

# 响应面法优化胡萝卜渣不溶性膳食纤维提取工艺的研究

刘欢<sup>1,2</sup>, 徐晶<sup>1,2</sup>, 夏光辉<sup>1,2</sup>

(1. 通化师范学院 长白山食品工程研究中心, 吉林 通化 134000; 2. 通化师范学院 制药与食品科学学院, 吉林 通化 134000)

**摘要:**以胡萝卜渣为原料,采用二次回归正交旋转试验方法对提取液体积、氢氧化钠质量分数、提取时间和提取温度4个单因素工艺参数进行了研究,以优化胡萝卜渣不溶性膳食纤维提取工艺。结果表明:回归得到二次多项式模型极显著,模型的相关系数为0.9326,用响应面分析法确定4个因素的最佳工艺条件为提取液体积15 mL/g、氢氧化钠质量分数11%、提取时间5 h和提取温度38℃,不溶性膳食纤维得率为49.01%。其物化性能的试验结果表明,不溶性膳食纤维的膨胀力和持水力分别为8.87 mL/g和3.97 g/g。

**关键词:**胡萝卜渣;不溶性膳食纤维;响应面法

**中图分类号:**TS 209 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)14-0140-06

近年来,胡萝卜汁、胡萝卜浆等胡萝卜深加工产品逐年增加,而这些深加工产品在生产过程中产生了大量的胡萝卜残渣。尽管加工技术得到飞速发展,但仍有大量可利用成分被废弃,资源浪费严重,且造成一定的环境污染。在胡萝卜加工过程中,得到的胡萝卜渣约占原料的30%~50%,这些胡萝卜渣中含有丰富的果胶、胡萝卜素和大量的膳食纤维,而其含有的胡萝卜纤维素则占56%<sup>[1-4]</sup>。目前,利用胡萝卜渣制备具有防治肠道疾病、降低血压和血脂等功能活性的膳食纤维已成为胡萝卜综合利用和开发的重要途径<sup>[5-6]</sup>。Chau等<sup>[7]</sup>用不同方法从胡萝卜渣中提取的膳食纤维,包括不溶性膳食纤维、醇不溶性膳食纤维和水不溶性膳食纤维,而不溶性膳食纤维含量高达50.1~67.4 g/100g。若能针对其性能特点,研制开发胡萝卜渣深加工产品,既可以进一步提高胡萝卜深加工产品的附加值,延长加工的产业链,又能变废为宝,解决环境污染问题。

英国流行病学专家菲普斯利(Hipsley)<sup>[8]</sup>1953年第一次提出“膳食纤维”,拉开了人类研究膳食纤维的序幕。近40多年来,调查研究发现膳食纤维对人体健康有很多重要生理作用<sup>[9-10]</sup>。目前,膳食纤维的研究主要集中于功能特性、提取工艺、改性方法等方面<sup>[11-12]</sup>。膳食纤维依据原料的不同,采用不同提取方法。碱法提取膳食纤维主要是把纤维素从原料中与木质素、半纤维素

和果胶等物质分离,再经纯化、干燥等步骤制成各种产品<sup>[13]</sup>。李铁汉等<sup>[14]</sup>利用碱提取法从甜菜渣中将膳食纤维分离。试验证明,碱液的浓度范围为8%~12%,碱液浸泡时间为6 d,温度保持在25~30℃时,可将纤维充分分离,进一步用NaOCl溶液氧化除去纤维中木质素,纤维的产率为18.3%,纯度为91.10%。蔡宝玉等<sup>[15]</sup>以莲藕残渣为原料,研究淀粉酶水解淀粉和碱液浸提法制备膳食纤维,确立了最佳工艺条件。其产品色泽好,膳食纤维含量达65%。王华等<sup>[16]</sup>以甜橙榨汁过程所得皮渣为原料,利用微波-氢氧化钠工艺制备柑橘膳食纤维,最佳工艺组合为输出功率750 W,氢氧化钠浓度0.06 mol/L,加热后沸腾时间150 s,料液比1:60,制备的柑橘膳食纤维质量有明显改善,而且保留了大量的功能成分。Sangnark等<sup>[17]</sup>采用碱性过氧化氢法提取水稻秸秆中的纤维,这种方法获得的纤维,持水性、膨胀性和持油性均得到明显的提高。

