

响应面法优化红枣豆奶复合稳定剂配方

曾 璟¹, 胡洁芳², 沈勇根³, 周 明³, 艾啸威³

(1. 会昌县职业技术学校, 江西 会昌 342600; 2. 江西工业贸易职业技术学院, 江西 南昌 330038; 3. 江西农业大学 食品科学与工程学院/农产品加工与安全控制工程实验室, 江西 南昌 330045)

摘 要:以浓缩枣汁、大豆为原料研制复合蛋白饮料,探讨了复配乳化增稠剂对红枣豆奶稳定性的影响。在单因素的实验基础上,应用正交实验确定复合增稠剂的最佳配比和添加量范围,通过Box - Benhnken 响应面法考察了复合增稠剂、蔗糖脂肪酸酯、蒸馏单硬脂酸甘油酯及其交互作用对红枣豆奶稳定性的影响,利用软件 Design Expert 8.0.6.1 对实验数据进行回归分析,得到二次多项式回归方程预测模型。结果表明,采用复合增稠剂0.6% (黄原胶:瓜尔豆胶:羧甲基纤维素钠之比为4:2:3)、蔗糖脂肪酸酯0.10%、蒸馏单硬脂酸甘油酯0.04%组合成的稳定剂能有效提高红枣豆奶的稳定性,产品口感细腻,品质最佳。

关键词:大豆;红枣;蛋白饮料;稳定性;响应曲面法

中图分类号:TS 214.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1007 - 7561 (2017)06 - 0013 - 08

Optimization of formula of composite stabilizer in jujube soy milk by response surface methodology

ZENG Jing¹, HU Jie - fang², SHEN Yong - gen³, ZHOU Ming³, AI Xiao - wei³

(1. Huichang Vocational Technical College, Huichang Jiangxi 342600;

2. Jiangxi Vocational Technical College of Industry and Trade, Nanchang Jiangxi 330038;

3. College of Food Science and Engineering, Engineering Laboratory for agricultural products processing and Safety Control, Jiangxi Agricultural University, Nanchang Jiangxi 330045)

Abstract: The effect of complex emulsifiers - thickeners on the stability of compound protein beverage made of concentrated jujube juice and soybean was discussed. Based on the single factor experiment, the best ratio of the thickener and their quantity range were chosen. The effects of compound thickener, sucrose fatty acid ester, distilled glycerin monostearate and their interaction on the stability of the protein milk containing jujube and soybean were analysed by Box - Benhnken response method. The quadratic polynomial regression equation prediction model was obtained by Design Expert software (8.0.6.1). The results showed that the stability of the jujube - soybean milk was improved effectively by the compound stabilizer contained 0.06% compound thickeners (xanthan : guar gum : sodium carboxymethyl celubse = 4 : 2 : 3), 0.10% sucrose fatty acid ester and 0.04% distilled glycerin monostearate, and the product tastes exquisite with the best quality.

Key words: soybean; jujube; protein beverage; stability; response surface analysis

我国是大豆的发源地,素有“大豆之乡”的称号,以大豆为主要原料制成的豆奶是一种老少皆宜的营养饮品,冠有“绿色牛乳”的称号^[1]。豆奶含有

丰富的易于被人体吸收的蛋白质、人体必需氨基酸、磷脂、矿物质、维生素以及不饱和脂肪酸(主要为亚油酸),具有防止动脉硬化、脑溢血、高血压的作用^[2-5],还含有的大豆异黄酮、大豆皂苷等生理活性物质,具有降血脂、抗氧化、对骨质疏松、癌症、动脉硬化以及更年期综合症有预防甚至治疗的作用,

收稿日期:2016 - 09 - 29

作者简介:曾璟,1992年出生,女,硕士生。

通讯作者:沈勇根,1971年出生,男,教授。

深受消费者喜爱^[6-11]。红枣富含丰富的蛋白质、维生素、糖以及磷、钙、铁等营养成分,具有补虚益气、健脾和胃和防治心血管疾病的功效。将红枣汁加入豆奶中制得红枣豆奶饮品,既可以掩盖豆奶的豆腥味,又增加了豆奶的维生素、矿物质等营养价值,满足豆奶饮料的多样化,符合人们追求营养和健康的趋势。

由于枣汁豆奶是一个复杂的乳状液体系,含有丰富的蛋白质、脂肪、碳水化合物,在储藏过程中饮料体系不稳定,极易出现蛋白质沉淀和脂肪上浮的现象,影响产品的品质和货架期。目前,解决这一问题的最有效方法是添加增稠剂和乳化剂,以提高红枣豆奶的稳定性。采用黄原胶、瓜尔豆胶、羧甲基纤维素钠为增稠剂,蔗糖脂肪酸酯、蒸馏单硬脂酸甘油酯作为乳化剂,通过单因素实验和响应面实验结合的方式,研究对红枣豆奶稳定性的影响。并对增稠剂进行复配,确定乳化增稠剂的组合及用量,为生产提供技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

