

猕猴桃皮膳食纤维胶体磨湿法改性工艺优化

Optimization of modifying kiwifruit peel dietary fiber with a colloid mill

吴海玉 龚林玲 杨万根

WU Hai-yu GONG Lin-ling YANG Wan-gen

(吉首大学食品科学研究所, 湖南 吉首 416000)

(Institute of Food Science, Jishou University, Jishou, Hunan 416000, China)

摘要:以猕猴桃皮膳食纤维(kiwifruit peel dietary fiber, KPDPF)的持水力及持油力为指标,考察胶体磨齿间距、液料比和粉碎时间对持水力及持油力的影响,然后通过Box-Behnken试验优化粉碎改性工艺条件。结果表明,优化改性工艺条件为胶体磨齿间距13 μm ,液料比90:1 (mL/g),粉碎时间7.5 min。在该条件下粉碎后,KPDPF的平均粒径(D_{50})为58 μm ,比改性前降低了94.42%;持水力和持油力分别为12.47, 5.45 g/g,比改性前提高了136.09%, 63.34%;膨胀力、溶解度、阳离子交换能力分别达11.56 mL/g, 15.70%, 23.10 mmol/g,比改性前提高了157.26%, 80.46%, 31.62%。研究结果说明胶体磨粉碎改性作用明显,所得改性KPDPF具有优良的功能和理化特性。

关键词:猕猴桃皮;膳食纤维;改性;胶体磨

Abstract: Using water retention capability and oil-binding capability as indices, the effects of the factors such as insert spacing of colloid mill, ratio of liquid to solid and milling time on the indices were evaluated, and the optimal conditions of the modification were obtained by a Box-Behnken experiment. The results showed that the optimal modification conditions were: insert spacing of 13 μm , ratio of liquid to solid of 90:1 (mL/g) and milling time of 7.5 min. After crushing under such conditions, the KPDPF had an average particle size (D_{50}) of 58 μm , lower than that before modification by 94.42%; the KPDPF possessed a water retention capacity of 12.47 g/g and an oil-binding capacity of 5.45 g/g, higher than those prior to modification by 136.09% and 63.34%, respectively. The swelling capacity, solubility and cation exchange capacity of the modified KPDPF reached 11.56 mL/g, 15.70%, 23.10 mmol/g, higher than those prior to modification by 157.26%, 80.46% and 31.62%. The results indicate that the modification with colloid mill is significantly effective, and the modified KPDPF has excellent functional and physicochemical properties.

Keywords: kiwifruit peel; dietary fiber; modification; colloid mill

膳食纤维(dietary fiber, DF)是不能被人体消化的多糖类碳水化合物及木质素的总称。研究^[1-2]发现,DF具有较强的持水力和持油力,可以吸收人体肠道中大量的水分,增加饱腹感,提高人体排便的速度,同时可以吸附脂肪并将其排出体外,减少机体对脂肪的吸收,具有降低人体胆固醇、血糖、血脂,预防心血管疾病,抗氧化,预防结肠癌、乳腺癌等生理功能,被称为“第七大营养素”。

中国是世界猕猴桃的起源地,种植面积和产量均居世界第一位^[3]。在猕猴桃果汁、果脯、果酒、果酱等食品的加工过程中会产生大量的猕猴桃皮渣。有研究^[4]表明,猕猴桃皮渣中含有丰富的单糖、双糖、低聚糖和淀粉、DF等多糖物质。然而,人们对猕猴桃皮渣的开发利用研究尚少,仅见皮渣果胶物质的提取^[5]、果皮提取物中多酚的纯化^[6]、果皮吸附剂的制备^[7]、可溶性DF的酸法制备^[8]等报道。课题组前期利用猕猴桃皮渣同步糖化发酵生产酒精,得到酒精和猕猴桃皮膳食纤维(kiwifruit peel dietary fiber, KPDPF)两种产品,但所得KPDPF颗粒粗,持水力、持油力等功能特性差,用途有限,因此需要对其开展以提高持水力和持油力为目标的改性,以扩大其在功能性食品中的应用。但尚未发现对猕猴桃皮膳食纤维进行改性的研究报道。目前,DF的改性方法主要有干法粉碎、湿法粉碎、超高压法、蒸汽爆破法、酶法和化学法等^[9-10]。胶体磨法是工业改性方法中比较成熟的一种,其处理能力大,能耗较低,设备及操作方法简单,在油橄榄果渣^[11]、西番莲果皮^[12]等膳食纤维的改性中有良好的效果。试验拟以持水力、持油力为指标,采用胶体磨湿法粉碎方法对同步糖化发酵技术得到的KPDPF进行改性,研究最优

