

蒸汽爆破预处理对沙棘果渣可溶性膳食纤维含量及性质的影响

白晓州, 张镒飞

(郑州旅游职业学院 烹饪食品系, 河南 郑州 450000)

摘要: 用蒸汽爆破技术处理沙棘果渣, 通过响应面法优化蒸汽爆破预处理沙棘果渣的条件, 以提高沙棘果中可溶性膳食纤维的含量, 并对蒸汽爆破前后可溶性膳食纤维物化性质对比。结果表明: 在蒸汽压强为 2.0 MPa, 维压时间 88 s, 物料粒径 60 目时, 沙棘果中可溶性膳食纤维含量达到了 24.74 %, 比未经蒸汽爆破沙棘果渣中可溶性膳食纤维 (7.14 %) 提高了 246 %, 且蒸汽爆破后的沙棘果渣可溶性膳食纤维的持水力、膨胀力、持油力都明显提高。扫描电镜观察可知, 蒸汽爆破后沙棘果渣可溶性膳食纤维表面皱缩, 卷曲, 有孔洞。试验表明, 利用蒸汽爆破处理沙棘果渣, 可提高其可溶性膳食纤维含量, 使废弃的沙棘果渣资源得到重新利用。

关键词: 沙棘果渣; 响应面; 可溶性膳食纤维; 持水力; 膨胀力; 持油力

Effect of Steam Explosion Pretreatment on the Content and Properties of Soluble Dietary Fiber in Seabuckthorn Pomace

BAI Xiao-zhou, ZHANG Yi-fei

(Department of Food and Cooking, Zhengzhou Tourism College, Zhengzhou 450000, Henan, China)

Abstract: The seabuckthorn pomace was treated with steam explosion technology. The conditions of pretreatment of seabuckthorn pomace by steam explosion were optimized by response surface methodology to improve the content of soluble dietary fiber from seabuckthorn pomace, and to compare the physicochemical properties of soluble dietary fiber before and after steam explosion. The results showed that the content of soluble dietary fiber in seabuckthorn pomace reached 24.74 % when the steam pressure was 2.0 MPa, the residence time was 88 s, and the particle size was 60 mesh, which increased by 246 % compared with the control samples (7.14 %), and the water holding capacity, oil holding capacity, and swelling capacity of soluble dietary fiber after steam explosion were all significantly increased. Scanning electron microscope observation showed that the surface of soluble dietary fiber of seabuckthorn pomace after steam explosion was shrunk, curled and had holes. Experiments showed that the use of steam explosion treatment of sea buckthorn pomace, in order to increase its soluble dietary fiber content, so that the waste of seabuckthorn residue will be reused.

Key words: seabuckthorn pomace; response surface; soluble dietary fiber (SDF); water holding capacity; swelling capacity; oil holding capacity

引文格式:

白晓州, 张镒飞. 蒸汽爆破预处理对沙棘果渣可溶性膳食纤维含量及性质的影响[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(12): 148-153

BAI Xiaozhou, ZHANG Yifei. Effect of Steam Explosion Pretreatment on the Content and Properties of Soluble Dietary Fiber in Seabuckthorn Pomace[J]. Food Research and Development, 2019, 40(12): 148-153

沙棘为多年生落叶灌木或小乔木,是一种喜光、耐水、耐旱、生长性极好的小浆果植物,多为橘黄色或橘红色,广泛种植于欧亚的温带地区^[1-2]。我国是沙棘资源最丰富的国家,主要种植于我国的西部地区,总面积可达1 800万亩。沙棘的广泛栽植不仅能够防风固沙、保持水土,有利于生态环境的保护,更重要的是由于其含有丰富的维生素、多糖、蛋白质、氨基酸、微量元素等营养成分以及黄酮类、甾体类化合物、原花青素、三萜烯类、鞣质、5-羟色胺等生物活性物质,具备药食同源的特性,因此在保健品、食品等开发研究方面得到广泛重视^[3-5]。