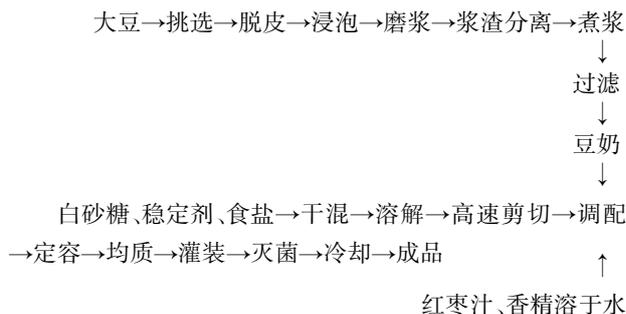
大豆(北大荒优质大豆):市售;碳酸氢钠、白砂糖(均为食品级):市售;浓缩枣汁:河北沛然世纪生物食品有限公司;香精:苏州高田香料有限公司;黄原胶:河北鑫合生物化工有限公司;瓜尔豆胶:郑州天顺食品添加剂有限责任公司;海藻酸钠:青岛明月海藻集团有限公司;羧甲基纤维素钠:郑州鸿祥化工食品有限公司;蔗糖脂肪酸酯(S-11):浙江迪尔化工有限公司;蒸馏单硬脂酸甘油酯:泉州亚太高邦食品配料有限公司。

1.2 实验设备

202-2型干燥箱:上海市实验仪器总厂;BSA124S精密电子天平:赛多利斯科学仪器北京有限公司;CRM-50胶体磨:厦门诺华雷机电设备有限公司;60-6S高压均质机:上海东华高压均质机厂;AM50L-H实验室电动搅拌机:上海昂尼仪器有限公司;HC014-11-018-01(X)立式压力蒸汽灭菌器:上海东亚压力容器制造有限公司;FE20 pH计:梅特勒-托利多仪器上海有限公司;DNP-9162电热恒温培养箱:上海精宏实验设备有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 红枣豆奶制备工艺



1.3.2 操作要点

1.3.2.1 挑选:对大豆进行挑选,除去原料中的小石子及杂质,剔除虫蛀、不规则、有异色、霉变的大豆。

1.3.2.2 脱皮:大豆浸泡前,利用热风干燥塔,对大豆进行烘烤,目的是钝化酶的活性,降低水分含量,增加豆香味。烘干后大豆水分控制在9%左右,使大豆具有一定的塑形,利于豆瓣的分离。冷却后进行干法脱皮,脱皮率达到96%~98%。为了防止大豆蛋白质的变性,烘烤温度应控制在90℃。

1.3.2.3 浸泡:使用脱皮大豆,经多次实验得到最佳浸泡条件,在室温,用0.5%碳酸氢钠溶液浸泡脱皮大豆,使浸泡液呈碱性,抑制脂肪氧化酶活性,软化大豆组织,提高大豆蛋白溶出率。大豆与碱液的比例为1:3,浸泡时间4h,浸泡至无硬心,并且留有小月牙即可。浸泡之后反复用清水冲洗,以洗净脱皮豆表面留有的碳酸氢钠溶液。

1.3.2.4 磨浆:选用热磨法,目的是为了降低酶的活性,减少豆腥味,采用80℃的热水,经过粗磨和细磨二次磨浆。

1.3.2.5 煮浆:煮浆目的主要除去脂肪氧化酶、胰蛋白酶抑制因子、脲酶等抗营养因子。进一步去除豆腥味。豆奶在水浴上加热,电动搅拌机搅拌,使豆奶受热均匀,加热至90℃并维持15min。

1.3.2.6 过滤:煮浆过程由于一小部分蛋白质变性沉于容器底部,使用200目滤布过滤,去除豆渣及不溶性物质。

1.3.2.7 调配:白砂糖、稳定剂按照添加量加入容器,干混后,用85℃左右的纯净水溶解,高速剪切10min,使稳定剂水化后加入豆奶中,红枣汁及香精溶于纯净水后在38000r/min转速下边搅拌豆奶边

添加红枣汁和香精,定容至所需用量。

1.3.2.8 均质:均质的目的是豆奶和稳定剂充分混合,破碎脂肪球和蛋白质,防止脂肪上浮,形成均一的分散液,使豆奶更加细腻,提高豆奶的稳定性和口感。

1.3.2.9 灭菌:红枣豆奶经过杀菌后,延长产品的保质期,将红枣豆奶灌装入玻璃瓶中,在121℃灭菌18 min,迅速冷却至室温。

1.3.3 单因素实验

在相同的工艺条件下,对黄原胶、瓜尔豆胶、海藻酸钠、羧甲基纤维素钠、蒸馏单硬脂酸甘油酯、蔗糖脂肪酸酯进行单因素实验,测定沉淀率和稳定系数,评价各种稳定剂的稳定效果。

1.3.4 正交实验确定增稠剂的最佳配比

根据增稠剂单因素实验结果,选取对红枣豆奶稳定性较好的因素,进行正交实验,以综合评价为指标,得出最佳增稠剂配比,考察因素与水平见表1。

表1 正交实验 %

水平	A 黄原胶	B 瓜尔豆胶	C 羧甲基纤维素钠
1	0.03	0.02	0.01
2	0.04	0.03	0.02
3	0.05	0.04	0.03

1.3.5 响应面法优化稳定剂最佳配方

根据单因素实验结果,以复配增稠剂、蒸馏单硬脂酸甘油酯、蔗糖脂肪酸酯为因素,综合评价为响应值,运用 Design Expert 8.0.6.1 软件,采用 Box - Behnken 中心组合实验设计三因素三水平实验,优化乳化增稠剂配方。实验因素水平编码值见表2。