基金项目:湘西自治州科技研发项目(编号:州财企指[2015]18号);湖南省重点研发计划项目(编号:2015NK3020)

作者简介:吴海玉,女,吉首大学在读本科生。

通信作者:杨万根(1974—),男,吉首大学副教授,博士。

E-mail: yangwanggen08@163.com

收稿日期:2019-01-06

改性条件,并对所得产品的溶解度、膨胀力、阳离子交换能力(cation exchange capacity, CEC)、粒径等特性进行表征,以期对 KPDF 的综合开发利用提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

猕猴桃皮渣:米良 1 号,湘西老爹生物有限公司;

安琪白酒王干酵母:湖北安琪母股份有限公司;

耐高温 α -淀粉酶:30 000 U/g,湖南新鸿鹰生物工程有限公司;

中性蛋白酶、糖化酶:50 000 U/g,湖南新鸿鹰生物工程有限公司;

NaOH、NaCl、HCl、AgNO₃、(NH₄)₂SO₄、丙酮等:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

玉米油:山东三星玉米产业科技有限公司。

1.2 仪器与设备

中草药粉碎机:Fw177 型,天津市泰斯特仪器有限公司;

电热鼓风干燥箱:101-2AB 型,天津泰斯特仪器有限公司;

台式多管自动平衡离心机:TDZ4 型,长沙平凡仪器仪表;

恒温水浴锅:HH-S2 型,金坛市成辉仪器厂;

胶体磨:JTM-L65 型,转速 2 880 r/min,上海立先机械工业有限公司;

激光粒度分析仪:BT-9300 型,丹东百特仪器有限公司;

冷冻干燥机:FD5-2.5 型,Gold SIM international Group Co., LTD。

1.3 方法

1.3.1 KPDF 制备 称取猕猴桃皮渣,粉碎,用蒸馏水按 4 : 1 (mL/g)的液料比配成高浓度料液,将其在 90 °C 下糊化 30 min 至均匀糊状溶液;调节 pH 值为 5.0,加入 300 U/g 耐高温 α -淀粉酶,90 °C 下液化 30 min;将发酵料液冷却至 60 °C,加入 1 075 U/g 糖化酶和 0.75% 硫酸铵,在 35 °C 时加入 0.75% 活化后的酵母,在 38 °C 同步糖化发酵 43 h。发酵料液过滤,滤渣清洗,60 °C 真空烘干。称取烘干的样品,按液料比 20 : 1 (mL/g)加入蒸馏水配成溶液,调节 pH 值为 6.5,加入 0.75% 中性蛋白酶,55 °C 恒温振荡酶解 4 h。过滤,滤渣于 60 °C 真空烘干。滤渣干粉加入石油醚至完全浸没,静置 12 h,过滤,晾干,制得 KPDF。

1.3.2 单因素试验设计

(1) 液料比:称取 KPDF 若干份,以液料比 30 : 1, 60 : 1, 90 : 1, 120 : 1, 150 : 1 (mL/g)加入蒸馏水,调节齿间距为 8 μ m,连续粉碎 5 min,分析液料比对 KPDF 持

水力和持油力的影响。

(2) 齿间距:称取 KPDF 若干份,按最佳液料比加入蒸馏水,调节齿间距为 6, 8, 10, 12, 14 μ m,连续粉碎 5 min,分析齿间距对 KPDF 持水力和持油力的影响。