该试验对胡萝卜渣不溶性膳食纤维(IDF)提取工艺进行优化,考察提取液体积、氢氧化钠质量分数、提取时间和提取温度4个因素对IDF质量分数和得率的影响。采用二次回归正交旋转组合试验设计,对IDF得率进行响应面分析,从而得出IDF提取的优化工艺,并对IDF的性能进行评定。以期为胡萝卜渣IDF在膳食纤维产品CPC提取和性能的研究提供数据参考。同时,用胡萝卜渣作原料可以减少环境的污染和资源的浪费,对提高胡萝卜附加值具有研究意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试胡萝卜渣由实验室自制;盐酸、氢氧化钠、亚硫

**第一作者简介:**刘欢(1981-),女,博士,讲师,研究方向为农产品贮藏与加工。

**基金项目:**吉林省科技发展计划资助项目(20130522093JH);吉林省教育厅“十二五”科学技术研究资助项目(2013494)。

**收稿日期:**2014-03-14

酸钠、丙酮、甲苯、次氯酸钠和醋酸等均为国产分析纯。

JST-300E 型嘉事特果汁机(佛山市禅城区良乐电器厂);100 目筛子(浙江上虞市道虚仪器筛具厂);HJ-4 型多头磁力搅拌器(江苏金坛市恒丰仪器厂);GB-303 型电子天平(梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司);KFG-01 型电热恒温鼓风干燥箱(湖北省黄石市医疗器械厂);CXC-06 粗纤维测定仪(上海精隆科学仪器有限公司)。

## 1.2 试验方法

**1.2.1 胡萝卜渣 IDF 提取工艺** 将新鲜的胡萝卜洗净,切成 3~5 mm 的小段,于榨汁机中榨汁,用 240 号尼龙滤布过滤,滤渣干燥,粉碎过筛;胡萝卜渣和蒸馏水按质量比 1:2 混合,用 10% 盐酸调节料液的 pH 值为 1.5,在 85℃ 下浸提 1.0 h,过滤,热水洗涤滤渣,滤渣水洗至中性,滤渣干燥;称取 1 g 胡萝卜渣,加入一定量氢氧化钠溶液,水浴加热浸提,滤渣用水洗至中性;用水洗除碱液,加等量次氯酸钠,用 50% 醋酸调 pH 为 4~5,75℃ 加热保持 1 h,冷却至室温,过滤,滤渣在 60℃ 烘干,得 IDF。

**1.2.2 IDF 质量分数和得率的测定** 按照 GB/T 12394-1990 食物中不溶性膳食纤维的测定方法,测定不溶性膳食纤维质量分数。IDF 的得率是指得到的 IDF 与胡萝卜渣百分比,  $Y = m_1 / m_2 \times 100\%$ 。式中:Y—IDF 得率(%); $m_1$ —IDF 质量(g); $m_2$ —胡萝卜渣质量(g)。

**1.2.3 IDF 提取单因素试验设计** 称取 1 g 胡萝卜渣,加入氢氧化钠质量分数分别为 6%、8%、10%、12%、14%,提取液体积分别为 5、10、15、20、25 mL,提取时间为 2、3、4、5、6 h,水浴提取温度为 20、30、40、50、60℃,滤渣用水洗至中性;用水洗除碱液,加等量次氯酸钠,用 50% 醋酸调 pH 为 4~5,加热 75℃,保持 1 h,冷却至室温,过滤,滤渣在 60℃ 烘干,得 IDF。当对其中一个因素进行研究时,其余各因素的取值分别为 15 mL、10%、4 h、40℃。

**1.2.4 IDF 提取工艺条件的优化** 以单因素试验为基础,对影响 IDF 提取的主要因素进行二次回归正交旋转组合试验设计,试验因素为提取液体积( $X_1$ )、氢氧化钠质量分数( $X_2$ )、提取时间( $X_3$ )和提取温度( $X_4$ ),IDF 得率(Y)作为指标进行分析,试验因素水平、变化值及编码见表 1。

**1.2.5 IDF 物化特性的测定** 膨胀力:取 IDF 置于 20 mL 的刻度试管中,记录 IDF 体积,加入 5 mL 的去离子水,充分摇匀,在室温下放置 24 h,记录吸水后 IDF 体积。按下式计算膨胀力:膨胀力(mL/g) =  $(v_2 - v_1) / m$ 。式中: $v_1$ —IDF 的体积; $v_2$ —吸水后 IDF 的体积; $m$ —IDF 的质量。持水力:将 IDF 加入 15 mL 去离子水,充分混匀,室温下,静置 24 h,1 500 r/min 离心 10 min,弃上清,沉淀称重。按下式计算持水力:持水力(g/g) =  $(m_2 - m_1) / m_1$ 。式中: $m_1$ —IDF 的质量; $m_2$ —

