

响应面优化火龙果皮中 水不溶性膳食纤维提取工艺

刘倩倩

(菏泽学院药物科学与技术系, 山东菏泽 274015)

摘要:以火龙果皮为原料,采用酸碱结合法提取水不溶性膳食纤维(IDF),通过单因素实验和响应面分析,探讨NaOH质量分数、碱提时间、碱提温度、碱提液料比、酸提温度、酸提时间、酸提液料比七个因素对火龙果皮中水不溶性膳食纤维得率和纯度的影响,并对提取工艺条件进行优化。结果表明,酸碱结合法提取火龙果IDF的最佳工艺条件为NaOH质量分数4.3%、碱提温度46.5℃、碱提时间60 min、碱提液料比15:1(mL/g)、酸提温度77.4℃、酸提时间1.5 h、酸提液料比15:1(mL/g),在此工艺条件下,IDF得率30.29%,纯度达到94.78%,表明该工艺可行。

关键词:火龙果皮,水不溶性膳食纤维,响应面分析

Optimization of extraction technology for insoluble dietary fiber from peel of Pitaya by response surface methodology

LIU Qian-qian

(Heze University Pharmaceutical Science and Technology Department, Heze 274015, China)

Abstract: The sequential treatment with alkaline followed by acid was applied to extract insoluble dietary fiber (IDF) from the peel of pitaya and main process conditions were optimized by single-factor experiments combined with response surface methodology. The extraction rate and purity of IDF were investigated with respect to NaOH concentration, alkaline extraction time, alkaline extraction temperature, alkaline extraction liquid-to-material ratio, acid extraction temperature, acid extraction time and acid extraction liquid-to-material ratio. The results showed that the optimal extraction conditions were NaOH concentration of 4.3% (g/g), alkaline extraction temperature 46.5℃, alkaline extraction time 60 min, alkaline extraction material-to-liquid ratio 15:1 (mL/g), acid extraction temperature 77.4℃, acid extraction time 1.5 h and acid extraction material-to-liquid ratio 15:1 (mL/g). Under the optimal extraction conditions, the yield and purity of IDF were 30.29% and 94.78%, respectively.

Key words: peel of pitaya; insoluble dietary fiber; response surface analysis

中图分类号: TS255.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2015)15-0208-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2015.15.035

火龙果(pitaya)又名红龙果,目前在我国广西、广东、海南、福建等省区都有种植。火龙果果皮中含有丰富的膳食纤维,但是在食用和工业加工过程中,果皮常被丢弃,造成大量资源的损失^[1-2]。研究表明:火龙果皮中膳食纤维含量大约在75%左右,其中水不溶性膳食纤维(Insoluble Dietary Fiber, IDF)占45%左右^[3-5]。膳食纤维有良好的生理保健功能,对人类健康有着积极的作用,能够有效降低糖尿病、心脑血管疾病等疾病的发病率;同时还可以改善胃肠道环境,缓解便秘,改善食品的品质和特性^[6-7]。近年来,膳食纤维独特的保健作用受到人们的青睐。膳食纤维的提取方法主要有化学法、酶法、生物法等,于丽娜等^[8]采用酸碱结合法提取花生壳中水不溶

性膳食纤维, IDF提取率86.44%;杜彬等^[9]采用酸法提取葡萄皮渣中可溶性膳食纤维,得率为47.56 mg/g;李可等^[10]采用碱性蛋白酶水解提取亚麻籽粕不溶性膳食纤维,提取率为52.05%;丁晨阳等^[11]采用酸水解法从苹果渣中提取可溶性膳食纤维,提取率可达到17.68%;李加兴等^[12]采用碱水解法提取膳食纤维,水不溶性膳食纤维的提取率56.89%、纯度达到92.74%;宋燕^[13]采用化学法提取火龙果果皮可溶性膳食纤维,提取率为14.07%。本研究采用酸碱结合的方法来提取火龙果皮中IDF,并采用响应面优化提取工艺。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