(3) 粉碎时间:称取 KPDF 若干份,按最佳液料比和最佳齿间距,粉碎 1, 3, 5, 7, 9 min,分析粉碎时间对 KPDF 持水力和持油力的影响。

1.3.3 Box-Behnken 试验设计 以持油力和持水力为目标,采用 Box-Behnken 设计开展三因素三水平响应面试验。

1.3.4 改性前后 KPDF 理化特性表征 测定改性前后 KPDF 的持水力、持油力、膨胀力、溶解度、CEC,比较其变化。

(1) 持水力测定:参照文献[13],按式(1)计算持水力。

$$c_w = \frac{m_1 - m_2}{m_2}, \quad (1)$$

式中:

c_w ——持水力或持油力, g/g;

m_1 ——样品湿重, g;

m_2 ——样品干重, g。

(2) 持油力测定:参照文献[14],按式(1)计算持油力。

(3) 膨胀力测定:参照文献[15],按式(2)计算膨胀力。

$$c_e = \frac{v_1 - v_2}{m}, \quad (2)$$

式中:

c_e ——膨胀力, mL/g;

v_1 ——膨胀后体积, mL;

v_2 ——干品体积, mL;

m ——样品干重, g。

(4) 溶解度测定:参照文献[16],按式(3)计算溶解度。

$$S = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

S ——溶解度, %;

m_1 ——样品质量, g;

m_2 ——剩余不溶物质量, g。

(5) CEC 测定:参照文献[17],按式(4)计算 CEC,结果以每克样品中酸化形式样品的毫摩尔量计。

$$\alpha = \frac{(v_1 - v_2) \times 0.01}{m}, \quad (4)$$

式中:

α ——阳离子交换能力, mmol/g;

0.01——滴定用 NaOH 浓度, mol/L;

v_1 ——滴定所消耗的 NaOH 体积, mL;
 v_2 ——空白所消耗的 NaOH 体积, mL;
 m ——酸化样品的质量, g。

1.3.5 粒径分布 以水为分散剂,将样品配制成溶液,采用 BT-9300 激光粒度分析仪测定样品的粒度分布状况,结果以平均粒径 D_{50} 表示。

1.3.6 数据处理与统计 所有试验均重复 3 次,结果用 Origin 2019b 作图,用 Design expert 8.0.6 软件对 Box-Behnken 试验结果进行分析。

2 结果与讨论

2.1 液料比对持水力、持油力的影响

由图 1 可知,随着液料比的增大,样品的持水力呈现先增加后减小的变化,而持油力逐渐增加,液料比达到 90 : 1 (mL/g) 后趋于稳定。原因是随着液料比的增大,样品黏度减小,被粉碎得更细,比表面积增加,与水、油的接触面积更大;当液料比增加到 90 : 1 (mL/g) 时,表现出最大持水力和持油力。但液料比继续增大,粉碎过度,样品的纤维结构遭到严重破坏,对水的滞留能力下降,所以持水力急剧下降^[18]。但油的流动性较水的差,当样品纤维空间被破坏时,对油的滞留比较水的大,所以持水力下降明显而持油力变化不大。

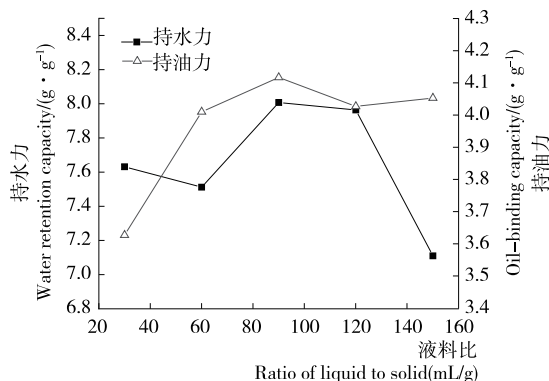


图 1 液料比对 KPDP 持水力、持油力的影响

Figure 1 Effects of liquid to solid ratio on water retention capacity and oil-binding capacity of KPDP