表2 响应曲面实验设计因素水平 %

因素	代码	水平		
		-1	0	1
A 复合增稠剂	x_1	0.04	0.05	0.06
B 蔗糖脂肪酸酯	x_2	0.08	0.10	0.12
C 蒸馏单硬脂酸甘油酯	x_3	0.04	0.05	0.06

1.3.6 离心沉淀率

制备好的红枣豆奶在室温下放置1天后测定其沉淀率^[12],将样品摇匀后准确称取20 g样品,于4 000 r/min离心20 min,倾去上清液及离心管内壁

的脂肪,倒置10 min后称取离心管底部沉淀物的质量,每个样品进行3次重复,通过下式计算离心沉淀率。

$$\text{离心沉淀率}/\% = \frac{\text{沉淀物质量}}{\text{离心样品质量}} \times 100$$

1.3.7 稳定系数

制备好的红枣豆奶在室温下放置1天后测其稳定性^[13],将样品稀释100倍,用分光光度计在500 nm处测定吸光值 A_1 ,再用高速离心机4 000 r/min离心20 min,取上清液稀释100倍在同样波长下测定吸光值 A_2 ,稳定系数 $R = A_2/A_1 \times 100\%$,R值越大说明样品的稳定性越好。

1.3.8 综合评分

$$\text{综合评分} = (100 - \text{离心沉淀率}) \times 30\% + \text{稳定系数} \times 70\%$$

2 结果与分析

2.1 增稠剂和乳化剂对红枣豆奶稳定性影响

2.1.1 黄原胶对红枣豆奶稳定性影响

由图1可以看出,随着黄原胶添加量的增加,红枣豆奶的离心沉淀率呈现先降低后上升的趋势,稳定系数则先上升后降低。当黄原胶添加量为0.04%时离心沉淀率最低为1.22%,当添加量超过0.04%时,离心沉淀率显著增大,稳定系数降低,未出现絮凝、分层的现象,整体状态良好。可能是由于在低浓度时黄原胶具有高假塑及高粘度性,借助水相的稠化,减弱了油相和水相的不相溶性,形成稳定的乳化体系^[14]。弱的分子间力而稳定的高分子呈现刚性螺旋形聚合体的复合团聚,用量不宜过大,否则会由螺旋状态转变成无规线团而降低体系的稳定性^[15]。故选0.03%~0.05%为黄原胶添加量的适宜范围。

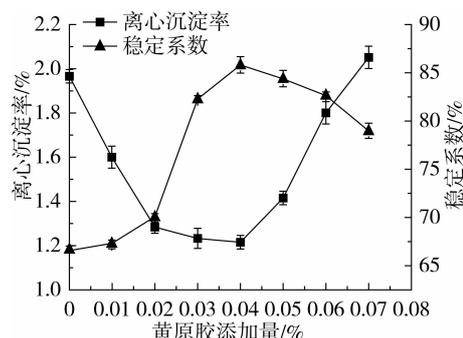


图1 黄原胶添加量对红枣豆奶稳定性影响

2.1.2 瓜尔豆胶对红枣豆奶稳定性影响

图2可见,随着瓜尔豆胶添加量的增加,红枣豆奶的离心沉淀率呈现先降低后上升的趋势,稳定系数则先上升后降低。当瓜儿豆胶添加量为0.04%时,离心沉淀率最低为1.20%,当添加量超过0.04%时,离心沉淀率又显著上升,超过空白样,稳定性反而降低。可能是由于低浓度瓜尔豆胶溶液对悬浮液和乳化液具有很高的稳定作用,增大添加量导致体系的粘度增加,破坏体系的平衡。故选0.02%~0.04%作为瓜尔豆胶添加量的适宜范围。

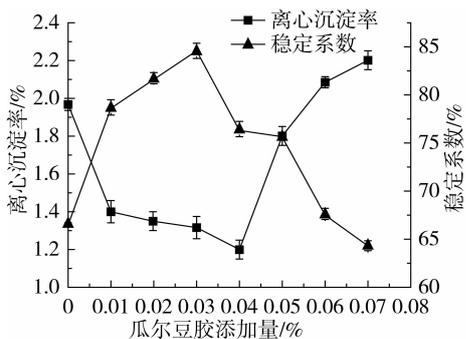


图2 瓜尔豆胶添加量对红枣豆奶稳定性的影响

2.1.3 海藻酸钠对红枣豆奶稳定性影响

由图3可见,在海藻酸钠的添加量为0.01%时,沉淀率反而增高,可能是因为添加低浓度的海藻酸钠易发生架桥絮凝的缘故^[16]。之后红枣豆奶的离心沉淀率随着添加量的增大呈现先降低后上升的趋势,当添加量为0.03%时,离心沉淀率最低为1.73%。这可能是由于海藻酸钠含有接受Ca²⁺的空间构型,导致海藻酸钠与红枣豆奶中的钙离子结合而产生凝胶,且随着添加量的增加,稳定性虽然有上升,但是上升幅度小。说明研究条件下海藻酸钠不适宜作为红枣豆奶的稳定剂。

