

沙棘果渣对沙棘果粉的抗结块性能分析

罗丽蓉¹, 蔡永国², 孙静瑶¹, 胡旭东¹, 伊力夏提·艾热提¹, 周勇¹, 克米别提·吐尔汗¹, 杨海燕¹

(1. 新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

(2. 新疆慧华沙棘生物科技有限公司, 新疆阿勒泰 836200)

摘要: 沙棘果渣是由沙棘果汁生产加工过程中产生的副产品, 具有较高的营养及利用价值。为了提高沙棘加工副产物的利用率, 用沙棘榨汁后剩余的去籽果渣为原料, 与纯沙棘果粉进行比较, 研究沙棘果渣、抗结剂、果渣-抗结剂混合对沙棘果粉抗结的影响, 以沙棘果粉结块率和流动性为指标, 通过双指标加权法对沙棘果粉抗结条件进行综合评分。结果表明, 沙棘果渣-抗结剂混合的抗结效果好, 由单因素的试验结果, 采用响应面软件分析, 其最优条件以果渣粒度 100 目、果渣用量为 14.50%、二氧化硅添加量为 1.30% 时, 在此条件下沙棘果粉的休止角为 47.55°、结块率为 25.80%, 其综合评分值为 69.92 分。说明, 沙棘果渣-抗结剂混合能够较好的抑制沙棘果粉结块现象。本研究为进一步解决沙棘果粉结块的问题提供了思路。

关键词: 沙棘果粉; 沙棘果渣; 抗结剂; 抗结性; 响应面

文章编号: 1673-9078(2020)04-220-227

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.4.029

Anti-caking Property of Sea-buckthorn Fruit Residue to Sea-buckthorn Powder

LUO Li-rong¹, CAI Yong-guo², SUN Jing-yao¹, HU Xu-dong¹, YI Lixiati·Ai Reti¹, ZHOU Yong¹,
KE Mibieti·Tu Erhan¹, YANG Hai-yan¹

(1.College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

(2.Xinjiang Huihua Seabuckthorn Biotechnology limited company, Altay 836200, China)

Abstract: *Hippophae rhamnoides* fruit residue is a by-product produced in the production and processing of *Hippophae rhamnoides* juice, which has high nutritional and utilization value. In order to improve the utilization rate of seabuckthorn processing by-products, the remaining de-seeded fruit dregs were used as raw materials to compare with the pure seabuckthorn fruit powder. The effects of seabuckthorn fruit dregs, anti-caking agents, and the mixture of fruit dregs and anti-caking agents on the anti-caking conditions of seabuckthorn fruit powder were studied. The caking rate and fluidity of seabuckthorn fruit powder were taken as indicators, and the anti-caking conditions of seabuckthorn fruit powder were evaluated by the double index weighting method. The results showed that the anti-caking effect of the mixture of seabuckthorn fruit residue and anti-caking agent was good. According to the single factor test results, the response surface software was used to analyze the optimal conditions. When the particle size of fruit residue was 100 mesh, the amount of fruit residue was 14.50%, and the amount of silica was 1.30%, the repose angle of seabuckthorn fruit powder was 47.55°, the caking rate was 25.80%, and the comprehensive score was 69.92. The results showed that the mixture of seabuckthorn fruit residue and anti-caking agent could inhibit the caking of seabuckthorn fruit powder. This study provides a way to further solve the problem of seabuckthorn powder caking.

Key words: sea-buckthorn powder; sea buckthorn residue; ant-caking agents; anti-caking; response surface methodology

引文格式:

罗丽蓉,蔡永国,孙静瑶,等.沙棘果渣对沙棘果粉抗结块性能研究[J].现代食品科技,2020,36(4):220-227

LUO Li-rong, CAI Yong-guo, SUN Jing-yao, et al. Study on anti-caking property of sea-buckthorn fruit residue to sea-buckthorn powder [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(4): 220-227

收稿日期: 2019-10-25

基金项目: 新疆农业大学研究生科研创新项目资助 (XJAGRI2018-015); 新疆维吾尔自治区区域协同创新专项 (科技援疆计划) (2019E0267)

作者简介: 罗丽蓉 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与综合利用。

通讯作者: 杨海燕 (1962-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 农产品精深加工与综合利用

沙棘又名醋柳, 其色泽鲜艳、风味独特, 其果实因为富含生物活性成分和多种营养素而受到人们的广泛关注^[1]。目前, 我国对沙棘的利用更多的是加工果汁、沙棘油、沙棘果粉和沙棘果酱等。沙棘果粉是一种新型的健康产品, 其产品的形式更有利于保存、携带方便和冲调简单, 而沙棘果粉在加工和贮藏过程中, 仍然存在着不少的技术问题, 最主要的问题是沙棘果粉在存放过程中, 粉体很容易吸潮结块而使得品质变差^[2], 且吸潮后的沙棘果粉会产生不同程度的结块现象, 使得粉体产品的流动性变差, 最终导致产品的质量下降, 且影响粉体产品的外观色泽和改变沙棘果粉的风味^[3]。沙棘果粉属于粉末状的产品, 其主要特性是要求具有良好的流动性和抗结性。