收稿日期:2014-12-14

作者简介:刘倩倩(1986-),女,硕士,研究方向:天然产物提取与利用, E-mail:zhengdaqianqian@163.com。

基金项目:菏泽学院博士基金项目;山东省“十二五”高等学校重点实验室资助。

火龙果(红皮白肉) 购于菏泽农贸市场,去果肉留果皮,将果皮洗干净切块后,放置烘箱中,65℃烘干粉碎后备用。浓盐酸、无水乙醇、NaOH(均为分析纯)。

GZX-DH 电热恒温鼓风干燥箱 上海跃进医疗器械厂;TU-1810 型紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司;SHZ-D(Ⅲ)循环水真空泵 巩义市予华仪器有限公司;Sartorius CP225D 型电子天平 德国;HH601 电热恒温水浴锅 常州亚特实验仪器有限公司;DZF-6050 型真空干燥箱 上海捷呈实验仪器有限公司;TG16G 台式高速离心机 金坛市三和仪器有限公司;FW-100 型高速万能粉碎机 上海星尧科学仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 IDF 提取工艺流程 火龙果皮→温水浸泡→碱液浸提→抽滤、蒸馏水洗涤中性→取滤渣进行酸浸提→抽滤、蒸馏水洗涤中性→滤渣→烘干→分析产品中 IDF 含量

1.2.2 单因素实验 单因素实验考察 NaOH 质量分数(1%、2%、3%、4%、5%、6%、7%、8%)、碱提液料比(5:1、8:1、11:1、14:1、17:1、20:1、23:1、26:1)、碱提温度(30、40、50、60、70、80、90℃)、碱提时间(30、50、60、70、80、90 min)、酸提时间(0.5、1、1.5、2、2.5、3、3.5 h)、酸提温度(40、50、60、70、80、90℃)、酸提液料比(5:1、10:1、15:1、20:1、25:1、30:1) 7 个因素对 IDF 得率和纯度的影响。实验原料为 10 g 火龙果皮,碱提液料比 15:1,NaOH 质量分数为 3%、40℃恒温水浴中振荡 60 min,抽滤并洗涤至中性后,加入 150 mL pH=2 的 HCl 溶液,在 80℃下提取 90 min。

1.2.3 响应面优化实验 为了考察各因素间的交互作用并得到最佳的 IDF 提取工艺条件,在单因素实验结果的基础上,采用 Design-Expert 软件,以 A 代表 NaOH 的质量分数,B 代表碱提温度,C 代表碱提时间,D 代表酸提温度,Y₁ 代表 IDF 得率、Y₂ 代表 IDF 纯度作为响应指标,由 Box-Behnken 中心组合进行四因素三水平优化实验。实验因素设计水平见表 1。

表 1 响应面的因素水平表

Table 1 Factors and levels of response surface experiment

水平	因素			
	A NaOH 质量分数 (%)	B 碱提温度 (℃)	C 碱提时间 (min)	D 酸提温度 (℃)
-1	3	45	40	60
0	4	50	50	70
1	5	55	60	80

1.2.4 IDF 得率的计算

$IDF \text{ 得率}(\%) = m_1 / M \times 100$
其中: m_1 -提取物恒重后的质量(g); M -原料火龙果皮的质量(g)。

1.2.5 IDF 纯度的计算

$IDF \text{ 纯度}(\%) = m_2 / m_1 \times 100$
其中: m_2 -提取物中 IDF 的质量(g)。

1.2.6 水不溶性膳食纤维的测定方法 按照 GB/T

5009.88-2008《食品中膳食纤维的测定》方法进行检测。

1.2.7 数据分析方法 单因素实验所得数据采用 excel 软件处理进行显著性分析,并在图上添加 S.E 误差线,响应面优化实验所得数据采用 Design-Expert 8.0 软件进行方差和显著性分析。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果与分析

2.1.1 碱提液料比对 IDF 提取的影响 由图 1 可以看出:碱提液料比对 IDF 的提取影响较小,随着液料比的增加得率先平缓上升后稍有下降,而纯度也平缓上升,可能是因为 NaOH 用量较大时,碱溶性杂质也随着 IDF 溶解出来。综合考虑,液料比选择 15 左右较为合适。经显著性分析得碱提液料比对得率和纯度的影响不显著($p > 0.05$),故该因素不作为响应面优化实验的因素。