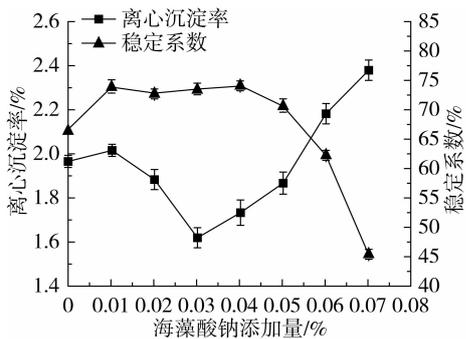


图3 海藻酸钠添加量对红枣豆奶稳定性的影响

2.1.4 羧甲基纤维素钠对红枣豆奶稳定性影响

由图4可以看出,随着羧甲基纤维素钠添加量的增加,红枣豆奶的离心沉淀率呈现先降低后上升的趋势,稳定系数则先上升后降低。当羧甲基纤维素钠添加量为0.03%时离心沉淀率最低为1.35%,当添加量超过0.03%时,离心沉淀率显著增大,稳定性反而降低。可能是由于低浓度羧甲基纤维素钠溶液对悬浮液和乳化液具有很高的稳定作用,形成羧甲基纤维素钠-蛋白质颗粒的复合物^[17],避免颗粒之间聚集,使蛋白质均匀分散,提高稳定性。增大羧甲基纤维素的添加量,离心沉淀率没有什么变化,可能是与体系中的蛋白质吸附存在临界吸附值并且之间的静电吸引作用小,发生了聚集现象,破坏体系的稳定。综合考虑效果和成本,选羧甲基纤维素钠添加量为0.01%~0.03%。

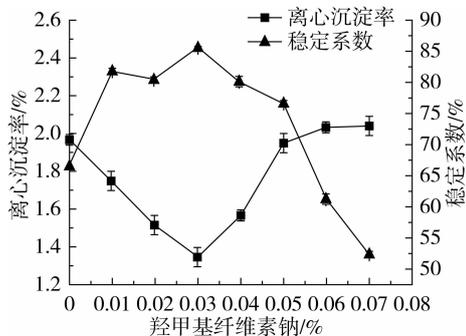


图4 羧甲基纤维素钠添加量对红枣豆奶稳定性的影响

2.1.5 蒸馏单硬脂酸甘油酯对红枣豆奶稳定性影响

由图5可以看出,随着蒸馏单硬脂酸甘油酯添加量的增加,红枣豆奶的离心沉淀率呈现先降低后上升的趋势,当添加量为0.04%时离心沉淀率最低为1.52%,当添加量超过0.04%~0.06%时,离心沉淀率显著增大,在添加量超过0.06%时沉淀率基本不变但稳定性显著下降,可能是因为蒸馏单硬脂酸甘油酯是一种亲油性乳化剂,形成油包水型乳化体系,能够降低表面张力,形成界面膜可以防止油水分离,增加稳定性^[18]。当添加量为0.05%时,体系达到亲水亲油平衡,过低或者过高均破坏体系的稳定。故选0.04%~0.06%作为羧甲基纤维素钠添加量的适宜范围。

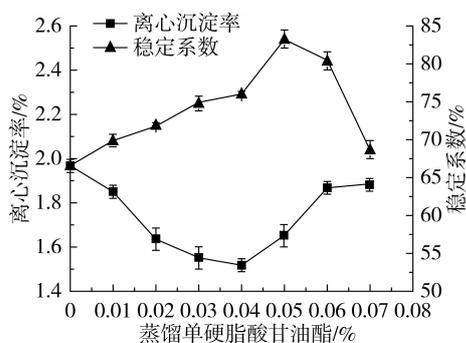


图5 蒸馏单硬脂酸甘油酯的添加量对红枣豆奶稳定性的影响

2.1.6 蔗糖脂肪酸酯对红枣豆奶稳定性影响

从图6可以看出,随着蔗糖脂肪酸酯添加量增加,红枣豆奶的离心沉淀率呈现先降低后上升的趋势,当添加量为0.10%时离心沉淀率最低为1.50%,稳定系数最大。当添加量超过0.10%时,离心沉淀率增大,稳定性基本没有什么变化。可能是因为蔗糖酯的添加量在0.10%左右脂肪球被吸附到蔗糖脂肪酸酯所形成的界面强度最大,可以防止乳脂肪球的结块、上浮,维持乳脂肪分散的稳定状态最好。并且,由于高HLB的蔗糖酯具有保护蛋白质的功能^[19],所以在杀菌过程中可以减轻蛋白的变性,蛋白质的凝结、沉淀的发生。综合考虑成本及稳定性,故选择0.08%~0.12%作为羧甲基纤维素钠添加量的适宜范围。