果蔬加工的副产物利用率低是全球问题, 在欧洲, 每年果蔬加工的副产物多达几百万吨, 大部分用来制作饲料, 而废弃物中有价值的成分也未能得到充分的综合利用^[4]。沙棘果实榨汁后产生了大量的果渣副产物^[5], 而果渣中依然保存了果实中含有的绝大多数有效物质, 如粗脂肪、粗蛋白、膳食纤维、Vc、VE 和黄酮等营养成分^[6,7]。果渣中含有丰富的膳食纤维, 也被称为“第七类营养素”, 其作用能被肠道中的有益菌群利用^[8]。目前, 沙棘果渣的开发利用主要集中在果渣活性成分的提取与纯化方面, 对沙棘果渣类的产品开发较少^[9]。弃去的果渣应该进行有效的综合利用, 也可被视为一种有价值的副产品^[3]。经过有关研究发现, 将果皮制成的天然粉剂有一定的抗结效果^[10]。

本文研究主要采取沙棘去籽果渣对沙棘果粉抗结效果, 改善其结块性和流动性, 探索了沙棘果渣粒径大小、沙棘果渣用量、抗结剂种类和用量等对沙棘果粉结块现象的影响, 从而确定出减少沙棘果粉结块的最佳方法, 为沙棘果粉产品的质量奠定了理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 原料

沙棘果粉、沙棘果渣, 由新疆慧华沙棘生物科技有限公司提供; 磷酸三钙、二氧化硅和微晶纤维素, 均为食品级; 聚乙烯透明塑料包装袋(PE)。

1.1.2 主要仪器设备

JEA2002 电子天平, 上海浦春计量仪器有限公司; AL204 电子天平, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; HR2168 飞利浦搅拌机, 珠海经济特区飞利浦家庭电器有限公司; FW-100 高速万能粉碎机, 北京市永光明医疗仪器有限公司; 标准筛, 浙江上虞市华丰五金

仪器有限公司; SF-300 塑料薄膜封口机, 温州市兴业机械设备有限公司; 漏斗; 铁架台; 直尺; 坐标纸。

1.2 试验方法

1.2.1 样品的制备

沙棘果粉为企业提供, 其工艺是沙棘原浆采用真空冷冻干燥后得到的粉末。沙棘果渣也采用企业生产工艺制备, 工艺过程是沙棘果实榨汁后, 经过卧式螺旋卸料沉降离心机离心后的新鲜果渣, 再进行真空冷冻干燥得到沙棘果渣(粗纤维)。将取回的沙棘果渣放入粉碎机中进行粉碎, 使粉碎后的沙棘果渣依次通过 40、60、80、100、120 目的筛网, 分别收集目筛下的沙棘果渣粉。

1.2.2 沙棘果粉结块度的计算

称取沙棘果粉结块后的 10 g 样品, 通过孔径为 0.45 mm(40 目)规格的筛网进行过筛, 筛网来回振动 2 min, 将筛网上留下的结块沙棘果粉进行称量。

1.2.3 休止角的测定

在恒温恒湿环境中, 将玻璃漏斗固定在铁架台上, 且玻璃漏斗下端离桌面需保持一定的高度, 在桌面放一张洁净的白纸, 使 10.00 g 沙棘果粉样品经玻璃漏斗下端垂直流动至白纸上^[11], 形成一个圆锥体, 测定其圆锥体的底部直径为 2R 及高度 H, 通过公式 $\alpha = \arctan H/R$ 反正切函数即可求出休止角 α ^[12]。通过测定休止角对其流动性进行比较, 重复试验 3 次, 取平均值。

1.2.4 溶解性的测定

参照李伟^[13]等方法, 略作修改。称取沙棘果粉 1.00 g~2.00 g (m_1), 均匀分散于 100 mL 的热蒸馏水中, 置于 60 °C 的水浴锅中搅拌 5 min 后, 在 3000 r/min 条件下离心 10 min, 取上清液置于 105 °C 条件下烘干至恒重, 残留物的质量为 m_2 。通过计算公式测得沙棘果粉溶解性为: 溶解性(%)=(m_2/m_1)×100。

1.2.5 加权评分法

经预试验, 设定综合评分满分为 100 分, 以上述结块度和休止角为指标, 采用双指标综合加权评分法。由于抗结块的主要目标是减少沙棘果粉的结块和提高流动性, 在加权评分时, 将结块率和休止角权重系数分别设为 60 和 40。将同一指标中的各数据进行标准化的处理, 以各指标中的最大值(Y_{max})作为参照值, 其中 C 表示为该指标成分中测定值的标准化数据($C = Y/Y_{max}$), 综合评分值则通过公式 $C = C_{结块度} \times 60 + C_{休止角} \times 40$ 计算^[14]。注: 综合评分结果根据四舍五入法保留两位小数。

1.2.6 单因素实验设计

采用单一控制变量法, 按照沙棘果粉的质量分数,

探讨沙棘果渣粒度、沙棘果渣用量及抗结剂的用量, 分别对沙棘果粉结块度的影响。

1.2.6.1 沙棘果渣粒度对沙棘果粉结块度和流动性的影响

将过筛后的沙棘果渣粉加入沙棘果粉中, 于沙棘果渣用量为 15% 下分别加入目数 40、60、80、100、120 目的沙棘果渣粉, 之后进行混合粉碎, 粉体用 PE 塑料袋密封包装, 初峰等^[15]人在枣粉抗结块试验中运用 1 kg 力的作用下保存 1 d 的固体枣粉, 相当于货架期 30 d。因此沙棘果粉在 1 kg 力的作用下完成该实验, 避光储藏 5 d 后测定结块率和流动性指标。由于透明的塑料袋没有良好避光性, 会导致沙棘果粉中的脂肪发生光氧化, 且沙棘果粉也会发生褐变现象, 所以采用避光保存^[16]。