2.2 齿间距对持水力、持油力的影响

由图 2 可知,随着齿间距的减小,样品的持水力、持油力先增加后减小。这是因为随着齿间距的减小,胶体磨对样品的剪切力、摩擦力增大,粉碎力度增大,样品颗粒更细,与水、油的接触面积增大;当齿间距为 12 μm 时,持水力和持油力达到最大。齿间距继续减小,胶体磨对样品的粉碎力度加大,使样品的纤维结构被破坏得更严重,对水、油的束缚减小,所以持水力、持油力下降。但持水力在齿间距 $< 10 \mu\text{m}$ 后,不再下降,可能是因为样品中的亲水基团暴露,在亲水基团的作用下,持水力不再

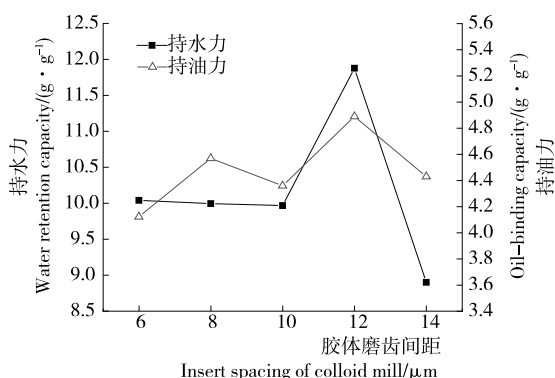


图 2 齿间距对 KPDP 持水力、持油力的影响

Figure 2 Effects of insert spacing on water retention capacity and oil-binding capacity of KPDP

下降^[19]。

2.3 粉碎时间对持水力、持油力的影响

由图 3 可知,样品的持水力随粉碎时间的增加先增加后减小,持油力先增加后趋于稳定。这是因为随着粉碎时间的增加,样品被粉碎得更彻底,颗粒更细,比表面积增大,持水力、持油力增加,当粉碎时间为 7 min 时,持水力、持油力最大。随着粉碎时间的进一步延长,粉碎过度,样品的纤维结构遭到破坏,对水的滞留能力下降,所以持水力急剧下降。

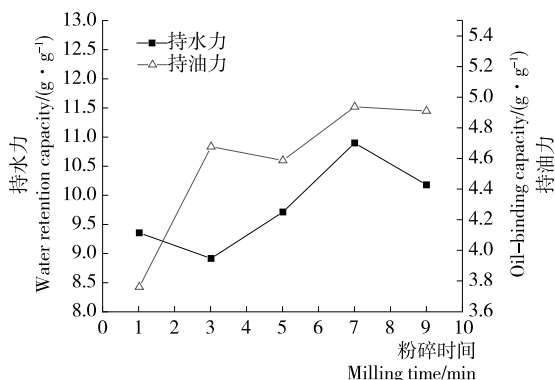


图 3 粉碎时间对 KPDP 持水力、持油力的影响

Figure 3 Effects of milling time on water retention capacity and oil-binding capacity of KPDP

2.4 Box-Behnken 试验结果及分析

Box-Behnken 试验因素水平见表 1,试验结果见表 2。

表 1 Box-Behnken 试验因素水平

Table 1 Factors and levels of Box-Behnken experiment

水平	A 液料比 (mL/g)	B 粉碎时间/ min	C 齿间距/ μm
-1	60 : 1	5	10
0	90 : 1	7	12
1	120 : 1	9	14

表 2 Box-Behnken 试验结果
Table 2 Results of Box-Behnken experiment

试验号	A	B	C	持水力/ (g · g ⁻¹)	持油力/ (g · g ⁻¹)
1	-1	-1	0	7.76	3.51
2	1	-1	0	9.88	4.31
3	-1	1	0	9.86	4.51
4	1	1	0	7.84	4.19
5	-1	0	-1	8.51	4.35
6	1	0	-1	8.87	4.07
7	-1	0	1	9.89	4.34
8	1	0	1	10.49	4.69
9	0	-1	-1	10.41	4.68
10	0	1	-1	9.09	4.36
11	0	-1	1	9.54	4.42
12	0	1	1	12.21	5.11
13	0	0	0	12.35	5.50
14	0	0	0	12.18	5.74
15	0	0	0	11.85	5.73
16	0	0	0	12.52	5.19
17	0	0	0	12.51	5.39