吸水后 IDF 的质量。

表 1 试验因素水平编码

Table 1 Independent variables and their levels in the response surface design

水平 Lever $X_i$	因素 Factor			
	$X_1$ / mL	$X_2$ / %	$X_3$ / h	$X_4$ / °C
$r=2$	18	12	6.0	60
1	16	11	5.5	50
0	14	10	5.0	40
-1	12	9	4.5	30
$-r=-2$	10	8	4.0	20
$\Delta_j$	2	1	0.5	10

## 1.3 数据分析

采用 SAS 分析软件进行数据的处理,从中揭示各影响因素与 IDF 得率之间的内在规律,并找出各因素的最优工艺条件。

## 2 结果与分析

### 2.1 IDF 提取单因素的试验结果

**2.1.1 提取液体积对 IDF 质量分数和得率的影响** 由图 1 可知,随着提取液体积的增加,IDF 质量分数增加,而 IDF 得率减小。这是因为胡萝卜渣和提取液的接触面增加,大量的溶剂促使半纤维素和果胶水解暴露出来<sup>[18]</sup>,使 IDF 质量分数增加,而得率减小。当提取液体积为 15~25 mL 时,IDF 质量分数增幅降低,得率降幅升高,其值分别为 88.91%~89.65%和 37.43%~47.91%。

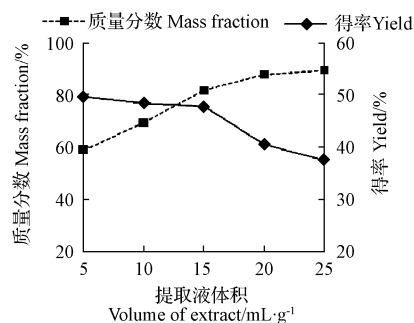


图 1 提取液体积对 IDF 质量分数和得率的影响

Fig. 1 Effect of the volume of extract on the mass fraction and yield of IDF

**2.1.2 氢氧化钠质量分数对 IDF 质量分数和得率的影响** 由图 2 可知,随着氢氧化钠质量分数的增加,IDF 质量分数增加而得率减小。这是因为氢氧化钠质量分数增加使纤维素结构松散增加<sup>[19]</sup>,大部分半纤维素和果胶从纤维素中暴露出来,使 IDF 质量分数增加,而得率减小。当氢氧化钠质量分数为 10%~14% 时,IDF 质量分数增幅降低,得率降幅升高,其值分别为 88.31%~91.02%和 37.56%~48.63%。这是因为氢氧化钠质量分数过大,纤维素里的半纤维素和果胶已被分解,而增加氢氧化钠质量分数,使一部分纤维素被分解,导致 IDF 质量分数变化不明显,而得率明显减小。

2.1.3 提取时间对 IDF 质量分数和得率的影响 由图 3 可知,随着提取时间的增加,IDF 质量分数增加,而 IDF 得率减小。这是因为提取时间增加,更多的溶剂与胡萝卜渣反应,纤维素被纯化,使 IDF 质量分数增加,而得率减小。当提取时间为 4~6 h 时,IDF 质量分数增幅降低。其值分别为 75.91%~91.25%。

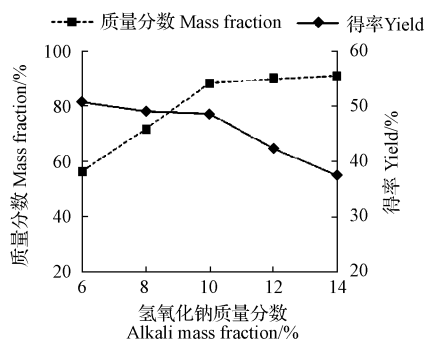


图 2 氢氧化钠质量分数对 IDF 质量分数和得率的影响

Fig. 2 Effect of alkali mass fraction on the mass fraction and yield of IDF

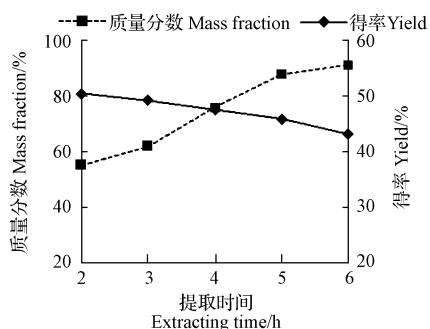


图 3 提取时间对 IDF 质量分数和得率的影响

Fig. 3 Effect of extracting time on the mass fraction and yield of IDF

2.1.4 提取温度对 IDF 质量分数和得率的影响 由图 4 可知,随着提取温度的增加,IDF 质量分数增加,而 IDF 得率减小。这是因为温度增加,使氢氧化钠反应活力增强,使 IDF 质量分数增加,而得率减小。当提取温度为