1.2.6.2 沙棘果渣添加量对沙棘果粉结块度和流动性的影响

将过筛后的沙棘果渣粉加入到沙棘果粉中, 于沙棘果渣目数为 60 目下分别加入 0%、5%、10%、15%、20%、25% 用量的果渣粉, 进行物料混合粉碎后, 用 PE 的塑料袋密封包装, 在 1 kg 力作用下完成该实验, 避光贮藏 5 d 后测定结块量和流动性指标。

1.2.6.3 抗结剂种类

按照 GB 2760 食品添加剂的规定选用三种食品级抗结剂, 在沙棘果粉中分别加入磷酸三钙、微晶纤维素和二氧化硅, 用量为 0.90%, 以不加任何抗结剂为空白对照, 沙棘果渣粒度和用量分别为 60 目和 15%, 之后进行粉碎在 1 kg 力作用下完成该实验, 避光贮藏 5 d 后测定结块量和流动性指标。

1.2.6.4 单一添加抗结剂对沙棘果粉结块度和流动性的影响

将沙棘果粉中分别单一加入 0%、0.30%、0.60%、0.90%、1.20%、1.50% 用量的二氧化硅, 进行混合粉碎, 使物料混合均匀, 粉体用 PE 的塑料袋密封包装, 在 1 kg 力作用下完成该实验, 避光贮藏 5 d 后测定结块量和流动性指标。

1.2.6.5 沙棘果渣与抗结剂对沙棘果粉结块度和流动性的影响

根据 1.2.5.3 选出的最佳抗结剂二氧化硅, 参照国标 GB 2760 食品添加剂的使用标准, 二氧化硅作为抗结剂时的最大使用量为 15 g/kg。在沙棘果粉中分别加入粒度为 60 目和用量为 15% 的沙棘果渣, 再加入用量为 0.30%、0.60%、0.90%、1.20%、1.50% 的二氧化硅, 进行混合粉碎, 使得抗结剂能够均匀得分散在沙棘果粉中。粉体用 PE 的塑料袋密封包装, 在 1 kg 力作用下完成该实验, 避光贮藏 5 d 后测定结块量和流

动性指标。

1.2.7 响应面实验设计

表1 响应面设计因素水平表

Table 1 Factors level table of response surface design

编码	试验因素	水平		
		-1	0	1
A	果渣粒度/目	80	100	120
B	果渣用量/%	10	15	20
C	抗结剂用量/%	0.9	1.2	1.5

基于文献结合试验条件, 在上述单因素试验的优化基础上, 选择沙棘果渣粒度(A)、沙棘果渣用量(B)、抗结剂用量(C)作为响应变量, 以沙棘果粉综合评分(Q)值为响应值, 采用 Design-Expert8.0.6.1 响应面分析软件, 根据 Box-Behnken 试验设计原理设计响应面试验, 优化出沙棘果粉抗结块试验条件, 试验因素及其水平见表 1。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 沙棘果渣粒度对沙棘果粉结块度和流动性的单因素试验结果

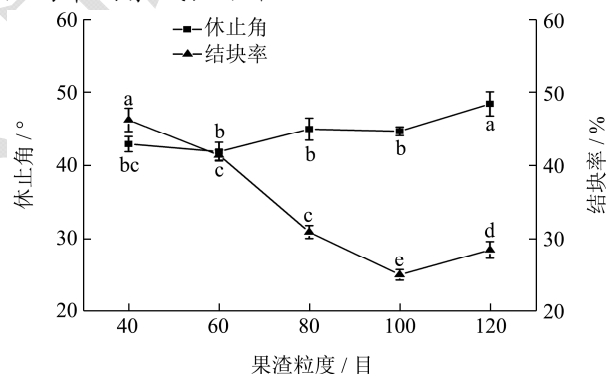


图1 果渣粒度对结块度和流动性的影响

Fig.1 Effects of granule size of fruit slag on caking degree and liquidity

注: 图中标注的不同小写字母代表不同处理间的差异性显著 ($p < 0.05$), 下同。

由图 1 及方差分析可知, 沙棘果渣粉粒度的大小对结块率影响较大, 沙棘果粉的流动性随着沙棘果渣粒度的减小呈先减小后增大, 分析原因是由于粉体目数越细, 沙棘果渣粉的粉体越均匀, 其细粒度越好, 沙棘果渣能均匀的分布在沙棘果粉中, 且粉体颗粒间的摩擦力、团聚和黏附等增加, 颗粒间形成了假的大颗粒, 在重力等的作用下成团滑下, 最终导致了沙棘果粉的流动性增大^[17]。结块率随着沙棘果渣粒度的减小呈明显下降趋势($p < 0.05$), 这可能是由于随着沙棘果

渣颗粒粒径的变小,其沙棘果渣中的膳食纤维吸收水分也会变快,且更容易达到饱和状态,相邻粉体颗粒间的吸引力和接触点相应减小,使得结块率减少^[18]。通过综合评分值可得知,沙棘果渣粒度选择 100 目时为最优条件,故将沙棘果渣粒度 80 目、100 目、120 目作为响应面分析中果渣粒度较优的三个水平。