对表 2 中结果进行多项拟合回归,得持水力、持油力对液料比、粉碎时间和齿间距的多元二次回归方程:

$$Y_{\text{水}} = 12.28 + 0.13A + 0.18B + 0.66C - 1.04AB + 0.060AC + 1.00BC - 2.16A^2 - 1.29B^2 - 0.68C^2, \quad (5)$$

$$Y_{\text{油}} = 5.51 + 0.069A + 0.16B + 0.14C - 0.28AB + 0.16AC + 0.25BC - 0.83A^2 - 0.55B^2 - 0.32C^2. \quad (6)$$

对回归方程进行方差分析,结果见表 3、4。

表 3 KPDF 持水力回归方程方差分析[†]
Table 3 Variance analysis of regression equation on water retention capacity of KPDF

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	43.27	9	4.81	49.42	<0.000 1	* *
A	0.14	1	0.14	1.44	0.268 6	
B	0.25	1	0.25	2.55	0.154 0	
C	3.45	1	3.45	35.41	0.000 6	*
AB	4.28	1	4.28	44.04	0.000 3	*
AC	0.01	1	0.01	0.15	0.711 9	
BC	3.98	1	3.98	40.91	0.000 4	*
A ²	19.64	1	19.64	201.86	<0.000 1	* *
B ²	6.98	1	6.98	71.71	<0.000 1	* *
C ²	1.96	1	1.96	20.14	0.002 8	*
残差	0.68	7	0.097			
失拟项	0.37	3	0.120	1.59	0.323 8	
纯误差	0.31	4	0.078			
总误差	43.95	16				

[†] $R^2=0.984\ 5, R_{\text{Adj}}^2=0.964\ 6, CV=3.02\%,$ 信噪比 20.026。

表 4 KPDF 持油力回归方程方差分析[†]
Table 4 Variance analysis of regression equation on oil-binding capacity of KPDF

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	6.10	9	0.68	17.34	0.000 5	*
A	0.04	1	0.04	0.97	0.358 0	
B	0.20	1	0.20	5.00	0.060 5	
C	0.15	1	0.15	3.87	0.089 8	
AB	0.31	1	0.31	8.03	0.025 3	*
AC	0.10	1	0.10	2.54	0.155 1	
BC	0.26	1	0.26	6.53	0.037 8	*
A ²	2.90	1	2.90	74.23	<0.000 1	* *
B ²	1.27	1	1.27	32.60	0.000 7	*
C ²	0.42	1	0.42	10.86	0.013 2	*
残差	0.27	7	0.039			
失拟项	0.055	3	0.018	0.34	0.800 2	
纯误差	0.22	4	0.055			
总误差	6.37	16				

[†] $R^2=0.957\ 1, R_{\text{Adj}}^2=0.901\ 9, CV=4.20\%,$ 信噪比 12.433。

表 3 显示,模型 $P<0.000\ 1$,失拟项 $P=0.323\ 8>0.05$,说明该模型显著。 $R^2=0.984\ 5, R_{\text{Adj}}^2=0.964\ 6$,说明该拟合方程与实际情况相符,且误差较小,能充分反映各因素与响应值之间的关系。变异系数 $CV=3.02\%$,说明模型的重现性很好^[20]。模型 A²、B² 项极显著 ($P<0.000\ 1$),C、AB、BC、C² 项显著 ($P<0.05$),A、B、AC 项不显著 ($P>0.05$)。由 F 值大小可推断持水力影响因素的主次顺序为齿间距>粉碎时间>液料比。

表 4 显示,模型 $P=0.000\ 5<0.05$,相关系数 $R^2=0.957\ 1$,模型修正系数 $R_{\text{Adj}}^2=0.901\ 9$,失拟项 $P=0.800\ 2>0.05$ 不显著,表明模型拟合程度较好,回归方程能很好地描述各因素与响应值之间的关系。模型 A² 项极显著,AB、BC、B²、C² 项显著,但 A、B、C、AC 项不显著。由 F 值大小可推断 3 个因素对持油力影响的主次顺序为粉碎时间>齿间距>液料比。