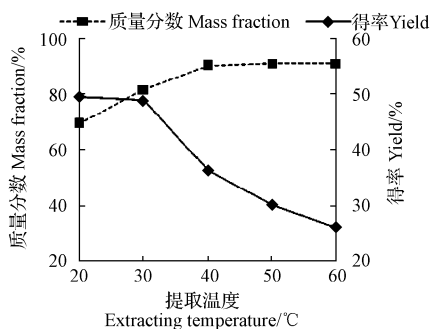


图 4 提取温度对 IDF 质量分数和得率的影响

Fig. 4 Effect of extracting temperature on the mass fraction and yield of IDF

40~60℃时,IDF 质量分数增幅降低,其值为 90.32%~91.11%;当提取温度为 30~60℃时,IDF 得率降幅显著升高,其值为 26.14%~36.42%。这是因为温度过高,使纤维素和果胶一起被氢氧化钠分解清除,使 IDF 质量分数改变不明显,而得率显著减小。

## 2.2 IDF 提取工艺的优化

### 2.2.1 二次回归正交旋转组合试验设计和试验结果

单因素试验结果表明,提取液体积在 20~25 mL、氢氧化钠质量分数在 10%~14%、提取时间在 5~6 h、提取温度在 40~60℃的范围内,IDF 质量分数都在 88%~92% 之间,所以 IDF 质量分数不作为试验指标优化提取工艺。试验以 IDF 得率(Y,%)作为指标,提取液体积( $X_1$ , mL)、氢氧化钠质量分数( $X_2$ , %)、提取时间( $X_3$ , h)和提取温度( $X_4$ , °C)为试验因素,IDF 提取工艺的二次回归正交旋转组合试验设计及试验结果见表 2。

表 2 IDF 提取工艺优化试验设计及试验结果

Table 2 Experimental designs and results of optimal extracting process on IDF

处理 Treatment	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	Y
1	1	1	1	1	48.95
2	1	1	1	-1	46.69
3	1	1	-1	1	43.52
4	1	1	-1	-1	44.42
5	1	-1	1	1	42.63
6	1	-1	1	-1	45.19
7	1	-1	-1	1	43.52
8	1	-1	-1	-1	44.12
9	-1	1	1	1	43.41
10	-1	1	1	-1	47.98
11	-1	1	-1	1	41.56
12	-1	1	-1	-1	42.79
13	-1	-1	1	1	35.11
14	-1	-1	1	-1	45.02
15	-1	-1	-1	1	34.89
16	-1	-1	-1	-1	42.94
17	2	0	0	0	48.64
18	-2	0	0	0	38.36
19	0	2	0	0	47.64
20	0	-2	0	0	37.07
21	0	0	2	0	43.72
22	0	0	-2	0	40.11
23	0	0	0	2	38.26
24	0	0	0	-2	47.88
25	0	0	0	0	48.47
26	0	0	0	0	46.38
27	0	0	0	0	47.66
28	0	0	0	0	48.41
29	0	0	0	0	47.22
30	0	0	0	0	47.45
31	0	0	0	0	49.36
32	0	0	0	0	48.59
33	0	0	0	0	48.69
34	0	0	0	0	46.94
35	0	0	0	0	45.86
36	0	0	0	0	47.89

2.2.2 方差分析及回归方程的建立 IDF 得率的二次回归模型方差分析结果见表 3。由表 3 可知,  $F_{\text{回}}=20.76 > F_{0.01}(14,21)=3.07$ ,  $P=0.0001 < 0.01$ , 说明二次回归模型极显著;  $F_{\text{失}}=2.50 < F_{0.05}(10,11)=2.86$ ,  $P=0.074 > 0.05$ , 失拟项不显著; 模型的相关系数  $R^2$  为 0.9326, 响应值变化有 93.26% 来源于自变量, 预测值与实测值之