2.1.2 沙棘果渣用量对沙棘果粉结块和流动性的单因素试验结果

膳食纤维中含有大量的亲水性基团,具有较强的吸水性和持水能力^[19]。由图 2 及方差分析可知,沙棘果粉的结块度随着沙棘果渣用量的增加而减小,在沙棘果渣用量为 15% 时结块程度与休止角均较小,最终趋于稳定不变。与未添加沙棘果渣的沙棘果粉相比,添加果渣后,结块量明显减少,而休止角增大,可能是沙棘果渣中含有丰富的膳食纤维,增大了果粉颗粒间的摩擦力,造成流动性增大。当沙棘果渣用量在 5%~15% 范围时,随着用量的增加,沙棘果粉结块度与休止角呈下降趋势。当沙棘果渣用量超过 15% 后,沙棘果粉结块度与休止角开始增加。由此可知结块度和休止角不再发生太大变化,可能是因为果渣粉与果粉接触充分,达到一定的量后沙棘果粉的结块量和休止角反而会增大。综合考虑,果渣的最佳用量为 15%。

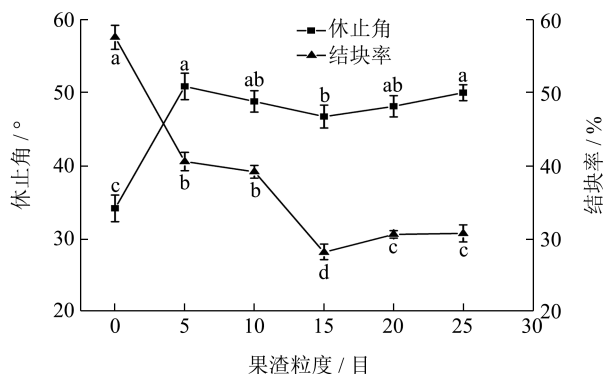


图 2 果渣用量对结块度和流动性的影响

Fig.2 Effects of amount of fruit residue on caking degree and liquidity

2.1.3 抗结剂种类对沙棘果粉结块和流动性的单因素试验结果

抗结剂是一种食品添加剂,在物料储存和处理过程中,加入它以后可在粉体表面形成一层疏水保护膜,也可使粉体食品保持良好的流动性,防止其结块^[20]。不同种类的抗结剂具有各种不同的物理特性,所选用不同的抗结剂种类,只有与主基料的粉体颗粒物性相适应时,才能起到良好的抗结效果^[21]。由图 2 及方差分析结果可知,从 3 种抗结剂的流动性和结块率的综合评分来看,添加抗结剂可以改变沙棘果粉的结块度,

但抗结剂种类的不同,会产生不同抗结效果^[22]。与未添加抗结剂的沙棘果粉相比,添加二氧化硅的沙棘果粉结块量显著减少($p < 0.01$),而微晶纤维素、磷酸三钙抗结效果比空白对照还差,则不适用于沙棘果粉的抗结;添加抗结剂后,对沙棘果粉的流动性影响差异性不显著($p > 0.05$)。其中二氧化硅抗结块效果最好,故选取二氧化硅进行单因素试验。

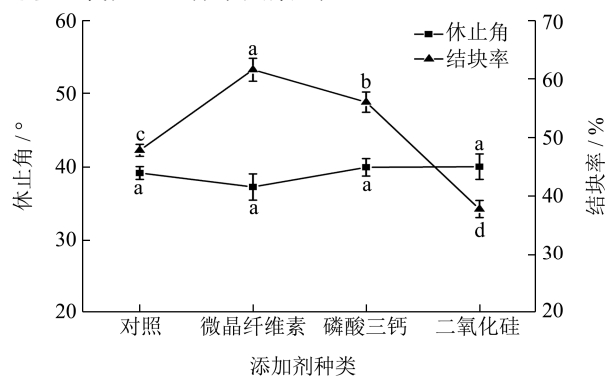


图 3 抗结剂种类对结块度和流动性的影响

Fig.3 Effects of anti-agglomerating agent on caking degree and liquidity

2.1.4 单一抗结剂用量对沙棘果粉结块和流动性的影响

由图 4 及方差分析可知,当单一添加二氧化硅时,随着用量的增加,沙棘果粉结块率整体呈下降趋势,二氧化硅的用量对结块率和流动性影响较大,与未添加抗结剂的沙棘果粉相比,有显著的抗结效果;而流动性呈现出先急剧减少,最终趋于上升趋势。当二氧化硅用量在 0.90%~1.50% 区间时,结块率下降的较为明显,而在添加量大于 0.90% 时,流动性呈现负相关趋势。在食品添加剂允许使用的最大范围内,将沙棘果粉中加入了一定量的抗结剂,粉碎混合后的沙棘果粉结块度可达到明显改善现象^[23]。综合考虑,二氧化硅的最佳用量为 1.50% 较为合理。