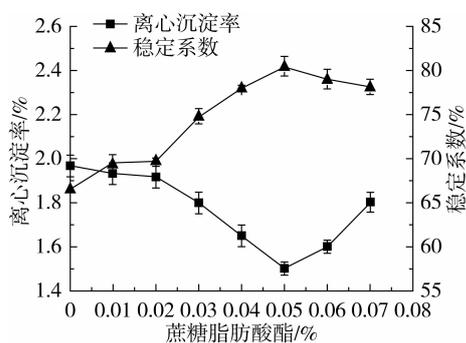


图6 蔗糖脂肪酸酯添加量对红枣豆奶稳定性的影响

2.2 正交实验确定复合增稠剂最佳配比

根据增稠剂单因素实验结果,发现黄原胶、瓜尔豆胶、羧甲基纤维素钠对红枣豆奶的稳定性影响较大,且单一的增稠剂不能使产品长期稳定,均出现较多沉淀,黄原胶具有独特的流变性,对酸、碱、酶具有良好的稳定性,与其它增稠剂具有协同作用,混合增稠剂的粘度较之单独使用时的粘度均明显增大,因此使用复合增稠剂以达到产品能够长期

稳定。对黄原胶(A)、瓜尔豆胶(B)、羧甲基纤维素钠(C)这3种增稠剂进行正交实验,以综合评价为指标,得出最佳增稠剂配比。

正交实验结果如表3,可以看出,9组处理中,最优水平组合为5号,即 $A_2B_2C_3$,综合评分为90.6分,其次为7号即 $A_3B_1C_3$,综合评分为89.7分,由R值的大小可知,A因素即黄原胶对红枣豆奶的稳定性影响最大,然后依次是C因素即羧甲基纤维素钠,B因素即瓜尔豆胶,这三者的主次顺序为 $A > B > C$,表5表明 A_2 和 A_3 差异不显著,但 A_2, A_3 与 A_1 均有显著差异; C_3 与 C_2 差异不显著,同样 C_2, C_3 均

表3 正交设计实验结果

实验号	因素				离心沉淀率/%	稳定系数/%	综合评分/分
	A	B	C	D			
1	1(0.03)	1(0.02)	1(0.01)	1	1.55	70.08	78.6
2	1	2(0.03)	2(0.02)	2	1.50	76.96	83.4
3	1	3(0.04)	3(0.03)	3	1.55	72.29	80.1
4	2(0.04)	1	2	3	1.25	84.94	89.1
5	2	2	3	1	1.10	86.97	90.6
6	2	3	1	2	1.95	74.25	81.4
7	3(0.05)	1	3	2	1.50	85.98	89.7
8	3	2	1	3	1.85	76.37	82.9
9	3	3	2	1	1.35	80.77	86.1
K_1	242.150	257.412	242.888	255.272			
K_2	261.027	256.875	258.635	254.547			
K_3	258.772	247.662	260.426	252.129			
\bar{K}_1	80.717	85.804	80.963	85.091			
\bar{K}_2	87.009	85.625	86.212	84.849			
\bar{K}_3	86.257	82.554	86.809	84.043			
R	5.667	2.927	5.265	0.944			

表4 方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	P值
A	70.860	2	35.430	39.246*	0.025
B	20.024	2	10.012	11.091	0.083
C	62.086	2	31.043	34.387*	0.028
D(空列)	1.806	2	0.903		
误差	1.806	2	0.903		
总变异	154.776	8			

表5 多重比较分析结果(Duncan法)

因素水平	A/黄原胶			C/羧甲基纤维素钠		
	2	3	1	3	2	1
$\alpha=0.05$	a	a	b	a	a	b
$\alpha=0.05$	A	A	A	A	A	A

注:a,b为多重比较字母标记,相同字母表示因素之间差异不显著;不同字母表示因素之间差异显著。

与 C_1 有显著差异。 B 因素各水平之间差异不显著, 但 $B_1 > B_2 > B_3$ 。通过表 4 方差分析结果可知, A 、 C 因素的 F 值均显著, 说明黄原胶、羧甲基纤维素钠对红枣豆奶的稳定性有显著影响。根据 k 值分析得出, 稳定剂复配的最佳组合为 $A_2B_1C_3$ 。通过实验验证可知, 复配组合 $A_2B_1C_3$ 的综合评分为 90.63 分, 稳定效果与组合 $A_2B_2C_3$ 相近, 所需成本较组合 $A_2B_2C_3$ 低, 由此得出稳定剂复配的最佳组合为 $A_2B_1C_3$, 即黄原胶、瓜尔豆胶、羧甲基纤维素钠的最佳配比为 4 : 2 : 3, 总添加量为 0.04% ~ 0.06%, 粘度适宜、口感好。

2.3 响应曲面法对乳化增稠剂复配的优化结果

2.3.1 响应曲面实验优化设计结果

综合增稠剂及乳化剂的实验结果, 选取对稳定性影响较大的因素: 复配增稠剂、蔗糖脂肪酸酯、蒸馏单硬脂酸甘油酯为主要的考察对象, 在 37 °C 恒温箱放置 7 天后, 以综合评分为响应值, 进行响应面优化实验, 优选乳化增稠剂配方。实验结果见表 6。