表 3 IDF 得率的二次回归模型方差分析

Table 3 Variance analysis of the quadratic regression model on the yield of IDF					
变异来源 Sources of variation	自由度 df	平方和 Sum of squares	均方 Mean square	F 比值 F value	P 比值 P value
$X_1$	5	153.572813	30.714563	16.92	$<0.0001$
$X_2$	5	174.763762	34.952752	19.25	$<0.0001$
$X_3$	5	94.548329	18.909666	10.41	$<0.0001$
$X_4$	5	168.835279	33.767056	18.6	$<0.0001$
$X_i$	4	288.496883	0.5097	39.72	$<0.0001$
$X_i^2$	4	175.44595	0.31	24.16	$<0.0001$
$X_iX_j$	6	63.888675	0.1129	5.86	0.001
回归模型 Model	14	527.831508	0.9326	$F_{\text{回}}=20.76$	$<0.0001$
剩余项 Residual	21	38.129192	1.815676		
失拟项 Lack of fit	10	26.490725	2.649073	$F_{\text{失}}=2.50$	0.074
误差 Pure error	11	11.638467	1.058042		
Y 均值 Y mean	44.648333				
标准误差 Standard error	1.34747				
相关系数 $R^2$	0.9326				
变异系数 Coefficient of variable	3.018				

注:  $F_{0.05}(10,11)=2.86$ ,  $F_{0.01}(14,21)=3.07$ 。

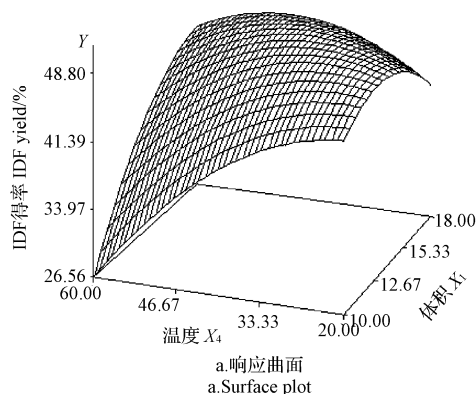


图 5 提取液体积与提取温度对 IDF 得率影响的响应曲面和等高线

Fig. 5 Surface plot and contour plot of extract volume and extracting temperature affecting on the yield of IDF

由图 6 可知, 氢氧化钠质量分数( $X_2$ )和提取时间( $X_3$ )处于试验水平的中心点位置附近时, 即氢氧化钠质量分数为 11.8% 和提取时间为 5.4 h 附近时, IDF 得率最高。当二者的水平过高或过低时, 都会使得率(Y)下降, 并且此 2 个因素交互作用显著。

由图 7 可知, 氢氧化钠质量分数( $X_2$ )和提取温度( $X_4$ )处于试验水平的中心点位置附近时, 即氢氧化钠质量分数为 12.1% 和提取温度为 41.8℃ 附近时, IDF 得率

间具有高度的相关性。由此可知, 二次回归模型在显著水平时不失拟, 回归模型与实际情况拟合性好, 可以用此模型来分析和预测胡萝卜渣提取 IDF 试验中。

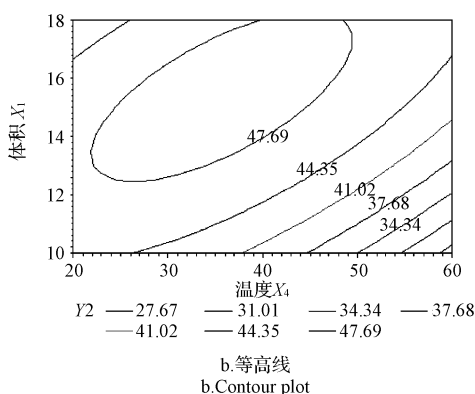
通过二次回归分析对试验数据进行回归拟合, 确立 IDF 得率的最优拟合二次多项式方程, 其回归方程系数见表 4。由表 4 可知, 以 IDF 得率为(Y)值, 以提取液体积( $X_1$ )、氢氧化钠质量分数( $X_2$ )、提取时间( $X_3$ )和提取温度( $X_4$ )的编码值为自变量的四元二次回归方程为:

$$Y = -215.053958 + 8.428125X_1 + 19.34125X_2 + 44.364167X_3 - 1.083417X_4 - 0.240781X_1^2 - 0.301875X_2X_1 - 1.249375X_2^2 - 0.09125X_3X_1 + 1.5325X_3X_2 - 5.4375X_3^2 + 0.068625X_4X_1 + 0.10425X_4X_2 - 0.05X_4X_3 - 0.010706X_4^2。$$