沙棘果肉酸甜可口,果汁较多,且含有许多人体所需的营养素,沙棘果主要用于生产沙棘汁、沙棘糕、沙棘啤酒、沙棘果酱、沙棘冰激凌等食品和饮品^[6]。沙棘果渣是沙棘果榨汁后的副产品,除了少部分被用作动物饲料外,大部分都被丢弃,经细菌分解后腐烂产生难闻的气味,不仅污染环境,更造成资源的极大的浪费,经研究发现沙棘果渣仍含有大量的营养素包括蛋白质、脂肪、膳食纤维、黄酮类等^[7-8],且无毒无害,具有潜在的药用价值。因此沙棘果渣中总黄酮的提取和利用早已成为近年来研究和开发的热点^[9-10]。而邸俊龙等^[11]研究发现沙棘果渣中含有接近50%膳食纤维,膳食纤维(dietary fiber, DF)可以预防和治疗许多疾病如冠心病、结肠癌、肥胖症、糖尿病等,也是低热量、低胆固醇健康食品的重要原料之一^[12-13]。而膳食纤维中的可溶性膳食纤维(soluble dietary fiber, SDF)的含量多少是评价膳食纤维生理功能的一个重要指标^[14]。因此提升膳食纤维中SDF的含量是提升膳食纤维品质的关键。沙棘果渣也可作为高品质的膳食纤维来源。

蒸汽爆破技术是1928年由W H Mason发展起来的,采用160℃~260℃饱和水蒸汽加热原料至一定的压力下,作用时间为几秒到几分钟,然后骤然减压至大气压的预处理生物物质手段。蒸汽爆破的主要工作原理是将原料置于高温、高压的环境中,原料被过热液体润胀,蒸汽充满孔隙,当瞬间解除高压时(毫秒级,0.008 75 s以内),原料空隙中的过热液体迅速汽化,体积瞬间膨胀导致细胞“爆破”,细胞壁破裂形成多孔,小分子物质从细胞内释放^[15-17]。蒸汽爆破法因成本低、能耗少、无污染而备受研究者的青睐,广泛应用于低质原料高效利用的预处理过程中^[18-19]。由于其能使细胞壁破裂,近年来蒸汽爆破技术在食品加工中副产物的提取及再利用的应用中也取得了一定的进展,如Zhao等^[20]用蒸汽爆破预处理秸秆以提高秸秆中木糖醇的含量,Wang^[21]等利用蒸汽爆破与酸浸提结合的技术

处理橘子皮后,其中的可溶性膳食纤维显著增加。而用蒸汽爆破处理沙棘果渣后,探讨其膳食纤维中可溶性膳食纤维含量的变化却鲜见报道。

本文利用响应面优化蒸汽爆破处理沙棘果渣的条件,并探讨蒸汽爆破后的沙棘果渣中可溶性膳食纤维含量及物化性质的变化,以期开发高品质的膳食纤维和合理利用沙棘果渣资源提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

沙棘果渣:郑州顶津饮料有限公司;胰脂肪酶(300 000 U/g)、蛋白酶(200 000 U/g)、纤维素酶(3 000 U/g):美国Sigma公司;无水乙醇、乙酸、乙酸钠:均为国产分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

QBS-80型蒸汽爆破工艺试验台:河南鹤壁正道重型机械厂;FW-100高速万能粉碎机、DZKW恒温震荡水浴锅:北京中兴伟业仪器有限公司;SIGMA3-30K离心机:德国SIGMA公司;ALPHA 2-4 LSC真空冷冻干燥箱:德国CHRIST公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品准备

将洗净并烘干后的沙棘果渣,放入粉碎机中,粉碎20 s,使粉碎后的沙棘果渣依次通过20、40、60、80、100目筛,分别收集目筛上的沙棘果渣粉。

1.3.2 蒸汽爆破预处理沙棘果渣

称取300 g沙棘果渣放入蒸汽爆破试验台的汽爆缸中,拧上活塞,设置一定的蒸汽爆破时间和压力,高温高压的气体从进气阀进入到气缸中,到达给定的时间后,进气阀门关闭,瞬间解压(0.008 75 s),完成物料的爆破,收集爆破后的沙棘果渣,并在-20℃保存。

1.3.3 沙棘果渣可溶性膳食纤维(SDF)提取

将制备的沙棘果渣粉放入pH=4.6的醋酸盐缓冲溶液,依次加入胰脂肪酶、蛋白酶、纤维素酶,45℃恒温酶解30 min后置于90℃水浴锅5 min,得到的沙棘果渣酶解液进行真空抽滤,收集滤液,向收集的滤液中加入4倍体积的95%乙醇,静置醇沉24 h,转速5 000 r/min条件下离心10 min,收集沉淀,真空干燥后所得的粉末即为SDF。