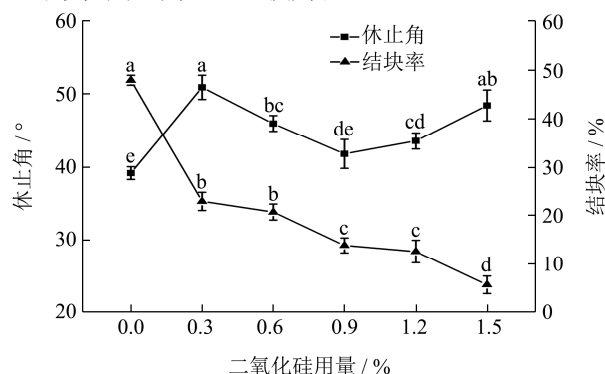


图 4 二氧化硅用量对结块度和流动性的影响

Fig.4 Effect of silica dosage on caking degree and liquidity

2.1.5 抗结剂用量对沙棘果粉结块和流动性的影响

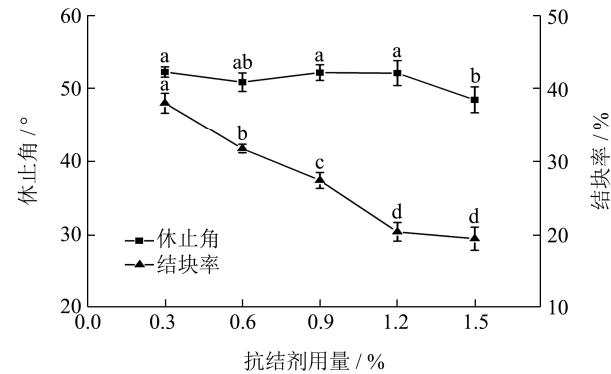


图5 抗结剂用量对结块度和流动性的影响

Fig.5 Effects of amount of anticaking agent on caking degree and liquidity

由图5及方差分析结果可知,沙棘果粉的结块度随着抗结剂用量的增加而急剧减小,可能是由于沙棘

果粉表面被细小的抗结剂颗粒完全覆盖,成了一种阻隔沙棘果粉粉体内水分迁移的物理屏障^[24],当抗结剂用量为0.30%~1.20%时,沙棘果粉的结块率差异极显著($p<0.01$),而流动性差异不显著($p>0.05$);随着抗结剂用量大于1.20%时,结块率差异不显著,而流动性差异显著($p<0.05$)。可能是因为抗结剂在沙棘果粉的粉体表面提供了物理阻隔的作用;与沙棘果粉的颗粒间竞争吸湿;且消除了沙棘果粉颗粒表面的静电荷和分子作用力;并使得粉体改变了晶格,形成了易碎的结构^[25]。综上所述,考虑到食品添加剂中最大使用量、综合成本及产品内在品质因素等问题,抗结剂的使用量应控制在1.20%为宜。

2.2 响应面分析法优化实验

2.2.1 响应面分析实验设计方案

表2 响应面设计及结果

Table 2 Response surface design and results

试验号	A 果渣粒度/目	B 果渣用量/%	C 添加剂用量/%	休止角 Y_1	结块率 Y_2	综合评分 Q
1	100	15	1.20	45.63	26.29	69.09
2	100	20	0.90	49.92	28.85	75.70
3	120	10	1.20	44.59	32.15	75.90
4	120	15	1.50	47.94	28.40	73.59
5	120	15	0.90	45.90	30.83	75.18
6	80	20	1.20	49.51	27.97	74.24
7	100	15	1.20	45.49	26.84	69.69
8	100	15	1.20	45.73	26.50	69.43
9	100	10	0.90	43.08	31.94	74.46
10	100	20	1.50	48.53	26.43	71.49
11	80	15	1.50	47.66	26.35	70.72
12	100	10	1.50	47.79	26.96	71.61
13	120	20	1.20	47.17	27.60	71.97
14	80	10	1.20	46.71	27.68	71.72
15	100	15	1.20	45.59	26.29	69.06
16	80	15	0.90	48.32	28.55	74.08
17	100	15	1.20	45.29	26.25	68.77

以果渣粒度(A)、果渣用量(B)、抗结剂用量(C)为自变量,将沙棘果粉抗结块的综合评分设为响应值(Q),在上述单因素试验优化的基础上,通过3因素3水平的Box-Behnken响应面分析法进行试验设计,共17个试验点,设定的因素与水平见表2。综合评分以分数越低,抗结效果越好。

2.2.2 响应面回归模型的建立与分析

运用数据统计分析响应面分析软件对表3实验结果进行多元回归方程拟合,拟合所得沙棘果粉抗结块性综合评分值(Q)的多元二次回归方程如下:

$$Q=69.21+0.73A-0.036B-1.50C-1.61AB+0.44AC-0.34BC+2.16A^2+2.09B^2+2.02C^2$$

式中,Q的含义是沙棘抗结综合评分;A为果渣粒度;B为果渣用量;C为抗结剂用量。对该回归模

型及其系数进行显著性检验, 结果见表 3。

由表 3 分析表结果表明, 该模型中的 F 值为 31.15, 且 p 值远小于 0.01, 这说明该方程模型差异性为极显著。同时, 失拟项 p 值为 0.0793, 可以看出失拟项不显著, 表明该方程对试验拟合程度良好、误差性较小。另外, 显著性分析结果表明: 一次项中 A 和 C 均为极显著 ($p < 0.01$), 交互项中 AB 对试验结果有显著性影响 ($p < 0.05$), 二次项中 A^2 、 B^2 、 C^2 均为极显著 ($p < 0.01$)。模型拟合度为 $R^2 = 0.9756$, $R^2_{Adj} = 0.9443$, 表明该模型与实际可以拟合的程度较好, 可信度较高, 所以可用该回归方程对响应值进行预测。由各因素间的 F 值可知, 3 个因素对沙棘果粉抗结的综合评分影响顺序依次为 $C > A > B$, 即是抗结剂用量 > 果渣粒度 > 果渣用量, 表明抗结剂用量对沙棘果粉抗结的综合评分的影响最大。