表 4 IDF 得率的优化试验验证结果

Table 4 Authentication of optimal experiment on the yield of IDF			
因素 Factor	标准化 Coded	非标准化 Uncoded	得率 Y Yield/%
$X_1$	0.294965	15.17986	49.51337
$X_2$	0.367481	10.73496	
$X_3$	0.290311	5.29031	
$X_4$	-0.101797	37.96406	

2.2.3 IDF 的响应面分析 由图 5 可知, 提取液体积( $X_1$ )和提取温度( $X_4$ )处于试验水平的中心点位置附近时, 即提取液体积( $X_1$ )为 15.5 mL 和提取温度( $X_4$ )为 38.9℃ 附近时, IDF 得率最高。当二者的水平过高或过低时, 都会使得率(Y)下降, 并且此 2 个因素交互作用显著。



最高。当二者的水平过高或过低时, 都会使得率下降, 并且此 2 个因素交互作用显著。

2.2.4 IDF 提取工艺优化及验证 为了验证二次回归模型方程的合适性和有效性, 在试验水平范围内, 进行最适 IDF 提取条件的验证试验。验证试验对预测值与实验值是否接近, 证明此模型是否有效, 具有一定的实践指导意义。由表 4 可知, 回归模型存在稳定点, IDF 得率(Y)的最大预测值为 49.51%, 此时 4 个因素水平分别

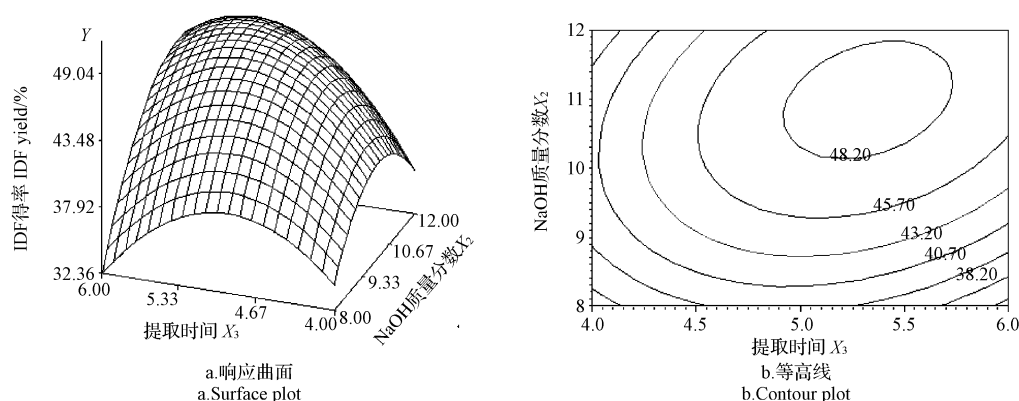
图6 氢氧化钠质量分数( $X_2$ )与提取时间( $X_3$ )对 IDF 得率影响的响应曲面和等高线

Fig. 6 Surface plot and contour plot of alkali mass fraction and extracting time affecting on the yield of IDF

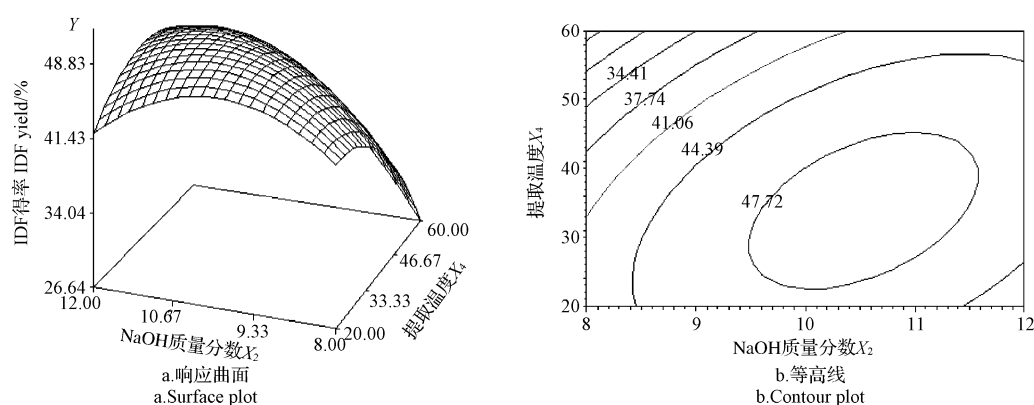
图7 氢氧化钠质量分数( $X_2$ )与提取温度( $X_4$ )对 IDF 得率影响的响应曲面和等高线