1.3.4 响应面试验设计

在单因素试验的基础上,根据三因素三水平的Box-Behnken的中心组合试验设计原理,如表1所示,以蒸汽爆破后提取沙棘果渣中SDF含量为响应值(Y),以蒸汽爆破预处理时的蒸汽压强(A)、维压时间

(B)、物料粒径(C)为试验因素,用响应面法分析这3个因素对响应值的影响,根据SDF的含量优化蒸汽爆破预处理的条件。

表1 响应面试验设计因素水平表

Table 1 Analytical factors and levels of response surface methodology

水平	因素		
	A 蒸汽压强/MPa	B 维压时间/s	C 物料粒径/目
-1	1.5	60	40
0	2	90	60
1	2.5	120	80

1.3.5 沙棘果渣微观结构观察

扫描电镜分别观察蒸汽爆破前后沙棘果渣显微结构。样品经过黏台、喷金等步骤后,在加速电压为12 kV的条件下进行观察。

1.3.6 沙棘果渣SDF物化性质的测定

1.3.6.1 持水力(water holding capacity, WHC)测定

取0.5 g SDF样品记为 $W(g)$,置于离心管中,按1:20(g/mL)比例加入去离子水,充分混匀,室温下静置8 h,5 000 r/min离心10 min,弃上清液,沉淀用滤纸吸干够称重^[22],质量记为 $W_1(g)$,SDF的WHC,记为 $W(g/g)$ 计算公式为:

$$W=(W_1-W)/W$$

1.3.6.2 膨胀力(swelling capacity, SWC)测定

取0.5 g SDF样品记为 W ,置于容量为10 mL的量筒中,记录SDF体积(mL),并记为 V_1 ,后按1:15(g/mL)比例加入去离子水,充分混匀平衡后,于室温下放置8 h^[23],记录吸水后SDF体积(mL),并记为 V_2 ,SDF的SWC,记为 $S(mL/g)$ 计算公式为:

$$S=(V_2-V_1)/W$$

1.3.6.3 持油力(oil holding capacity, OHC)测定

取0.5 g SDF样品记为 W ,置于容量为10 mL的量筒中,加入10 mL的玉米油,振荡摇匀,在室温下静置8 h,于5 000 r/min条件下离心10 min,然后弃去上层油^[24],称量残渣质量 W_1 ,SDF的OHC,记为 $O(g/g)$ 计算公式为:

$$O=(W_1-W)/W$$

2 结果与讨论

2.1 响应面优化蒸汽爆破处理沙棘果渣的条件

2.1.1 统计分析和模型拟合

在不同的自变量因素组合下的17个响应值(SDF的含量)见表2。

表2 响应面分析设计及结果

Table 2 Design and results of response surface analysis

实验	A 蒸汽压强	B 维压时间	C 物料粒径	Y SDF/%
1	2.5	60	60	18.75
2	2.5	120	60	15.62
3	2.0	120	40	18.65
4	2.0	90	60	24.24
5	2.0	90	60	24.51
6	2.0	90	60	25.52
7	2.0	120	80	17.36
8	2.0	60	40	19.69
9	1.5	90	80	18.89
10	2.0	90	60	24.34
11	2.5	90	80	17.44
12	1.5	120	60	16.39
13	1.5	60	60	15.34
14	2.0	90	60	25.09
15	2.5	90	40	22.54
16	2.0	60	80	18.46
17	1.5	90	60	16.67

通过对数据进行二次线性回归拟合和显著性及方差分析,用二阶多项式方程表征因变量和响应值,方程如下: $Y=24.74+0.88A-0.53B-0.68C-3.94A^2-4.28B^2-1.92C^2-1.05AB-1.83AC-0.015BC$ 。对回归方程进行方差分析,结果见表3。