表 3 回归方程方差分析表

Table 3 Regression equation analysis of variance

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	显著性
模型	95.69	9	10.63	31.15	<0.0001	**
A	4.31	1	4.31	12.61	0.0093	**
B	0.011	1	0.011	0.031	0.8656	
C	18.01	1	18.01	52.76	0.0002	**
AB	10.39	1	10.39	30.45	0.0009	**
AC	0.78	1	0.78	2.30	0.1735	
BC	0.46	1	0.46	1.35	0.2840	
A^2	19.71	1	19.71	57.75	0.0001	**
B^2	18.31	1	18.31	53.64	0.0002	**
C^2	17.22	1	17.22	50.44	0.0002	**
残差	2.39	7	0.34			
失拟项	1.88	3	0.63	4.90	0.0793	
纯误差	0.51	4	0.13			
总回归	98.08	16				
$R^2 = 0.9756$			$R^2_{Adj} = 0.9443$			

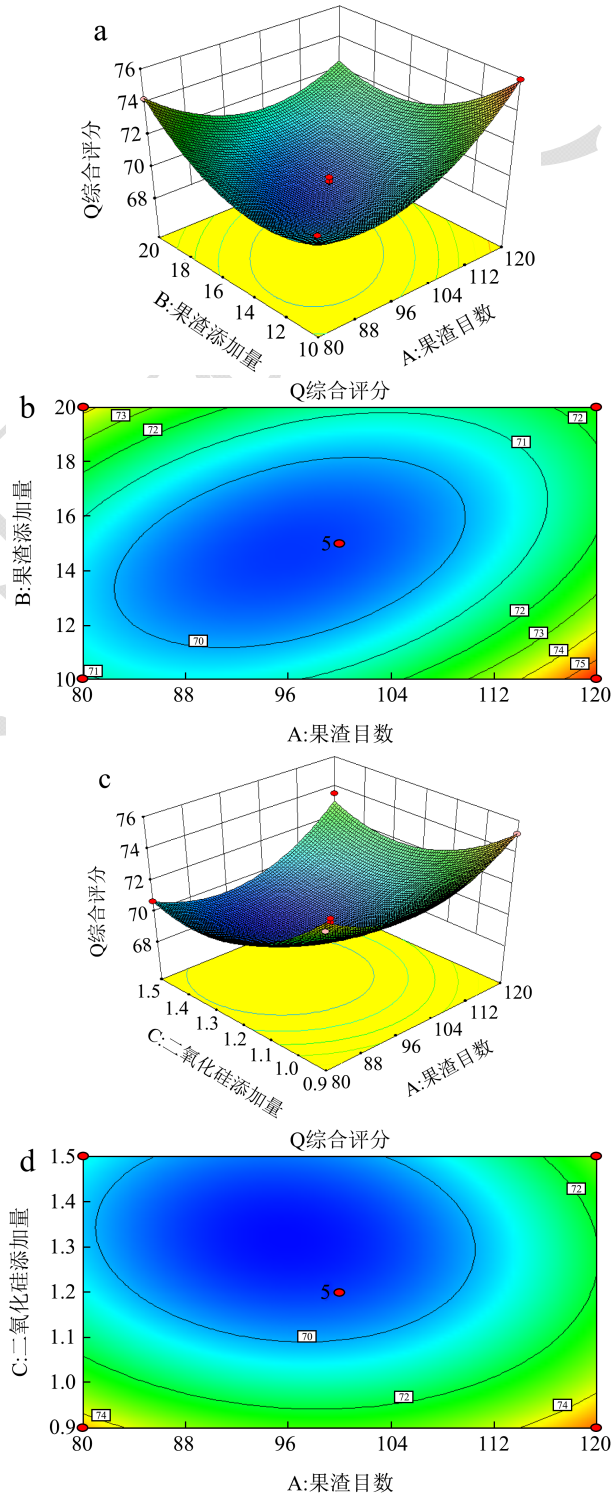
注: $p < 0.01$ 极显著 (**); $p < 0.05$ 显著 (*)。

2.2.3 响应面分析法分析各因素之间的交互作用

由回归分析结果可知, 果渣用量和抗结剂用量之间的相互作用对沙棘果粉抗结的综合评分的影响显著, 如图 6 所示。

如图 6 响应面和等高线图可知, 反映了该试验中各两因素的交互作用对沙棘果粉抗结块性的综合评分值的影响, 3 个响应曲面均呈现出开口向上的凹形曲面, 同时等高线图中, 最小的椭圆中心在所选各因素

的最优范围内, 说明综合评分响应值在这 3 个因素设计的范围内存在最小值。由图 A_1 和图 A_2 的等高线可以看出, 等高线内的椭圆形较为明显, 从而证明了沙棘果渣粒度与沙棘果渣用量这组因素的交互作用显著。由图 B_1 可知, 沙棘果粉抗结块性综合评分随着果渣粒度和抗结剂用量的增加先减小后增大。由图 C_1 可知, 沙棘果粉抗结块性综合评分随着果渣用量与抗结剂用量的增加先减小后增大。