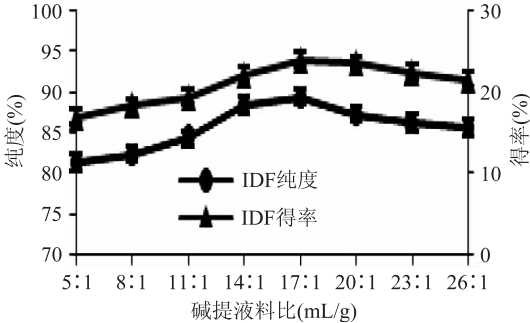


图 1 碱提液料比对 IDF 提取的影响
Fig.1 Effect of alkaline extraction liquid to material ratio on the extraction of IDF

2.1.2 碱提温度对 IDF 提取的影响 由图 2 可以看出:随着碱提温度的升高 IDF 得率先上升后急剧下降,IDF 纯度先提高后下降,当温度超过 50℃,NaOH 对纤维素和半纤维素的破坏能力逐渐增强,导致 IDF 的得率逐渐降低,同时溶解更多的碱溶性杂质,使得 IDF 的纯度降低。综合考虑得率和纯度,选择温度 50℃左右较为适宜。

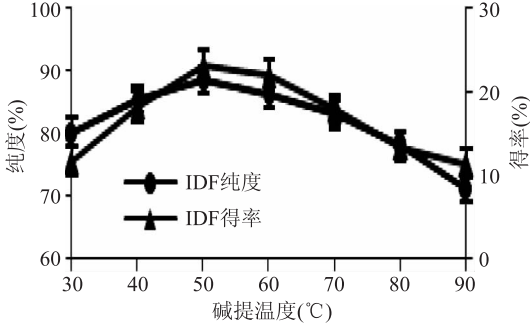


图 2 碱提温度对 IDF 提取的影响
Fig.2 Effect of alkaline extraction temperature on the extraction of IDF

2.1.3 碱提时间对 IDF 提取的影响 由图 3 可以看出,随着碱提时间的增加 IDF 得率先增加后下降,可能因为碱提时间过长,碱溶性物质溶出较多,而 IDF 中部分纤维素物质也会溶解,造成纯度下降,综合考

虑,选择 50 min 左右较为适宜。

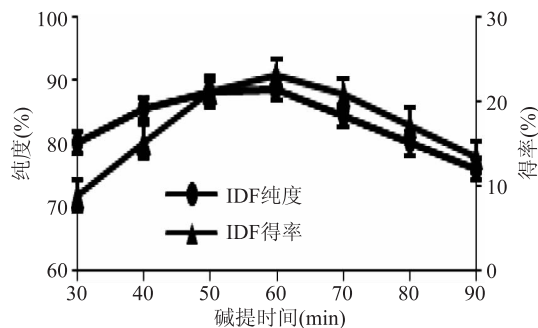


图3 碱提时间对 IDF 提取的影响

Fig.3 Effect of alkaline extraction time on the extraction of IDF

2.1.4 NaOH 的质量分数对 IDF 提取的影响 由图 4 可以看出,随着 NaOH 的质量分数增加 IDF 得率先增加后下降,碱液浓度过高,纤维素与碱液发生反应使纤维素结构发生破坏,使得 IDF 得率下降;综合考虑,选择 4% 左右较为适宜。

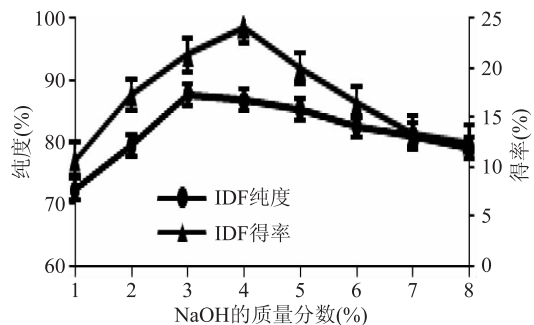


图4 NaOH 的质量分数对 IDF 提取的影响

Fig.4 Effect of NaOH concentration on the extraction of IDF

2.1.5 酸提时间对 IDF 提取的影响 由图 5 可以看出:随着时间的增加 IDF 得率先平缓上升后稍有下降,而纯度也平缓上升,HCl 主要除去淀粉等杂质,但是火龙果皮中淀粉含量较少,故酸提时间对 IDF 的提取影响较小,综合考虑,酸提时间选择 1.5 h 左右较为合适。经显著性分析得酸提时间对得率和纯度的影响不显著 ($p > 0.05$),故该因素不作为响应面优化实验的因素。