表3 响应曲面方差分析表

Table 3 Analysis of response surface variance table

来源	平方和	自由度	均方	F值	p值	显著性
模型	203.99	9	22.67	98.76	<0.000 1	**
A	6.23	1	6.23	27.15	0.001 2	**
B	2.23	1	2.23	9.7	0.017 0	*
C	3.65	1	3.65	15.88	0.005 3	**
AB	4.37	1	4.37	19.03	0.003 3	
AC	13.40	1	13.40	58.37	0.000 1	
BC	9.000×10 ⁻⁴	1	9.000×10 ⁻⁴	3.922×10 ⁻³	0.951 8	
A ²	65.20	1	65.20	284.08	<0.000 1	
B ²	77.13	1	77.13	336.08	<0.000 1	
C ²	15.52	1	15.52	67.63	<0.000 1	
残差	1.61	7	0.23			
失拟项	0.41	3	0.14	0.46	0.724 7	
纯误差	1.19	4	0.30			
总变异	205.60	16				
R ²	0.992					
R ² _{Adj}	0.982 1					
C.V.%	2.4					

注:* $p < 0.05$ 表示差异显著;** $p < 0.01$ 表示差异极显著。

由表 3 知,回归模型 $p < 0.0001 < 0.01$ 极显著,失拟项 $p = 0.7247 > 0.05$ 不显著,回归模型方程的回归系数为 $R^2 = 0.992$,只有不到 5% 总变差没有被模型概括,表明建立的模型能很好反映试验数据,变异系数为 0.24 低于 0.5,说明试验值的可靠程度较高。沙棘果渣 SDF 含量回归模型中一次项 A 、 B 、 C ,二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 ,交互项 AB 、 AC 均表现极显著,交互项 BC 不显著,说明各个试验因素对响应值的影响不是简单的线性关系。

2.1.2 优化蒸汽爆破预处理条件

响应曲面图坡度陡峭程度和等高线形状可以反映各因素间交互作用强弱和影响程度大小。曲面坡度陡峭、等高线密集呈椭圆形表示两因素交互影响大,而坡度平缓、等高线呈圆形则与之相反^[25]。图 1 为蒸汽压强、维压时间和物料粒径两两交互作用响应面图和等高线图。

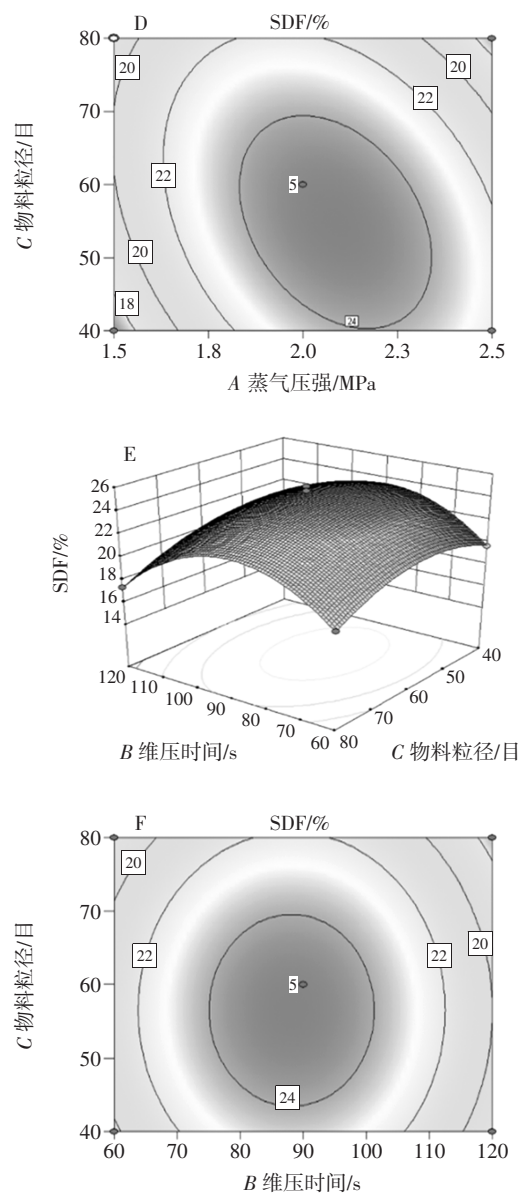
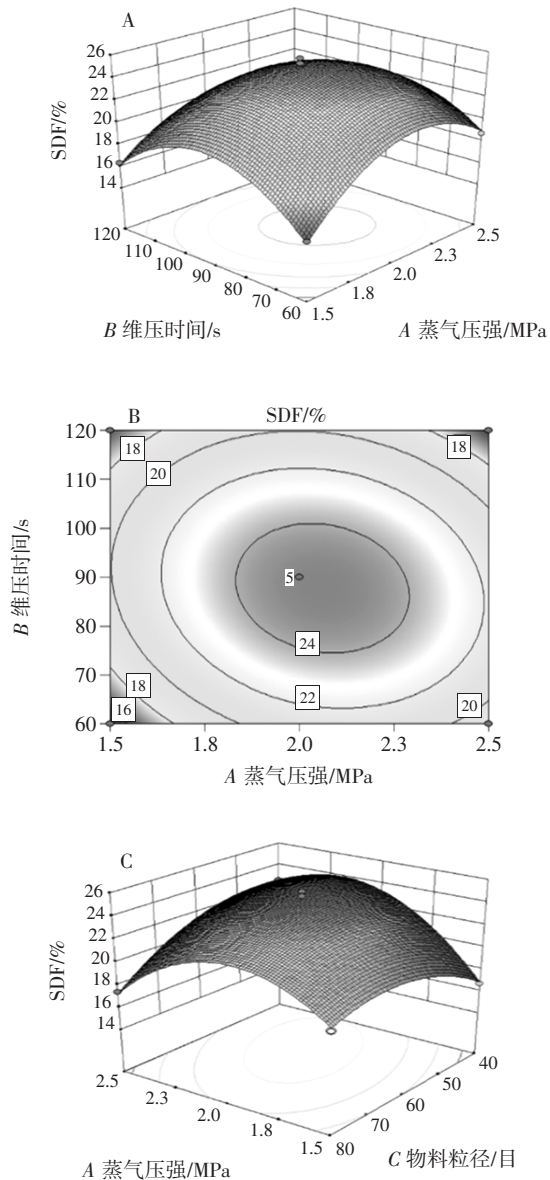