Fig. 7 Surface plot and contour plot of alkali mass fraction and extracting temperature affecting on the yield of IDF

为提取液体积( $X_1$ )为 15.18 mL、氢氧化钠质量分数( $X_2$ )为 10.73%、提取时间( $X_3$ )为 5.29 h 和提取温度( $X_4$ )为 37.96℃。将优化试验验证结果修正为提取液体积( $X_1$ )为 15 mL、氢氧化钠质量分数( $X_2$ )为 11%、提取时间( $X_3$ )为 5 h 和提取温度( $X_4$ )为 38℃。在此条件下进行验证试验, IDF 得率(Y)为 49.01%。

### 2.3 IDF 物化性能

在提取液体积为 15 mL、氢氧化钠质量分数为 11%、提取时间为 5 h 和提取温度为 38℃的工艺条件下, 提取 IDF 和其它果蔬渣纤维的物化性能比较见表 5。由表 5 可知, IDF 的物化性能要高于其它苹果渣纤维和柠檬渣纤维, 接近柑桔渣纤维, 说明其具有较好的生物活性。

表 5 果蔬渣纤维的物化性能

Table 5 Physical properties of fruits and vegetables pomace cellulose

种类	膨胀力	持水力
Species	Swelling capacity/mL · g <sup>-1</sup>	Water holding capacity/g · g <sup>-1</sup>
IDF	8.87	3.97
柑桔渣纤维 <sup>[18]</sup>	9.20	4.87
苹果渣纤维 <sup>[20]</sup>	6.59~8.27	1.62~1.87
柠檬渣纤维 <sup>[20]</sup>	7.32~9.19	1.74~1.85

### 3 结论

在提取过程中反应越强, 纤维素结构越松散, 使大部分半纤维素、木质素和果胶从纤维素中暴露出来, 这些物质被水分解, 纤维素被纯化, 使 IDF 质量分数增加而得率减小。因此, 随着提取液体积、氢氧化钠质量分数、提取时间和提取温度增加, IDF 的质量分数增加而得率减小; 但当达到最适提取条件时, 反应就会趋于平缓, IDF 的质量分数和得率变化幅度减小。

通过二次回归分析对试验数据进行回归拟合, 确立 IDF 得率的最优拟合二次多项式方程, 以 IDF 得率为(Y)值, 以提取液体积( $X_1$ )、氢氧化钠质量分数( $X_2$ )、提取时间( $X_3$ )和提取温度( $X_4$ )的编码值为自变量的四元二次回归方程为:  $Y = -215.053958 + 8.428125X_1 + 19.34125X_2 + 44.364167X_3 - 1.083417X_4 - 0.240781X_1^2 - 0.301875X_2X_1 - 1.249375X_2^2 - 0.09125X_3X_1 + 1.5325X_3X_2 - 5.4375X_3^2 + 0.068625X_4X_1 + 0.10425X_4X_2 - 0.05X_4X_3 - 0.010706X_4^2$ 。二次回归模型极显著, 模型的相关系数  $R^2$  为 0.9326, 预测值与实测值之间具有高度的相关性, 二次回归模型在显著水平时

不失拟,回归模型与实际情况拟合性好,可以用此模型来分析和预测胡萝卜渣提取 IDF 试验。

以 IDF 得率(Y)为指标,用响应面分析法确定 4 个因素的最佳工艺参数为提取液体积( $X_1$ )为 15.18 mL、氢氧化钠质量分数( $X_2$ )为 10.73%、提取时间( $X_3$ )为 5.29 h 和提取温度( $X_4$ )为 37.96℃。此工艺条件下,IDF 得率(Y)的值为 49.01%。通过对 IDF 的物化性能的分析可知,IDF 是一种具有高活力的 IDF 产品,其膨胀力和持水力分别为 8.87 mL/g、3.97 g/g。