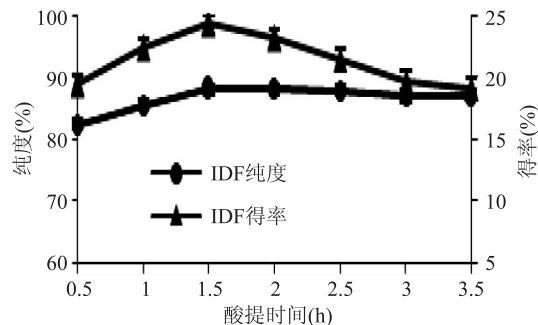


图5 酸提时间对 IDF 提取的影响

Fig.5 Effect of acid extraction time on the extraction of IDF

2.1.6 酸提温度对 SDF 提取的影响 由图 6 可以看

出:随着酸提温度的升高 IDF 得率和纯度曲线都呈现先上升后下降的趋势,因为酸提温度过高,会破坏 IDF 中部分纤维素结构,使纯度下降,同时淀粉等杂质溶解较多,导致 IDF 得率有所下降。综合考虑,选择 70 °C 左右较为适宜。

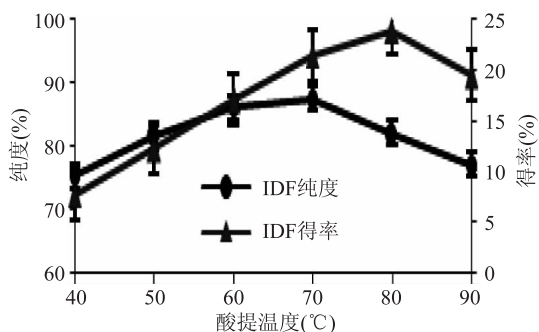


图6 酸提温度对 IDF 提取的影响

Fig.6 Effect of acid extraction temperature on the extraction of IDF

2.1.7 酸提液料比对 IDF 提取的影响 由图 7 可以看出:酸提液料比对 IDF 提取的影响较小,随着液料比的增加 IDF 得率平缓的上升和下降。而纯度会有所上升,考虑原料与 HCl 溶液的用量,选取 15:1 左右作为最佳的酸提液料比。经显著性分析得酸提液料比对得率和纯度的影响不显著 ($p > 0.05$),故该因素不作为响应面优化实验的因素。

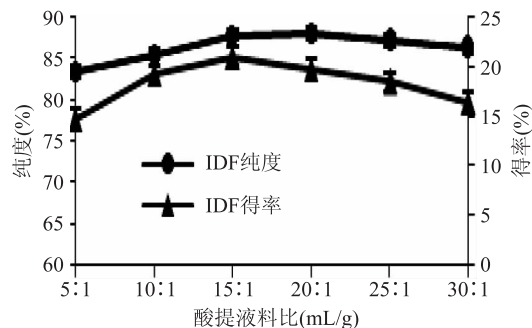


图7 酸提液料比对 IDF 提取的影响

Fig.7 Effect of acid extraction liquid to material ratio on the extraction of IDF

2.2 响应面优化提取条件的优化

2.2.1 响应面实验设计及结果 根据 Box-Behnken 中心组合实验设计原理,综合分析单因素实验,确定碱提液料比 15:1,酸提时间 1.5 h,酸提液料比 15:1,选取对 IDF 得率和纯度影响较大的 4 个因素 (NaOH 的质量分数、碱提温度、碱提时间、酸提温度) 设计了四因素三水平的响应面分析实验。实验分析结果见表 2~表 4。

对表 2、表 3 结果进行统计分析,得出二次多项回归模型方程如下:

$$Y_1 = 24.19 + 1.27A + 1.02B + 1.52C + 1.17D - 0.72AB - 0.47AC - 0.45AD - 1.07BC - 0.71BD - 0.37CD + 0.61A^2 + 1.81B^2 + 1.92C^2 + 1.39D^2$$

$$Y_2 = 94.69 + 1.07A + 1.12B + 1.43C + 1.13D - 0.98AB - 0.72AC - 0.36AD - 1.07BC - 0.89BD - 0.36CD - 2.21A^2 - 0.79B^2 - 0.96C^2 - 1.35D^2$$