图 1 蒸汽压强、维压时间和物料粒径两两交互作用响应面图和等高线图

Fig.1 Response surface and contour plots of steam pressure, residence time and particle size

由图 1A、图 1B 可知,当物料粒径一定时,SDF 的含量随着蒸汽压强和维压时间的增加先上升,当达到一定水平时,缓慢下降。这表明在合适的压力和时间下,蒸汽压强充分进入细胞中,细胞壁由于受到压力被破坏,结构变疏松,细胞内被结合的 SDF 被释放出来,当压力和时间继续增加时,高压高温条件下过长的维压时间导致 SDF 发生降解,且细胞内部溶出的 SDF 又重新聚合形成不溶性物质^[26]。由图 1C,图 1D 可知,当维压时间一定时,SDF 的含量随着蒸汽压强和物料粒径的增加也出现先上升,当达到一定水平时,再缓慢下降,这是因为在适当的压力和粒径下,物料比

表面积增大,高压蒸汽能充分进入细胞^[26]。而由图 1E、图 1F 知维压时间和物料粒径交互作用对 SDF 的含量变化影响不大。

通过对二次多项式模型的回归系数的显著性分析得出,蒸汽爆破处理沙棘果渣最优的条件为:蒸汽压强 2.01 MPa,维压时间 88 s,物料粒径 54.5 目。在此条件下,预测的 SDF 含量为 24.91 %。考虑到实际操作条件和样品的实际粒径,最优条件修改为蒸汽压强 2.0 MPa,维压时间 88 s,物料粒径 60 目,在此条件下,沙棘果渣经蒸汽爆破后,总 SDF 的含量为 $(24.74 \pm 0.71) \%$,与预测值没有显著性差异,而未经蒸汽爆破处理的沙棘果渣中的 SDF 含量为 $(7.14 \pm 0.42) \%$,提高了 246 %。证明用响应面优化蒸汽爆破处理沙棘果渣的条件是可行的。

2.1.3 蒸汽爆破前后沙棘果渣微观结构的变化

蒸汽爆破前后沙棘果渣的扫描电镜图见图 2。

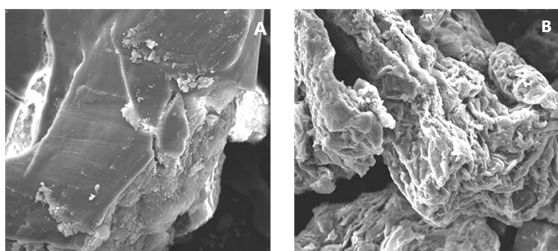


图 2 蒸汽爆破前后沙棘果渣的扫描电镜图

Fig.2 Scanning electron microscopy (SEM) images of seabuckthorn fruit residue before and after steam explosion