对二次多项式回归方程进行计算,得到最佳持水力、最佳持油力和两者兼顾时的最优工艺条件,结果见表 5。其中,两指标兼顾时的最佳工艺条件为:液料比 90.27 : 1 (mL/g),粉碎时间 7.51 min,齿间距 12.97 μm 。考虑到实际操作的便利性,将其条件修正为:液料比 90 : 1 (mL/g),粉碎时间 7.50 min,齿间距 13 μm 。该条件下,持水力和持油力的预测值为 12.52 g/g 和 5.54 g/g。验证实验测得 KPDF 持水力为 12.47 g/g,持油力为 5.45 g/g,与预测值差异在 5% 范围内,表明该模型优化所得的工艺条件可靠。

表 5 响应面试验得到的不同指标的理论最佳工艺条件和预测值

Table 5 Theoretically optimal conditions and predicted values for various indices obtained from Box-Behnken experiments

指标	液料比(mL/g)	粉碎时间/min	齿间距/ μm	预测值/ $(\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$
持水力	88.48	7.77	13.52	12.56
持油力	91.08	7.41	12.61	5.55
持水力+持油力	90.27	7.51	12.97	12.52+5.54

2.5 改性前后 KPDF 理化特性

表 6 显示, KPDF 平均粒径 (D_{50}) 由改性前的 1 040 μm 减小到 58 μm ,改性后平均粒径降低了 94.42%。因 KPDF 颗粒减小,比表面积增大,与水、油的接触面积增加,其持水力、持油力、膨胀力达到 12.47 g/g、5.45 g/g 和 11.56 mL/g,比改性前分别增长了 136.09%, 63.34%,157.46%;其溶解度、CEC 达到 15.70% 和 23.10 mmol/g,比改性前增长了 80.46%,31.62%,是因为改性后部分不溶性 KPDF 转变成可溶性 KPDF,且

KPDF 的侧链基团得以暴露所致。潘曼^[21]采用酶解法从榨汁后的猕猴桃果渣中制备到 DF,其持水力、持油力、膨胀力分别为 5.24 g/g、1.06 g/g、7.05 mL/g,与表 6 中改性前产品相比,其持油力较低,但持水力和膨胀力较高;杨远通^[22]将猕猴桃果渣 DF 改性,所得产品的持水力、持油力、膨胀力分别为 9.97 g/g、7.06 g/g、13.6 mL/g,与表 6 中改性后产品相比,其持水力较低,但持油力和膨胀力较高。产生差异的原因可能与皮渣和果渣的物质组成不同有关。

表 6 KPDF 改性前后的理化特性

Table 6 Physicochemical properties of KPDF before and after modification

样品	持水力/ $(\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	持油力/ $(\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	膨胀力/ $(\text{mL} \cdot \text{g}^{-1})$	溶解度/%	CEC/ $(\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1})$	平均粒径(D_{50})/ μm
改性前	5.07 $\pm$ 0.15	3.11 $\pm$ 0.17	4.49 $\pm$ 0.07	8.70 $\pm$ 0.60	17.55 $\pm$ 0.18	1 040 $\pm$ 114
改性后	12.47 $\pm$ 0.19	5.45 $\pm$ 0.16	11.56 $\pm$ 0.10	15.70 $\pm$ 0.40	23.10 $\pm$ 0.05	58 $\pm$ 6

3 结论

试验考察了胶体磨湿法改性工艺中齿间距、液料比、粉碎时间对猕猴桃皮膳食纤维持水性和持油性的影响。得到最佳粉碎改性工艺条件为液料比 90 : 1 (mL/g),粉碎时间 7.50 min,齿间距 13 μm ,此条件下的改性猕猴桃皮膳食纤维平均粒径为 58 μm ,持水力为 12.47 g/g,持油力为 5.45 g/g,膨胀力为 11.56 mL/g,溶解度为 15.70%,阳离子交换能力为 23.10 mmol/g,较改性前的指标均有显著提高。说明胶体磨湿法改性方法对猕猴桃皮膳食纤维有显著的改性效果。膳食纤维改性的目的是为了能在食品中产生更好的感官体验和更高的营养价值,所以此试验得到的改性猕猴桃皮膳食纤维在如肉制品、焙烤制品、饮料等各类食品中应用时对食品的感官品质、营养价值有何影响还有待进一步的研究。