表3 IDF得率的回归模型的方差分析及显著性检验

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	p值	显著性
模型	129.51	14	9.25	32.12	<0.0001	**
A	19.23	1	19.23	66.76	<0.0001	**
B	12.69	1	12.69	44.06	<0.0001	**
C	28.03	1	28.03	97.32	<0.0001	**
D	16.36	1	16.36	56.79	<0.0001	**
AB	2.09	1	2.09	7.25	0.0175	*
AC	0.90	1	0.90	3.13	0.0485	*
AD	0.81	1	0.81	2.81	0.1157	
BC	4.43	1	4.43	15.38	0.0015	**
BD	1.99	1	1.99	6.90	0.1924	
CD	0.54	1	0.54	1.88	0.0122	*
A ²	2.39	1	2.39	8.28	<0.0001	**
B ²	21.32	1	21.32	74.01	<0.0001	**
C ²	23.98	1	23.98	83.26	<0.0001	**
D ²	12.38	1	12.38	42.98	<0.0001	**
残差	4.03	14	0.29			
失拟项	3.65	10	0.37	3.85	0.1031	
误差	0.38	4	0.095			
总和	133.54	28				
R-Squared	0.9698	AdjR-Squared	0.9396			

表2 Box-Behnken 中心组合实验设计及实验结果

Table 2 Box-Behnken Central composite design and experimental results						
实验号	A	B	C	D	IDF 得率(%)	IDF 纯度(%)
1	0	0	0	0	24.21	94.56
2	1	0	1	0	28.23	92.12
3	0	-1	-1	0	24.15	89.15
4	-1	0	-1	0	23.75	88.71
5	0	1	-1	0	28.65	93.54
6	0	0	0	0	23.98	94.88
7	0	1	1	0	30.10	94.91
8	-1	0	0	-1	23.69	88.69
9	-1	-1	0	0	23.62	88.62
10	-1	1	0	0	26.65	92.55
11	-1	0	1	0	27.27	92.27
12	0	0	0	0	24.03	95.01
13	0	0	-1	1	27.31	92.31
14	0	0	0	0	24.02	94.78
15	0	-1	0	1	28.35	93.34
16	0	1	0	-1	27.32	92.90
17	0	-1	0	-1	23.72	88.68
18	1	1	0	0	28.17	92.89
19	-1	0	0	1	26.45	91.35
20	0	1	0	1	29.13	94.01
21	1	0	-1	0	26.61	91.57
22	0	0	1	-1	28.43	93.41
23	0	0	1	1	29.62	94.63
24	1	0	0	-1	27.31	92.01
25	0	-1	1	0	29.81	94.78
26	0	0	-1	-1	24.65	89.61
27	1	-1	0	0	28.03	92.78
28	0	0	0	0	24.72	94.11
29	1	0	0	1	28.27	93.25

从表3 结果分析可知,该数学模型 p 值 < 0.0001,说明该模型极其显著,各因素的一次项 A、B、C、D 是极其显著的,二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 是极其显著的,交互项 BC 影响极其显著,AB、AC、CD 影响显著,线性方程的相关系数 R^2 (0.9698) 与校正的 R^2 (0.9396) 具有良好的一致性,表明该模型的准确性和适用性较好。由 F 值大小可知,影响 IDF 得率的主要因素主次顺序为 $C > A > D > B$,即碱提时间 > NaOH 的质量分数 > 酸提温度 > 碱提温度。

从表4 结果分析可知,该二次回归方程的一次项、二次项及交互项 AB、BC、BD 表现出极其显著影响,AC 影响显著,并且失拟项不显著,经 Design-Expert 8.0 Trial 软件分析得到,预测的 R^2 (0.9646) 与校正的 R^2 (0.9292) 相差很小,说明数学拟合模型与实验实测值能很好的拟合。由 F 值大小可知,影响 IDF 纯度的主要因素主次顺序为 $C > D > B > A$,即碱提时间 > 酸提温度 > 碱提温度 > NaOH 的质量分数。