由图 2 A 知,未经蒸汽爆破的沙棘果渣 SDF 表面光滑,质地紧密,而蒸汽爆破后的沙棘果渣 SDF 表面皱缩,卷曲,并有孔洞出现(图 2 B)。这是由于蒸汽爆破在泄压过程,渗透到细胞内及组织间的水蒸气膨胀,并且高速瞬间释放出来,巨大剪切力的存在使纤维发生机械断裂^[19,27]所致。

2.1.4 蒸汽爆破前后沙棘果渣 SDF 物化性质的变化

蒸汽爆破对沙棘果渣 SDF 物化特性(持水力、膨胀力和持油力)的影响如表 4 所示。

表 4 蒸汽爆破对沙棘果渣 SDF 物化指标的影响

Table 4 Effect of steam explosion on physicochemical properties of SDF from sea buckthorn fruit residue

样品	持水力/(g/g)	膨胀力/(mL/g)	持油力/(g/g)
未汽爆 SDF	4.53 ± 0.46	3.24 ± 0.37	1.74 ± 0.31
汽爆 SDF	6.06 ± 0.21	5.07 ± 0.34	3.16 ± 0.38

蒸汽爆破后的 SDF 持水力、膨胀力和持油力分别从 $(4.53 \pm 0.46) \text{ g/g}$ 、 $(3.24 \pm 0.37) \text{ mL/g}$ 和 $(1.74 \pm 0.31) \text{ g/g}$

提升到 $(6.06 \pm 0.21) \text{ g/g}$ 、 $(5.07 \pm 0.34) \text{ mL/g}$ 和 $(3.16 \pm 0.38) \text{ g/g}$ 。这是由于蒸汽爆破后沙棘果渣 SDF 含量增加以及 SDF 表面呈现凹凸不平的多孔状,表面积增大,能吸附大量的水分子和油分子^[28]。

3 结论

将蒸汽爆破技术应用到沙棘果渣可溶性膳食纤维的提取中,利用响应面优化蒸汽爆破处理条件(蒸汽压强、维压时间、物料粒径),得出在最优条件为:蒸汽压强 2.0 MPa,维压时间 88 s,物料粒径 60 目,在此条件下进行蒸汽爆破处理,沙棘果渣中 SDF 的含量为 $(24.74 \pm 0.71) \%$,比未经蒸汽爆破的沙棘果渣 SDF 的 $(7.14 \pm 0.42 \%)$ 提高了 246 %。且蒸汽爆破后沙棘果渣 SDF 理化性质(持水力、膨胀力和持油力)都显著提升。表明蒸汽爆破技术可用于提升沙棘果渣中 SDF 含量及品质,有助于开发沙棘果渣的再利用。

参考文献:

- [1] 樊金玲. 沙棘籽原花色素的研究[D]. 无锡:江南大学, 2006: 17-25
- [2] 刘勇,廉永善,王颖莉,等. 沙棘的研究开发评述及其重要意义[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(9): 1547-1552
- [3] 胡景文, 乔璐, 李云飞. 沙棘产品收获与加工技术现状与展望[J]. 农产品加工·学刊, 2012, 11(12): 101-104
- [4] 刘海青, 刘银才, 刘春兰, 等. 沙棘叶水溶性多糖 SJ1 的研究[J]. 食品工业科技, 2006, 27(10): 61-63
- [5] Xue Y, Miao Q, Zhao A, et al. Effects of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) juice and L-quebrachitol on type 2 diabetes mellitus in db/db mice[J]. Journal of Functional Foods, 2015, 16(6): 223-233
- [6] 宋自娟, 徐怀德, 高锦明, 等. 加工过程中冷打浆沙棘浓缩浊汁理化特性的变化[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 264-270
- [7] Sayegh M, Miglio C, Ray S. Potential cardiovascular implications of Sea Buckthorn berry consumption in humans[J]. International Journal of Food Sciences & Nutrition, 2014, 65(5): 521-528
- [8] Xu Y J, Kaur M, Dhillon R S, et al. Health benefits of sea buckthorn for the prevention of cardiovascular diseases[J]. Journal of Functional Foods, 2011, 3(1): 2-12
- [9] Hou D, Wang D, Ma X, et al. Effects of total flavonoids of sea buckthorn(*Hippophae rhamnoides* L.) on cytotoxicity of NK92-MI cells[J]. International Journal of Immunopathology & Pharmacology, 2017, 30(4): 353-361
- [10] Jiang F, Guan H, Liu D, et al. Flavonoids from sea buckthorn inhibit the lipopolysaccharide-induced inflammatory response in RAW264.7 macrophages through the MAPK and NF- κ B pathways[J]. Food & Function, 2017, 8(3): 1313-1322
- [11] 邸俊龙, 张骞. 陕西省榆林市沙棘叶及果渣营养成分分析及体内消化测定[J]. 畜牧与饲料科学, 2015(5): 29-31
- [12] Boyer J, Liu R H. Apple phytochemicals and their health benefits[J].