### 参考文献

- [1] Suutarinen M, Muuranta A, Autio K, et al. The potential of enzymatic peeling of vegetables[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003, 83(15): 1556-1564.
- [2] Tanska M, Zadernowski R, Konopka I. The quality of wheat bread supplemented with dried carrot pomace[J]. Polish Journal of Natural Sciences, 2007, 22(1): 126-136.
- [3] Singh B, Panesar P S, Nanda V. Utilization of Carrot Pomace for the Preparation of a Value Added Product[J]. World Journal of Dairy and Food Sciences, 2006, 1(1): 22-27.
- [4] 林文庭, 洪华荣. 胡萝卜渣膳食纤维提取工艺及其性能特性研究[J]. 粮油食品科技, 2008, 16(6): 56-59.
- [5] Chau C F, Huang Y L. Comparison of the Chemical Composition and Physicochemical Properties of Different Fibers Prepared from the Peel of *Citrus sinensis* L. cv. Liucheng[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(9): 2615-2618.
- [6] Nawirska A, Kwaniewska M. Dietary fibre fractions from fruit and vegetable processing waste[J]. Food Chemistry, 2005, 91(2): 221-225.
- [7] Chau C F, Chen C H, Lee M H. Comparison of the characteristics, functional properties, and *in vitro* hypoglycemic effects of various carrot insoluble fiber-rich fractions[J]. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie, 2004, 37(2): 155-160.
- [8] Hipsley E H. Dietary "fibre" and pregnancy toxemia[J]. British Medical Journal, 1953, 22(8): 420-422.
- [9] 林文庭, 洪华荣. 胡萝卜渣膳食纤维的润肠通便作用[J]. 福建医科大学学报, 2008, 42(6): 522-525.
- [10] Trowell H. Ischemic heart disease and dietary fibre[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 1972, 25(9): 926-932.
- [11] Lecumberri E, Mateos R, Izquierdo-Pulido M, et al. Dietary fibre composition, antioxidant capacity and physico-chemical properties of a fibre-rich product from cocoa (*Theobroma cacao* L.)[J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 948-954.
- [12] 郭建国, 周帅, 张晓晔, 等. 采用药用真菌液态发酵甘薯渣获得膳食纤维的发酵工艺研究[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(7): 42-44.
- [13] 邵梦欣, 陈洪潮, 于建忠, 等. 从胡萝卜中连续提取胡萝卜素、果胶、食用纤维的工艺研究[J]. 食品与发酵工业, 1996(1): 41-43, 45.
- [14] 李铁汉, 张小玲, 赵连彪. 脱果胶甜菜渣提取纤维素及半纤维素的工艺条件[J]. 甘肃农业大学学报, 1997, 32(1): 25-31.
- [15] 蔡宝玉, 王雷, 陶冠军, 等. 莲藕残渣中纤维素的制备工艺[J]. 食品工业, 2004(3): 14-15.
- [16] 王华, 李焕霞, 刘树立. 柑橘膳食纤维的微波-化学法制备工艺研究[J]. 食品科学, 2008, 29(8): 155-157.
- [17] Sangnark A, Noomhorm A. Chemical, physical and baking properties of dietary fiber prepared from rice straw[J]. Food Research International, 2004, 37(1): 66-74.
- [18] 张鸿发, 励建荣, 周勤, 等. 从柑桔皮中提取食用纤维的工艺[J]. 食品研究与开发, 2000, 21(2): 26-27.
- [19] 钱建亚, 丁霄霖. 酸碱挤压联合作用对膳食纤维组成的影响[J]. 西部粮油科技, 1997, 22(2): 26-30.
- [20] Figuerola F, Hurtado M, Estevez A, et al. Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment[J]. Food Chemistry, 2005, 91(3): 395-401.

## Response Surface Methodology for Optimization of Extraction Process for Insoluble Dietary Fiber From Carrot Pomace

LIU Huan<sup>1,2</sup>, XU Jing<sup>1,2</sup>, XIA Guang-hui<sup>1,2</sup>

(1. Research Center of Changbai Mountain Food Engineering, Tonghua Normal University, Tonghua, Jilin 134000; 2. Department of Pharmaceutics and Food Science, Tonghua Normal University, Tonghua, Jilin 134000)

**Abstract:** Taking carrot pomace as material, the volume of extract, alkali concentration, extracting time and extracting temperature were studied by using quadratic rotary combinational design, in order to optimize the extraction of insoluble dietary fiber (IDF) from carrot pomace. The results showed quadratic model was the best model to describe the relationship between the yield of IDF and the factors. R-squared adjusted value of the model was 0.9326. The optimized conditions for IDF extraction were 11% of alkali concentration at the amount of extract of 15 mL, extracting time of 5 h and extracting temperature of 38℃. The yield of IDF was 49.01%. The results of physical and chemical properties showed that the swelling capacity was 8.87 mL/g and water holding capacity was 3.97 g/g.

**Key words:** carrot pomace; insoluble dietary fiber; response surface methodology