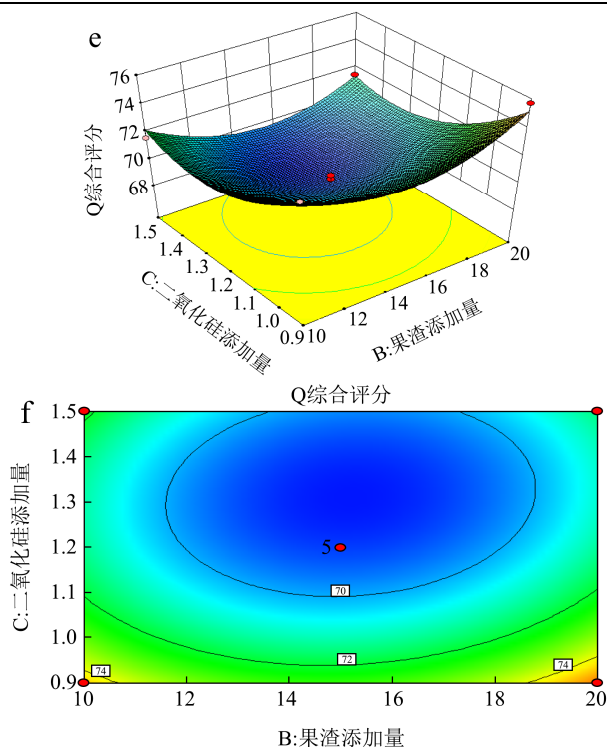


图6 各因素交互作用对沙棘果粉抗结块性的响应面和等高线图

Fig.6 Response surface and contour plots of anti-caking of seabuckthorn powder by interaction of various factors

通过响应面软件对沙棘果粉抗结最佳条件进行优化,结果如下,果渣粒度 95.46 目,果渣用量 14.76%,抗结剂 1.32%,模型预测沙棘抗结的综合评分为 68.83。

2.2.4 验证实验

考虑到实际操作的可性,对参数进行优化,得到最佳沙棘果粉抗结条件为:果渣粒度 100 目,果渣用量 15%,抗结剂 1.30%。采用上述优化的条件进行 3 次重复试验,沙棘果粉抗结块的综合评分实际值为 69.92,与预测值相差为 1.09%,且相对误差较小,该模型能较好地适用于研究沙棘果粉抗结块的最优条件。

3 结论

通过研究沙棘果渣、抗结剂、果渣-抗结剂对沙棘果粉抗结的影响。试验利用沙棘果渣添加到沙棘果粉中进行抗结,沙棘果渣中的粗纤维既能增加沙棘果粉的营养价值又能对沙棘果粉的结块起到抑制作用,且可减少抗结剂的使用量。将沙棘果渣与二氧化硅混合进行抗结时,对沙棘果粉的抗结作用最好,在单因素筛选的最优条件下,通过响应面分析法进行试验优化,沙棘果粉抗结块试验的最优条件为:添加的沙棘果渣粒度为 100 目、沙棘果渣用量为 14.50%,抗结剂用量为 1.30%时,在此条件下沙棘果粉的休止角为 47.55°、

结块率为 25.80%,在该条件下实际测得沙棘果粉抗结块的综合评分为 69.92 分,溶解性为 67.62%,口感较好。说明,在该条件下对沙棘果粉的抗结起到了抑制作用,而添加沙棘果渣和抗结剂后,沙棘果粉的溶解性降低,口感略有下降,可能是由于沙棘果渣中的粗纤维造成沙棘果粉溶解性下降和口腔感官的不适。将果渣应用于果蔬粉中进行抗结的研究较少,而果皮粉的抗结原理基本确定为物理隔离^[10]。此外,固体饮料的结块,根源也在于水分的控制^[26],将物料在空气中裸露的时长缩短到最小,第一时间将果蔬粉密封^[26];使用防水性和密封性较好的包装材料,尽量分装成小包装;控制储藏及运输条件,减少使用的周期等也是预防果蔬粉结块的有效方法。本研究初步证实沙棘果渣能够改善沙棘果粉结块现象,为沙棘果渣综合利用的研究都提供了一条新的思路。

参考文献

- [1] 张程慧,祁玉霞,程康蓉,等.沙棘的综合价值研究进展[J].食品工业科技,2017,38(22):331-335
ZHANG Cheng-hui, QI Yu-xia, CHENG Kang-rong, et al. Advances on research and applications of *Hippophae rhamnoides* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38 (22): 331-335
- [2] O C J Fitzpatrick J J, Cudmore M, Dos Santos D. Caking behaviour of food powder binary mixes containing sticky and non-sticky powders [J]. Journal of Food Engineering 2017, 204: 73-79
- [3] P S Hartmann M. Caking of amorphous powders - material aspects, modelling and applications [J]. Powder Technology, 2011, 206(1-2): 112-121
- [4] 杨文晶,许泰百,冯叙桥,等.果蔬加工副产物的利用现状及发展趋势研究进展[J].食品工业科技,2015,36(14):379-383
YANG Wen-jing, XU Tai-bai, FENG Xu-qiao, et al. The research progress of utilization and developmental trend on by-products from processing industry of fruit and vegetables [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(14): 379-383
- [5] 白生文,汤超,田京,等.沙棘果渣总黄酮提取工艺及抗氧化活性分析[J].食品科学,2015,36(10):59-64
BAI Sheng-wen, TANG Chao, TIAN Jing, et al. Extraction and antioxidant activity of total flavonoids from sea buckthorn pomace [J]. Food Science, 2015, 36(10): 59-64
- [6] 马晓凤,栗红瑜,王峰,等.沙棘果皮粉的制备工艺及功效成分分析[J].农产品加工(学刊),2011,2:43-45
MA Xiao-feng, LI Hong-yu, WANG Feng, et al. Separation

