	0.21	0.6535	
残差	79.14	14	5.65			
失拟项	67.94	10	6.79	2.43	0.2038	
误差	11.20	4	2.80			
总和	1610.21	28				

注: *. $P < 0.05$; **. $P < 0.01$; ***. $P < 0.001$ 。

2.3 响应面分析与优化

响应面图形是响应值对各因素所构成的三维空间的曲面图^[14]。为考察交互项对提取率的影响,在其他因素条件固定不变的情况下,考察交互项对可溶性膳食纤维得率的影响^[15]。经 Design-Expert 7.1 软件分析,所得的响应面及其等高线图见图 5。





固定水平: 盐酸浓度 0.4 mol/L; 提取温度 70℃; 提取时间 80min; 料液比 1:10(g/mL)。

图5 各两因素交互作用的响应面及等高线图

Fig.5 Response surface and contour plots showing the interactive effects of four process parameters on extraction yield of SDF

图5表明,当料液比和提取时间一定时,随着盐酸浓度的增大,可溶性膳食纤维得率先增大后缓慢减少;随着温度的升高,可溶性膳食纤维得率先增大后减少;两因素之间的交互作用对可溶性膳食纤维提取得率的影响极显著。当提取温度和料液比一定时,随着盐酸浓度的增大,可溶性膳食纤维得率先增大后减少。随着提取时间的延长,可溶性膳食纤维得率先增大后减少;两因素之间的交互作用对可溶性膳食纤维提取率影响显著。当浸提温度和时间一定时,随着盐酸浓度的增大,可溶性膳食纤维得率先增大后减少;随着料液比的减小,可溶性膳食纤维得率逐渐增大,后趋于稳定;两因素间的交互效应对可溶性膳食纤维提取率影响显著。当盐酸浓度和料液比一定时,随着温度的升高,可溶性膳食纤维得率先增大后减少;随着提取时间的增加,可溶性膳食纤维得率先增大后减少;两因素间的交互效应对可溶性膳食纤维提取率影响不显著。当盐酸浓度和提取时间一定时,随着温度的增加,可溶性膳食纤维得率先增大后减少;随着料液比的减小,可溶性膳食纤维提取得率逐渐增大;两因素间的交互效应对可溶性膳食纤维提取率影响不显著。当盐酸浓度和温度一定时,随着提取时间的增加,可溶性膳食纤维的提取得率先增大后减少;随着料液比的减小可溶性膳食纤维的提取得率逐渐增大;两因素的交互效应对可溶性膳食纤维提取率影响不显著。

2.4 工艺优化与验证实验

经 Design-Expert 7.1 软件分析优化,可得到葡萄皮渣可溶性膳食纤维最佳提取工艺参数为盐酸浓度 0.41 mol/L、提取温度 74.69℃、提取时间 87.5min、料液比 1:11.69 (g/mL)。在此最佳工艺条件下可溶性膳食纤维理论得率为 47.89mg/g。考虑到可操作性,将最优提取条件修正为盐酸浓度 0.40 mol/L、提取温度 75℃、提取时间 90min、料液比 1:12(g/mL)。用此条件进行验证实验,得到可溶性膳食纤维的得率为 47.56mg/g,与理论值较为接近,表明数学模型对优化葡萄皮渣可溶性膳食纤维的提取工艺是可行的。

3 结论

3.1 利用试验设计软件 Design-Expert 7.1,采用 Box-Behnken 建立了盐酸浓度、提取温度、提取时间和料液比与葡萄皮渣中可溶性膳食纤维得率之间的二次多项数学模型: $Y = 49.84 + 3.92X_1 + 1.08X_2 - 2.07X_3 + 3.04X_4 + 2.68X_1X_2 - 3.47X_1X_3 + 2.63X_1X_4 + 0.66X_2X_3 + 0.15X_2X_4 + 1.05X_3X_4 - 9.87X_1^2 - 6.65X_2^2 - 8.18X_3^2 - 0.43X_4^2$, 回归分析表明,相关系数 $R^2 = 0.9017$, $P < 0.0001$,表明回归模型显著,拟合程度好,有实际应用意义;通过模

型系数显著性检验, 得到因素的主效应关系为: 盐酸浓度 > 料液比 > 时间 > 温度。

3.2 利用模型的响应面对影响可溶性膳食纤维得率的关键因素及其相互作用进行探讨, 优化出葡萄皮渣中可溶性膳食纤维提取的最佳条件为盐酸浓度 0.40mol/L、提取温度 75℃、提取时间 90min、料液比 1:12(g/mL)。可溶性膳食纤维得率的预测值为 47.89mg/g, 实测值为 47.56mg/g, 证明此模型是合理可靠的, 可用于实际预测。

参考文献:

- [1] 李春阳, 许时婴, 王璋. 从葡萄废弃物中提取分离多酚类生物活性物质[J]. 食品科技, 2004(6): 88-93.
- [2] 李凤英, 崔蕊静, 李春华. 从葡萄皮中提取多酚物质[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(4): 147-149.
- [3] AMICO V, CHILLEMI R, MANGIAFICO S, et al. Polyphenol-enriched fractions from Sicilian grape pomace: HPLC - DAD analysis and antioxidant activity[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(13): 5960-5966.
- [4] 丁燕, 赵新节. 酚类物质的结构与性质及其与葡萄及葡萄酒的关系[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2003(1): 13-17.
- [5] 朱凤妹, 李军, 胥晓蓉. 大孔吸附树脂对葡萄酒酒脚中黄酮类物质分离特性的研究[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(12): 11-14.
- [6] 朱凤妹, 杜彬, 李军, 等. 大孔吸附树脂分离葡萄酒下脚料中原花青素的研究[J]. 食品工业, 2008(1): 6-9.
- [7] 杨夫臣, 吴江, 程建徽, 等. 葡萄果皮花色素的提取及其理化性质[J]. 果树学报, 2007, 24(3): 287-292.
- [8] 杜彬, 朱凤妹, 马建军, 等. 酿酒葡萄皮渣中白藜芦醇的抗氧化活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2008, 20(5): 899-902.
- [9] LLOBERA A, CAÑELLAS J. Dietary fibre content and antioxidant activity of Manto Negro red grape (*Vitis vinifera*): pomace and stem[J]. Food Chemistry, 2007, 101(2): 659-666.
- [10] CETIN E S, ALTINOZ D, TARCAN E, et al. Chemical composition of grape canes[J]. Industrial Crops and Products, 2011, 34(1): 994-998.
- [11] 刘志皋. 食品营养学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1991: 120-123.
- [12] TOSH S M, YADA S. Dietary fibres in pulse seeds and fractions: Characterization, functional attributes, and applications[J]. Food Research International, 2010, 43(2): 450-460.
- [13] 刘娅, 戴立勤, 颜海燕, 等. 发酵法活化葡萄皮渣膳食纤维工艺的研究[J]. 中国酿造, 2008(3): 35-53.
- [14] 王淑霞, 李爱梅, 张俊杰, 等. 响应面分析法优化龙眼核中多酚物质提取工艺[J]. 食品科学, 2011, 32(10): 35-39.
- [15] 袁建, 李大川, 石嘉悻, 等. 响应面法优化麦麸蛋白质和膳食纤维的提取工艺[J]. 食品科学, 2011, 32(10): 25-30.