表 6 Box - Behnken 响应曲面实验设计及实验结果

实验号	复合增稠剂	蔗糖脂肪酸酯	蒸馏单硬脂酸甘油酯	沉淀率 /%	稳定系数 /%	综合评分 / 分
1	-1	-1	0	3.17	45.65	61.0
2	1	-1	0	4.62	56.40	68.1
3	-1	1	0	3.31	44.12	59.9
4	1	1	0	2.96	67.14	76.1
5	-1	0	-1	3.47	50.32	64.2
6	1	0	-1	2.46	86.93	90.1
7	-1	0	1	3.33	72.80	80.0
8	1	0	1	2.46	86.01	89.5
9	0	-1	-1	3.47	53.16	66.2
10	0	1	-1	4.54	53.81	66.3
11	0	-1	1	4.25	47.00	61.6
12	0	1	1	3.44	62.28	72.6
13	0	0	0	2.94	59.23	70.6
14	0	0	0	3.14	54.15	67.0
15	0	0	0	3.18	58.59	70.1
16	0	0	0	3.30	53.45	66.4
17	0	0	0	3.23	54.90	67.46

2.3.2 拟合回归模型方程的建立

运用 Design - Expert 8.0.6.1 软件对实验数据进行多元回归拟合, 得到综合得分与稳定剂变量的二次多元回归模型方程: $\hat{y} = 144.06867 - 4475.70125A + 2938.34812B - 5601.76C +$

$$11411.5AB - 41048.75AC + 13511.625BC + 61215.3A^2 - 20360.8B^2 + 65137.05C^2$$

2.3.3 实验结果的方差显著性分析

对回归模型进行方差分析, 从表 7 中可以看出: 模型 $P = 0.0006 < 0.01$, 表明该模型极显著。失拟项 $P = 0.1063 > 0.05$, 模型失拟项不显著, 且模型的决定系数 $R^2 = 0.9549$, 说明该模型反应 95.49% 的响应值变化, 拟合程度良好, 实验误差较小, 可以用此模型对红枣豆奶的综合评分及各因素对其的影响进行分析预测。

由表 7 可知, 方程一次项 A 对红枣豆奶的综合评分有极显著影响, 其余各项对结果影响不显著, 各因素的 F 值反应出各因素对实验指标的重要性, F 值越大, 表明对实验指标的影响越大。由 F 值可知, A 、 B 、 C 三个因素对红枣豆奶的稳定性影响主次顺序是 $A > B > C$; 交互项 AC 对红枣豆奶的综合评分有显著影响, 交互项 AB 、 BC 对结果无显著影响, 表明复配增稠剂与单硬脂酸甘油酯之间存在交互作用; 二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 对红枣豆奶稳定性均有极显著的影响。表明各因素对响应值的影响不是简单线性关系。采用逐步回归分析方法在 $P = 0.05$ 显著水平剔除不显著项后得到优化回归方程如下式:

$$\hat{y} = 19.45304 - 3334.55125A + 4184.50437B - 4250.59750C - 41048.75AC + 61215.3A^2 - 20360.8B^2 + 65137.05C^2$$

模型 $P = 0.0004 < 0.01$, 表明模型极显著。失拟项 $P = 0.0675 > 0.05$, 表明失拟项不显著, 决定系数 $R^2 = 0.9156$ 。说明该拟合回归模型

表 7 回归模型方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
Model	1214.65	9	134.96	16.47	0.0006	**
A	431.64	1	431.64	52.68	0.0002	**
B	40.39	1	40.39	4.93	0.0619	
C	35.51	1	35.51	4.33	0.0759	
AB	20.84	1	20.84	2.54	0.1548	
AC	67.40	1	67.40	8.23	0.0241	*
BC	29.21	1	29.21	3.57	0.1010	
A ²	157.78	1	157.78	19.26	0.0032	**
B ²	279.28	1	279.28	34.09	0.0006	**
C ²	178.65	1	178.65	21.80	0.0023	**
残差	57.36	7	8.19			
失拟项	43.06	3	14.35	4.02	0.1063	
纯误差	14.29	4	3.57			
总差	1272.01	16				

注: ** 为差异极显著 ($P < 0.01$); * 为差异显著 ($P < 0.05$)。

方程与实际情况拟合良好,较好反应了复配增稠剂、蔗糖脂肪酸酯、单硬酯酸甘油酯对红枣豆奶稳定性的影响。

2.3.4 复合增稠剂响应曲面分析

根据回归方程得出各因素之间响应面-等高线图,响应面-等高线图可以直观地反映各因素对响应值的影响,以便找出最佳配比以及各因子之间的相互作用,曲面的倾斜度越高,即坡度越陡,说明两者交互作用越显著。等高线中的最小椭圆的中心点即是响应面的最高点。此外,等高线的形状可反映出交互效应的强弱,椭圆形表示两因素交互作用显著,而圆形则与之相反^[20]。

图7、图8为蒸馏单硬脂酸甘油酯添加量0.05%时,复合增稠剂和蔗糖脂肪酸酯交互作用对红枣豆奶综合评分的影响。在复合增稠剂添加量一定时,综合评分随着蔗糖脂肪酸酯的增加先上升后下降的趋势,在0.09%~0.11%时有较高的综合评分。在蔗糖脂肪酸酯添加量固定不变时,随着复合增稠剂添加量的增加,综合评分也逐渐升高。