参考文献

[1] FULLER S, BECK E, SALMAN H, et al. New horizons for the study of dietary fiber and health: A review[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2016, 71(1): 1-12.
[2] 刘楠, 孙永, 李月欣, 等. 膳食纤维的理化性质、生理功能及其应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(10): 3 959-3 963.
[3] 吴永红, 李辰. 基于 SWOT 比较的中国猕猴桃产业发展现状

分析及对策建议[J]. 农村经济, 2013(2): 60-63.
[4] DIAS M, CALEJA C, PEREIRA C, et al. Chemical composition and bioactive properties of byproducts from two different kiwi varieties[J]. Food Research International, 2020, 127: 108753.
[5] 苗壮, 樊明涛, 程拯良, 等. 响应面优化亚临界水提取猕猴桃皮渣中果胶及其品质分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(12): 288-294.
[6] GUO Cai-xia, QIAO Jin-ping, ZHANG Sheng-wan, et al. Purification of polyphenols from kiwi fruit peel extracts using macroporous resins and high-performance liquid chromatography analysis[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2018, 53(6): 1 486-1 493.
[7] 刘蓉, 何红艳, 王平. 猕猴桃皮吸附剂的制备及其吸附性能的研究[J]. 广东化工, 2019, 46(4): 26-27, 35.
[8] 李加兴, 刘飞, 范芳利, 等. 响应面法优化猕猴桃皮渣可溶性膳食纤维提取工艺[J]. 食品科学, 2009, 30(14): 143-148.
[9] 杨明华, 太周伟, 俞政全, 等. 膳食纤维改性技术研究进展[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(10): 207-210.
[10] SPOTTI M J, CAMPANELLA O H. Functional modifications by physical treatments of dietary fibers used in food formulations[J]. Current Opinion in Food Science, 2017, 15: 70-78.

(下转第 193 页)