- process and nutrient value analysis of sea buckthorn [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2011, 2: 43-45
- [7] 马养民,姜少娟,孔东宁,等.沙棘果渣成分分析[J].西北农业学报,2005,14(5):125-127
- MA Yang-min, JIANG Shao-juan, KONG Dong-ning, et al. Analysis on the composition in fruit marc of seabuckthorn [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2005, 14(5): 125-127
- [8] 高颀.国内蓝莓果渣的研究进展[J].辽宁农业职业技术学院学报,2018,20(4):3-5
- GAO Kun. Research on the utilization of blueberry pomace [J]. Journal of Liaoning Agricultural Technical College, 2018, 20(4): 3-5
- [9] 朱丹丹.沙棘果渣系列产品加工工艺研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2018
- ZHU Dan-dan. Study on the processing technology of a series of seabuckthorn pomace [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2018
- [10] 陈虎,迟韵,陈留平,等.超微果皮粉的盐用抗结块性能研究[J].中国调味品,2018,43(8):62-66
- CHEN Hu, CHI Yun, CHEN Liu-ping, et al. Research on anti-caking performance in salt of fruit peel superfine powders [J]. Chinese Condiments, 2018, 43(8): 62-66
- [11] 许牡丹,杨雯,杨艳艳.枣粉抗结块实验研究[J].食品研究与开发,2011,32(12):78-81
- XU Mu-dan, YANG Wen, YANG Yan-yan. Caking-resistant characteristics test of jujube powder experimental [J]. Food Research and Development, 2011, 32(12): 78-81
- [12] 黄梅华,吴儒华,何全光,等.不同粒径金花茶茶花粉体物理特性[J].食品科学, 2018,39(3):76-82
- HUANG Mei-hua, WU Ru-hua, HE Quan-guang, et al. Physical characteristics of *Camellia chrysantha* (hu) tuyama flower powder with different particle sizes [J]. Food Science, 2018, 39(3): 76-82
- [13] 李伟,郜海燕,陈杭君,等.不同干燥方式对杨梅果粉品质的影响[J].食品科学,2017,38(13):77-82
- LI Wei, GAO Hai-yan, CHEN Hang-jun, et al. Effect of drying methods on quality characteristics of bayberry powder [J]. Food Science, 2017, 38(13): 77-82
- [14] 范孟雪,秦昆明,丁斐,等.Box-Behnken响应面法结合多指标综合加权法优选升麻中酚酸类成分的提取工艺[J].中国药房,2016,27(13):1835-1838
- FAN Meng-xue, QIN Kun-ming, DING Fei, et al. Optimization of the extraction technology of phenolic acids in *cimicifugae foetidae* by using box-behnken response surface methodology combined with multi-index comprehensive weighted method [J]. China Pharmacy, 2016, 27(13): 1835-1838
- [15] 初峰,卫红春,岳春.固体枣粉饮料抗结块问题的解决[J].食品与机械,2003,6:39
- CHU Feng, WEI Hong-chun, YUE Chun. The solution to the agglomeration problem of the solid jujube powder beverage [J]. Food & Machinery, 2003, 6: 39
- [16] 刘腾,陈纯,林婕.灵芝孢子粉贮运环节品质控制技术研究[J].制冷技术,2016,36(5):64-68
- LIU Teng, CHEN Chun, LIN Jie. Research on quality technology of ganoderma lucidum spore powder during storage and transportation [J]. Chinese Journal of Refrigeration Technology, 2016, 36(5): 64-68
- [17] 明跃升,侯月盈,齐平,等.不同蓝莓品种结块特性的研究[J].食品科技,2017,42(5):81-85
- MING Yue-sheng, HOU Yue-ying, QI Ping, et al. Caking characteristics of different blueberry varieties [J]. Food Science and Technology, 2017, 42(5): 81-85
- [18] 李安平,谢碧霞,钟秋平,等.不同粒度竹笋膳食纤维功能特性研究[J].食品工业科技,2008,3:83-85
- LI An-ping, XIE Bi-xia, ZHONG Qiu-ping, et al. Effect of particle sizes on functional properties of dietary fiber prepared from bamboo shoots [J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 3: 83-85
- [19] 王瑶,张明,王兆升,等.果蔬加工副产物膳食纤维改性及应用研究进展[J].中国果菜,2019,39(1):36-41
- WANG Yao, ZHANG Ming, WANG Zhao-sheng, et al. Research progress on modification and application of dietary fiber as by-product of fruit and vegetable processing [J]. Chinese Fruit & Vegetable, 2019, 39(1): 36-41
- [20] 李利霞,李国全,贾凤荣,等.果蔬粉结块原因及防止措施研究[J].中国果菜,2017,37(3):17-19
- LI Li-xia, LI Guo-quan, JIA Feng-rong, et al. The influence factors and prevention measures of fruit and vegetables powder agglomeration [J]. Chinese Fruit & Vegetable, 2017, 37(3): 17-19
- [21] H A M Peleg M. Flow conditioners and ant-caking agents [J]. Food Technology, 1984, 3: 93-102