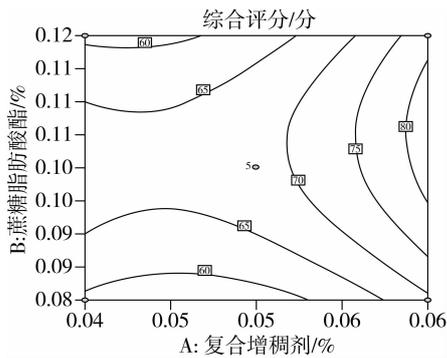


图7 复合增稠剂与蔗糖脂肪酸酯等高线图

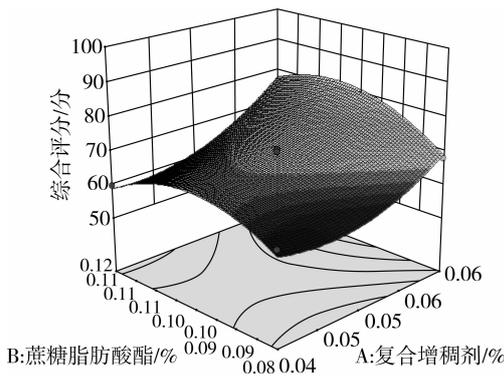


图8 复合增稠剂与蔗糖脂肪酸酯响应面图

图9、图10为蔗糖脂肪酸酯添加量0.10%时,复合增稠剂和蒸馏单硬脂酸甘油酯的交互作用对红枣豆奶综合评分的影响。在复合增稠剂添加量一定时,综合评分随着蒸馏单硬脂酸甘油酯的增加呈现先下降后上升的趋势。在蒸馏单硬脂酸甘油酯固定不变时,随着复合增稠剂添加量的增加,综合评分也逐渐升高。复合增稠剂的添加量与蒸馏单硬酯酸甘油酯的添加量有显著的交互作用。

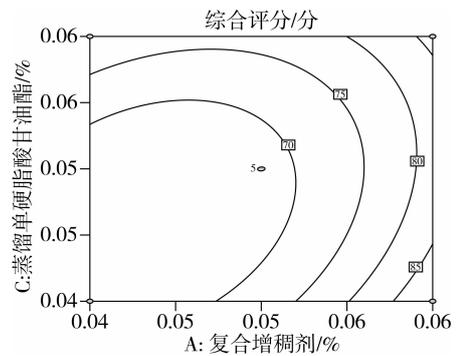


图9 复合增稠剂与单硬脂酸甘油酯等高线图

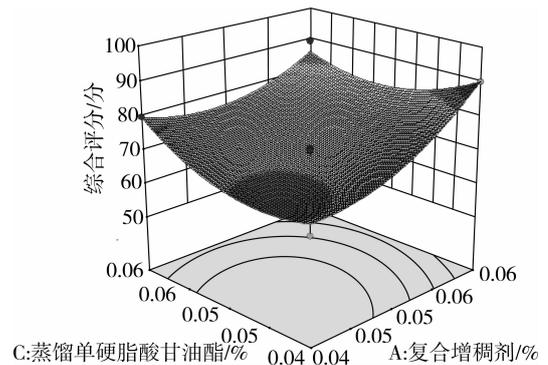


图10 复合增稠剂与单硬脂酸甘油酯响应面图

图11、图12为复合增稠剂添加量0.05%时,蔗糖脂肪酸酯和蒸馏单硬脂酸甘油酯交互作用对红枣豆奶综合评分的影响。在蔗糖脂肪酸酯添加量为0.09%~0.11%有较高的综合评分,在单硬脂酸甘油酯添加量一定时,综合评分随着蔗糖脂肪酸酯的增加先上升后下降的趋势,在蔗糖脂肪酸酯添加量固定不变时,随着蒸馏单硬脂酸甘油酯添加量的增加,综合评分逐渐下降。根据回归方程求得最佳配方为:复合增稠剂0.06%,蔗糖脂肪酸酯0.10%,蒸馏单硬酯酸甘油酯0.04%,在此条件下得到最大理论值为90.3,与实际相