2.2.2 各因素之间的交互作用 根据回归方程,做出响应面分析图,其中对 IDF 得率影响表现显著和极其显著的交互项 (AB、AD、BC、CD) 和对 IDF 纯度影响表现显著和极其显著的交互项 (AB、AC、BC、BD) 的响应面图见图 8。

对得率和纯度取最大值,由软件自动分析得出最优化条件,因软件自动分析的最优提取条件中的纯度值相差不大,所以以得率值作为最优化指标,得到最优化的工艺条件:NaOH 质量分数 4.32%、碱提温度 46.58 ℃、碱提时间 59.8 min、酸提温度 77.36 ℃,在此条件下 IDF 得率为 30.5%,IDF 纯度达到 95.01%。为检验响应面法所得的结果的可靠性,采用上述优化提取条件提取 IDF,考虑到实际操作的便利,选取 NaOH 质量分数 4.30%、碱提温度 46.5 ℃、碱提时间

表 4 IDF 纯度的回归模型的方差分析及显著性检验

Table 4 Analysis of variance and significance test of the regression model for content of IDF

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	显著性
模型	122.33	14	8.74	27.26	<0.0001	**
A	13.70	1	13.70	42.73	<0.0001	**
B	15.14	1	15.14	47.24	<0.0001	**
C	24.65	1	24.65	76.91	<0.0001	**
D	15.37	1	15.37	47.95	<0.0001	**
AB	3.86	1	3.86	12.05	0.0037	**
AC	2.09	1	2.09	6.51	0.0230	*
AD	0.52	1	0.52	1.62	0.2242	
BC	4.62	1	4.62	14.42	0.0020	**
BD	3.15	1	3.15	9.83	0.0073	**
CD	0.53	1	0.53	1.64	0.2212	
A ²	31.63	1	31.63	98.68	<0.0001	**
B ²	4.06	1	4.06	12.65	0.0032	**
C ²	5.92	1	5.92	18.48	0.0007	**
D ²	11.79	1	11.79	36.78	<0.0001	**
残差	4.49	14	0.34			
失拟项	3.77	10	0.40	2.09	0.2490	
误差	0.72	4	0.18			
总和	126.82	28				
R-Squared	0.9646	AdjR-Squared	0.9292			