- 分含量变化[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(23): 13-17, 87.
- [15] 王乐, 黄峻榕, 张宁, 等. 马铃薯面条制作工艺及品质研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(1): 78-82.
- [16] 孙于庆, 李建新, 闵玉涛, 等. 模糊数学在荞麦方便面配方设计中的应用[J]. 食品科技, 2011, 36(10): 136-138.
- [17] 郑佳欣, 李怡婧, 汪晨阳, 等. 板栗壳鞣质提取及其对 DPPH 自由基清除活性的研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(3): 211-215.
- [18] 李云龙, 李红梅, 胡俊君, 等. 抗氧化苦荞酒加工工艺的研究[J]. 酿酒科技, 2014(12): 5-7.
- [19] 马雨洁. 熟制荞麦面条淀粉模拟消化特性及抗氧化品质研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013: 16-21.
- [20] 彭镰心, 赵钢, 王姝, 等. 不同品种苦荞中黄酮含量的测定[J]. 成都大学学报: 自然科学版, 2010, 29(1): 20-21.
- [21] 濮生财, 鲁璐, 焦威, 等. 不同品种苦荞中的 4 种活性黄酮含量[J]. 应用于环境生物学报, 2015, 21(3): 470-476.
- [22] LUHALOO M, MARTENSSON A C, ANDERSSON R, et al. Composition analysis and viscosity measurements of commercial oat brans[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 1998, 76(1): 142-148.
- [23] 刘新红. 青稞品质特性评价及加工适宜性研究[D]. 西宁: 青海大学, 2014: 15-36.
- [24] FU Bin-xiao. Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing[J]. Food Research International, 2008, 41(9): 888-902.
- [25] LI Man, ZHU Ke-xue, PENG Jing, et al. Delineating the protein changes in Asian noodles induced by vacuum mixing[J]. Food Chemistry, 2014, 143(15): 9-16.
- [26] 骆丽君, 李曼, 朱红卫, 等. 真空和面对生鲜面品质特性的影响研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(3): 129-131, 379.
- [27] 薛朕钰, 薛森, 王雪, 等. 添加苦荞黄酮提取物的裸燕麦挤压膨化产品抗氧化剂降血脂功效研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(12): 33-38.
- [28] PENG Lian-xin, WEI Li-juan, YI Qian, et al. In vitro potential of flavonoids from tartary buckwheat on antioxidants activity and starch digestibility[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2019, 54(6): 2 209-2 218.
- [29] 何财安, 张珍, 刘航, 等. 苦荞多酚对苦荞淀粉和小麦淀粉理化性质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(9): 66-71.
- (上接第 186 页)
- [11] 丁莎莎, 黄立新, 张彩虹, 等. 高压均质和胶体磨改性对油橄榄果渣水不溶性膳食纤维性能的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(8): 10-13, 18.
- [12] 程明明. 西番莲果皮水不溶性膳食纤维提取、改性及功能特性研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016: 31-49.
- [13] MORALES-MEDINA R, DONG Dan, SCHALOW S, et al. Impact of microfluidization on the microstructure and functional properties of pea hull fibre[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 103: 105660.
- [14] ROUHOU M C, ABDELMOUMEN S, THOMAS S, et al. Use of green chemistry methods in the extraction of dietary fibers from cactus rackets (*Opuntia ficus indica*): Structural and microstructural studies [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 116: 901-910.
- [15] 杨健, 王立东, 包国风. 超微粉碎对小米麸皮膳食纤维物理特性的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(13): 128-131.
- [16] 张根生, 葛英亮, 聂志强, 等. 马铃薯渣不溶性膳食纤维超微粉碎改性工艺优化[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 186-189.
- [17] 令博. 葡萄皮渣膳食纤维的改性及其生理功能和应用研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012: 15-16.
- [18] 金文筠, HUSSAIN Shehzad, 严守雷, 等. 超微粉碎对藕节膳食纤维理化性质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(6): 2 071-2 076.
- [19] 李梁. 杏皮皮渣膳食纤维理化性质分析及应用研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2012: 19.
- [20] 李莉, 张赛, 何强, 等. 响应面法在试验设计与优化中的应用[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(8): 41-45.
- [21] 潘曼. 猕猴桃渣膳食纤维制备工艺及其性质的研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2009: 45-47.
- [22] 杨远通. 猕猴桃渣膳食纤维改性及其应用研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2011: 13-31.
- (上接第 139 页)
- oxygen packaging atmosphere influences protein oxidation and tenderness of porcine longissimus dorsi during chill storage[J]. Meat Science, 2007, 77(3): 295-303.
- [22] KIM H J, YONG H I, PARK S, et al. Effects of dielectric barrier discharge plasma on pathogen inactivation and the physicochemical and sensory characteristics of pork loin[J]. Current Applied Physics, 2013, 13(7): 1 420-1 425.
- [23] 马良军, 王佳媚, 黄明明, 等. 不同处理条件对介质阻挡放电低温等离子体杀菌效果及影响机理研究[J]. 微生物学报, 2019, 59(8): 1 512-1 521.
- [24] FERNANDEZ A, NORIEGA E, THOMPSON A. Inactivation of *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* on fresh produce by cold atmospheric gas plasma technology[J]. Food Microbiology, 2013, 33(1): 24-29.
- [25] KIM S J, CHUNG T H, BAE S H, et al. Bacterial inactivation using atmospheric pressure single pin electrode micro-plasma jet with a ground ring[J]. Applied Physics Letters, 2009, 94(14): 496-502.
- [26] LAROUCSI M, LEIPOLD F. Evaluation of the roles of reactive species, heat and UV radiation in the inactivation of bacterial cells by air plasmas at atmospheric pressure[J]. International Journal of Mass Spectrometry, 2004, 233(1/2/3): 81-86.
- [27] NIEMIRA B A, SITES J. Cold plasma inactivates *salmonella stanley* and *escherichia coli* O157:H7 inoculated on golden delicious apples[J]. Journal of Food Protection, 2008, 71(7): 1 357.
- [28] HU Miao, GUO Yun. The effect of air plasma on sterilization of *escherichia coli* in dielectric barrier discharge[J]. Plasma Science and Technology, 2012, 14(8): 735-740.