比,两者相对误差为0.2%,说明此模型可靠性好,因此响应面分析优化红枣豆奶稳定剂配方准确。

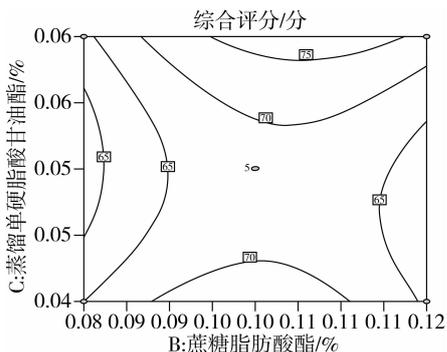


图11 蔗糖脂肪酸酯与单硬脂酸甘油酯等高线图

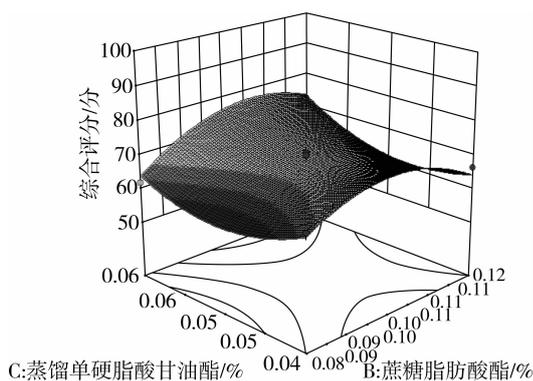


图12 蔗糖脂肪酸酯与单硬脂酸甘油酯响应面图

3 结论

根据单因素实验结果,选取对红枣豆奶稳定性效果较好的增稠剂进行正交实验,得出增稠剂的最佳配比为:黄原胶:瓜尔豆胶:羧甲基纤维素钠为4:2:3;对复合增稠剂、蔗糖脂肪酸酯、蒸馏单硬脂酸甘油酯3个主要因素通过Box-Behnken中心组合实验设计进行实验,采用响应面法对红枣豆奶的乳化增稠剂配方进行优化,得出最佳配方组合为:复合增稠剂0.06%,蔗糖脂肪酸酯0.10%,蒸馏单硬脂酸甘油酯0.04%,所制得红枣豆奶的沉淀率为2.46%,稳定系数为86.93%,综合评分为90.1分,并得出红枣豆奶的稳定性与各稳定剂的配比量变量的二次回归方程模型,对实验拟合程度好。

参考文献:

[1] 石彦国. 大豆制品工艺学[M]. 北京:中国轻工业出版社,2005: 2-8.
 [2] 权静,卢定强,张筱,等. 大豆功能性成分的研究现状[J]. 大豆通报,2004(3):27-29.
 [3] Asakura L, Cazita P M, Harada L M, et al. Soy protein containing

isoflavones favorably influences macrophage lipoprotein metabolism but not the development of atherosclerosis in cetp transgenic mice [J]. Lipids,2006,41(7):655-662.
 [4] Shin Z, Yu R, Park S, et al. His-His-Leu, an angiotensin i converting enzyme inhibitory peptide derived from korean soybean paste, exerts antihypertensive activity in vivo [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2001,49(6):3004-3009.
 [5] Lichtenstein A H. Soy protein, isoflavones and cardiovascular disease risk [J]. The Journal of nutrition,1998,128(10):1589-1592.
 [6] 殷涌光,刘静波. 大豆食品工艺学[M]. 北京:化学工业出版社,2006:24-32.
 [7] Wei H, Zhang X, Wang Y, et al. Inhibition of ultraviolet light-induced oxidative events in the skin and internal organs of hairless mice by isoflavone genistein [J]. Cancer Lett,2002,185(1):21-29.
 [8] Brown E C, DiSilvestro R A, Babaknia A, et al. Soy versus whey protein bars; Effects on exercise training impact on lean body mass and antioxidant status [J]. Nutr J,2004,3(1):22.
 [9] Arjmandi B H, Khalil D A, Hollis B W. Soy protein; its effects on intestinal calcium transport, serum vitamin d, and insulin-like growth factor-i in ovariectomized rats [J]. Calcified Tissue International, 2002,70(6):483-487.
 [10] Tsai C. Effect of soy saponin on the growth of human colon cancer cells [J]. World Journal of Gastroenterology,2010,16(27):3371.
 [11] Potter S M, Baum J A, Teng H, et al. Soy protein and isoflavones: their effects on blood lipids and bone density in postmenopausal women [J]. Am J Clin Nutr,1998,68(6 Suppl):1375-1379.
 [12] 李芳,孔令明,杨清香,等. 巴旦杏蛋白饮料的工艺优化及其稳定性研究 [J]. 现代食品科技,2009(7):786-789.
 [13] 李中华,阮美娟. 榛子蛋白饮料稳定性研究 [J]. 广州食品工业科技,2003(3):29-31.
 [14] 赖富饶,吴晖,牛晨艳,等. 黄原胶的流变特性及其在食品工业中的应用 [J]. 现代食品科技,2006(4):274-276.
 [15] 邵金良,袁唯. 黄原胶的特性及其在饮料工业中的应用研究 [J]. 中国食品添加剂,2005(1):80-82.
 [16] Cardoso S M, Coimbra M A, Da Silva J A L. Temperature dependence of the formation and melting of pectin-Ca²⁺ networks: A rheological study [J]. Food Hydrocolloids,2003,17(6):801-807.
 [17] 姚晶,孟祥晨. 羧甲基纤维素钠及酸性乳饮料加工工艺对其稳定性及粒径分布的影响 [J]. 中国乳品工业,2008(7):40-43.
 [18] 马永轩,魏振承,张名位,等. 黑米黑芝麻复合谷物乳稳定剂配方优化 [J]. 中国粮油学报,2013(4):97-102.
 [19] 林小琴,钟彬林,蔡福带. 响应面法优化黑芝麻谷物浓浆复合稳定剂配方 [J]. 中国食品添加剂,2014(5):76-83.
 [20] 李超,王卫东. 响应曲面法优化葡萄籽油的微波提取工艺研究 [J]. 粮油加工,2010(1):3-7. 完