- Nutrition Journal, 2004,3(1): 5
- [13] Vendruscolo F, Albuquerque P M, Strejt, et al. Apple Pomace: A versatile substrate for biotechnological applications[J]. Critical Reviews in Biotechnology, 2008,28: 1–12
- [14] Gao A, Dong S, Chen Y, et al. In vitro, evaluation and physicochemical characteristics of casein phosphopeptides–soluble dietary fibers copolymers as a novel calcium delivery system[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 79: 482–490
- [15] Marzieh Shafiei, Maryam M Kabir, Hamid Zilouei, et al. Techno-economical study of biogas production improved by steam explosion pretreatment[J]. Bioresource Technology, 2013, 148: 53–60
- [16] Gong L X, Huang L L, Zhang Y. Effect of steam explosion treatment on barley bran phenolic compounds and antioxidant capacity [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(29): 7177–7184
- [17] Yu Z, Zhang B, Yu F, et al. A real explosion: The requirement of steam explosion pretreatment [J]. Bioresource Technology, 2012, 121: 335–341
- [18] Xu W L, Ke G Z, Wu J H, et al. Modification of wool fiber using steam explosion[J]. European Polymer Journal, 2006, 42(9): 2168–2173
- [19] Chen G, Chen H. Enhancement of Oil Extraction from Sumac Fruit using Steam–Explosion Pretreatment[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2011, 88(1): 151–156
- [20] Zhao W, Yang R, Zhang Y, et al. Sustainable and practical utilization of feather keratin by an innovative physicochemical pretreatment: high density steam flash–explosion[J]. Green Chemistry, 2012, 14(12): 3352–3360
- [21] Wang W, Ling H, Zhao H. Steam explosion pretreatment of corn straw on xylose recovery and xylitol production using hydrolysate without detoxification[J]. Process Biochemistry, 2015, 50(10): 1623–1628
- [22] Duan Z H, Liu H Z, Luo P, et al. The effect of melanin–free extract from Sepia esculentaink on lipid peroxidation, protein oxidation and water –holding capacity of tilapia fillet during cold storage [J]. Chemistry Central Journal, 2018, 12(1): 30
- [23] Sowbhagya H B, Florence Suma P S, Mahadevamma R N. Tharanathan spent residue from cumin –a potential source of dietary fiber[J]. Food chemistry, 2007, 104: 1220–1225
- [24] Karaman E, Yilmaz E, Tuncel N B. Physicochemical, microstructural and functional characterization of dietary fibers extracted from lemon, orange and grapefruit seeds press meals[J]. Bioactive Carbohydrates & Dietary Fibre, 2017, 11: 9–17
- [25] Ma L, Wang L, Tang J, et al. Optimization of arsenic extraction in rice samples by Plackett –Burman design and response surface methodology.[J]. Food Chemistry, 2016, 204: 283–288
- [26] Kobayashi F, Take H, Asada C, et al. Methane production from steam–exploded bamboo[J]. Journal of Bioscience & Bioengineering, 2004, 97(6): 426–428
- [27] Chen G, Chen H. Extraction and deglycosylation of flavonoids from sumac fruits using steam explosion[J]. Food Chemistry, 2011, 126(4): 1934–1938
- [28] Chau C F, Wang Y T, Wen Y L. Different micronization methods significantly improve the functionality of carrot insoluble fibre[J]. Food Chemistry, 2007, 100(4): 1402–1408

收稿日期:2018–08–18

人 民 有 信 仰 ，
民 族 有 希 望 ，
国 家 有 力 量 。