注：** 差异极显著($p < 0.01$)，* 差异显著($p < 0.05$)。

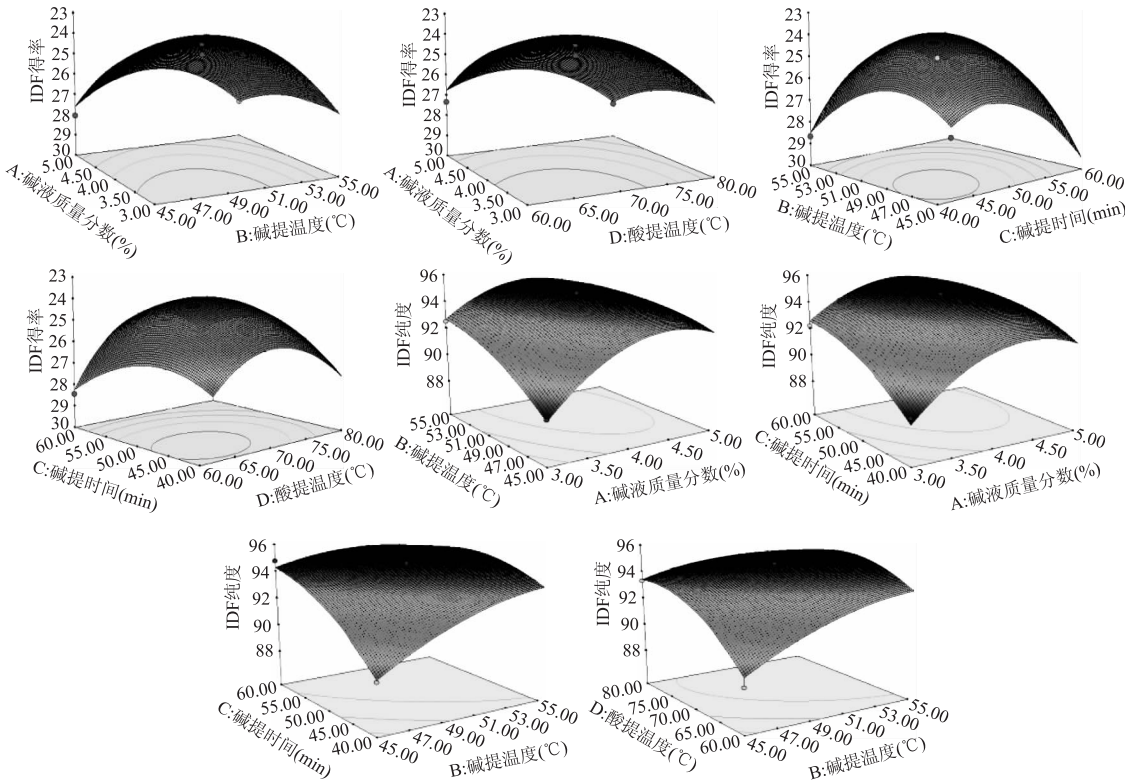


图 8 各因素相互作用的响应面图

Fig.8 Response surface plots of pairwise interactive effects

60 min、酸提温度 77.4 ℃,在此条件下进行 3 次平行验证实验,IDF 得率和纯度的平均值为 30.29% 和 94.78%。

3 结论

通过单因素和响应面优化实验,确定提取火龙果皮 IDF 的最佳工艺条件为 NaOH 质量分数 4.30%、碱提温度 46.5 ℃、碱提时间 60 min、碱提液料比 (下转第 218 页)

渐降低;干酪素浓度的增加使生鲜马乳的热稳定性呈先升高再降低的趋势;柠檬酸三钠浓度的增加会使生鲜马乳的热稳定性先升高再降低;磷酸氢二钠浓度的增加使生鲜马乳的热稳定性逐渐升高;磷酸二氢钠浓度对生鲜马乳的热稳定性影响不显著。pH、柠檬酸三钠和干酪素三个因素对生鲜马乳热稳定性作用的最佳条件范围是 pH6.71~6.83,柠檬酸三钠浓度 0.34~0.44 g/L,干酪素浓度 3.29~3.68 g/L,在该条件下生鲜马乳的 HCT 值范围是为 50~66 s。

参考文献

- [1] 刘亚东.马奶营养价值评定及在早产儿配方乳中的应用[D].哈尔滨:东北农业大学,2012.
- [2] 刘洪元,安建钢.鲜马奶缓解体力疲劳的研究[J].中国乳品工业,2010,38(2):24-27.
- [3] 史永翠.羊乳及其制品稳定性的研究进展[J].乳业科学与技术,2013,36(3):16-19.
- [4] 姚新奎,欧阳文.新疆特色马产业探析[J].新疆农业科学,2007,44(2):199-205.
- [5] 陆东林.马乳的营养价值和开发利用[J].新疆畜牧业,2012,4(2):4-7.
- [6] Fox P F, Hoynes M C T. Heat stability characteristics of ovine, caprine and equine milks[J]. Journal of Dairy Research, 1976, 43(3): 433-442.
- [7] Omoarukhe E D, ON-NOM N, Grandison A S, et al. Effects of different calcium salts on properties of milk related to heat stability[J]. International Journal of Dairy Technology, 2010, 63(4): 504-511.
- [8] On-Nom N, Grandison A S, Lewis M J. Heat stability of milk

supplemented with calcium chloride[J]. Journal of Dairy Science, 2012, 95(4): 1623-1631.

- [9] 王丽娜,徐明芳.基于毛细管区带电泳系统的南方水牛乳酪蛋白分析技术研究[J].分析测试学报,2013,30(3):264-268.
- [10] 晁海英,张富新,王伟.无机盐对莎能羊羊奶热稳定性的影响[J].农产品加工:学刊,2008(10):22-24.
- [11] 赵利,王璋.牛乳酪蛋白活性肽的研究进展[J].江苏农业科学,2002(6):71-75.
- [12] Calvo M M, Amigo L, Olano A, et al. Effect of thermal treatments on the determination of bovine milk added to ovine or caprine milk[J]. Food Chemistry, 1989, 32(2): 99-108.
- [13] 刘洪元,常江.鲜马奶对小鼠免疫功能的影响[J].中国乳品工业,2006,34(7):37-39.
- [14] Nakamura A, Furuta H, Kato M, et al. Effect of soybean soluble polysaccharides on the stability of milk protein under acidic conditions[J]. Food Hydrocolloids, 2003, 17(3): 333-343.
- [15] 罗永康,刘娟,董翠霞.无机盐对牛乳蛋白质胶体稳定体系影响的研究[J].食品科技,2003,12:12-14.
- [16] 姚新奎.伊犁马新吉马及其杂交马乳理化指标泌乳特性初步研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2011.
- [17] 李永强,杨士花,夏晓辉,等.水牛乳乳清蛋白的热稳定性[J].中国乳品工业,2012,5(11):112-114.
- [18] 施正学.牛乳蛋白质热稳定性和酒精实验稳定性机理研究进展[J].中国乳品工业,1993,2(4):114-116.
- [19] 明道绪.高级生物统计[M].北京:中国农业出版社,2002,365-375.
- [20] 刘畅.崂山奶山羊乳的热稳定性影响因素研究[J].现代食品科技,2014,30(1):96-99.

(上接第 212 页)

15:1(mL/g)、酸提温度 77.4℃、酸提时间 1.5 h、酸提液料比 15:1(mL/g)在此工艺条件下, IDF 得率 30.29%,纯度达到 94.78%。影响火龙果皮 IDF 得率的主要因素主次顺序为碱提时间>NaOH 的质量分数>酸提温度>碱提温度;影响火龙果皮 IDF 纯度的主要因素主次顺序为碱提时间>酸提温度>碱提温度>NaOH 的质量分数。

目前膳食纤维提取主要从苹果渣、葡萄皮渣、火棘、柚子皮等原料中提取,尚未有从火龙果皮提取水不溶性膳食纤维的报道,因此本研究结果具有一定的工业应用价值。火龙果皮是水果产业的主要副产物之一,如能将其高附加值利用,则可大幅度提升火龙果深加工企业的经济效益。

参考文献

- [1] 郑建仙.功能性食品学[M].北京:中国轻工业出版社,2003:24-28.
- [2] 吴谋成.功能食品研究与应用[M].北京:化学工业出版社,2004:17-18.
- [3] 王彦玲,刘冬,付全意,等.膳食纤维的国内外研究进展[J].中国酿造,2008,27(5):1-4.
- [4] Sanaka M, Yamamoto T, Anjiki H, et al. Effects of agar and pectin on gastric emptying and post-prandial glycaemic profiles in

healthy human volunteers [J]. Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology, 2007, 34(11): 1151-1155.

- [5] Iain A, Brownlee. The physiological roles of dietary fibre[J]. Food Hydrocolloids, 2011(25): 238-250.
- [6] 韩俊娟,木泰华,张柏林.膳食纤维生理功能的研究现状[J].食品科技,2008(6):243-245.
- [7] 魏丹,王泽南,杨慧.荸荠果皮不溶性膳食纤维提取工艺的研究[J].食品科技,2007,32(8):258-260.
- [8] 于丽娜,杨庆林,禹山林,等.花生壳水不溶性膳食纤维提取工艺的研究[J].食品科学,2010,31(2):74-78.
- [9] 杜彬,李凤英,范长军,等.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[J].食品科学,2011,32(22):128-134.
- [10] 李可,侯伟伟,秦娜娜,等.响应面法优化亚麻籽粕不溶性膳食纤维提取工艺[J].新疆农业科学,2013,50(3):490-498.
- [11] 丁晨阳,韩舜愈,盛文军,等.响应曲面法优化苹果渣可溶性膳食纤维提取工艺[J].食品工业科技,2012,33(7):266-270.
- [12] 李加兴,梁先长,黄诚,等.响应面法优化火棘水不溶性膳食纤维提取工艺[J].食品科学,2011,32(14):118-123.
- [13] 宋燕.火龙果果皮中可溶性膳食纤维的提取[J].食品与发酵工业,2013,39(12):209-212.