可溶性膳食纤维的提取及在杨梅汁中的应用

张慧霞[1]， 张 慜*[1]， 张曙光[2]

(1. 食品科学与技术国家重点实验室，江南大学，江苏 无锡 214122；2. 海通食品集团股份有限公司，浙江 慈溪 315300)

摘要：采用正交试验对从豆渣中提取可溶性膳食纤维(SDF)的工艺条件进行了优化，采用正交试验设计确定SDF的最佳提取工艺：酶解时间1.2 h，酶的添加质量分数为0.3%，酶解温度为45 ℃，pH值4.5。研究了SDF对杨梅汁稳定性的影响，在单因素试验的基础上，选取CMC-Na、黄原胶、果胶和SDF的添加量为自变量、沉淀率和△OD为响应值，利用响应面分析方法，模拟得到了二次多项式回归方程的预测模型，并确定了杨梅浊汁稳定剂的最佳配比：CMC-Na为0.056 2%，黄原胶为0.034%，果胶为0.06%，SDF为4.82%。

关键词：SDF；杨梅汁；沉淀率；浊度；响应面

中图分类号：TS 201.1 **文献标志码**：A **文章编号**：1673-1689(2012)06-0606-09

Extraction, Deodorization and Application of Soybean Fiber in Bayberry Juice

ZHANG Hui-xia[1]， *ZHANG Min**[1]， *ZHANG Shu-guang*[2]

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, 214122, China; 2. Haitong Food Group Company, Zhejiang Cixi, 315300))

Abstract: The extraction conditions for SDF from soybean were optimized with single factor experiment and orthogonal design in this study and listed as follows: the time of enzymic hydrolysation 1.5h, enzymic amount 0.3%, the temperature of enzymic hydrolysation 45℃, pH4.5. with the enzyme from soubean, the effect of SDF on bayberry juice was carefully investigated. Based on the results of single factor experiments, the amount of CMC-Na, xanthan, pectin and SDF were selected as independent variables, deposition ratio and △OD as responses variables. Furthermore, the optimum conditions were achieved by using central composite design and response surface analysis and listed as follows: CMC-Na 0.0562%, xanthan 0.034%, pectin 0.06%, SDF 4.82%。

Key words: SDF, bayberry juice, deposition ratio, turbidity, response surface

豆制品加工在中国源远流长，其加工产生大量的豆渣，在中国主要用作饲料，利用率低，豆渣潜在营养价值尚未得到充分利用。大豆渣中所含热量很少，纤维素含量占据了干物质的一半，豆渣是良好的膳食纤维原料[1]。在大多数工业化国家成人的总膳食纤维摄入量平均值低于25 g，而25 g是各种健康组织推荐的最低摄入量，并且其中SDF应占到20%，80%为不溶性膳食纤维[2]。可溶性膳食纤

收稿日期：2011-07-19

基金项目：国家自然科学基金项目(30972058)。

* **通信作者**：张 慜(1962-)，男，浙江平湖人，工学博士，教授，博士研究生导师，主要从事农产品加工与贮藏研究。
E-mail：min@jiangnan.edu.cn

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

维具有多种生理功能，其中一些是通过对某些物质的束缚作用来实现的。一般认为，可溶性膳食纤维比不溶性膳食纤维具有更强的功能性，如持水率高、束缚肠道中某些致癌物、清除自由基、防治结肠癌、便秘等[3]。

由于功能性食品概念的普及，食品和健康的关系对食品革命产生了重大影响[4]。膳食纤维的重要性带来了高纤维食品和添加剂市场的巨大发展，近年来，寻找作为添加剂的膳食纤维的来源成为食品工业的趋势[5]。目前果汁及果汁饮料的生产和消费持强劲的增长势头，并呈现出"绿色、营养、环保、健康"的特点，功能性果汁发展势头强劲，如果在饮料中加入膳食纤维，也是解决现代都市人民生活中膳食纤维偏低的行之有效的方法[6]。目前有报道的高纤维果汁饮料多利用水果本身高纤维含量的果皮果渣进行生产，而本文中的可溶性膳食纤维(SDF)来自于豆渣，主要研究 SDF 对杨梅汁稳定性的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

杨梅原汁：海通食品集团股份有限公司提供；黄原胶：海通食品集团股份有限公司提供；果胶：海通食品集团股份有限公司提供；CMC-Na：海通食品集团股份有限公司提供；豆渣：江南大学第四食堂提供；番茄原酱：海通食品集团股份有限公司提供。

中温 α-淀粉酶：3 500 U/mL，潍坊宇瑞贸易有限公司产品；木瓜蛋白酶：100 万 U/g，广西科学院生物研究所。

1.2 仪器与设备

A() 型台式气流粉碎机：宜兴清新粉体机械有限公司生产；HH-S 型水浴锅：郑州长城科工贸有限公司生产；101-1-BS 电热恒温鼓风干燥箱：上海跃进医疗器械厂生产；TDL-60B 台式低速离心机：上海安亭科学仪器厂生产；色彩色差计 CHROMA METER CR-400：KONICA MINOLTA 生产；实验室 pH 计 FE20：梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司产品；FA-1104 电子天平：上海天平仪器厂生产；UV-2600 紫外分光光度计：上海天美科学仪器有限公司产品；CJJ78-1 磁力加热搅拌器：金坛市大地自动化仪器厂生产；WAY-2W 阿贝折射仪：上海精密科学仪器有限公司产品。

1.3 试验方法

1.3.1 SDF 的制备 豆渣粉→水洗→木瓜蛋白酶酶解→纤维素酶酶解→灭酶→脱腥→脱色→干燥→粉碎→超微粉碎→四倍体积无水乙醇沉淀→静置分离→沉淀物干燥→SDF

1.3.2 杨梅汁稳定性的测定 浊度：杨梅汁充分混匀，取出 10 mL 于 3 000 r/min 离心 10 min，用 UV2600 型紫外分光光度计，于 660 nm 波长处，测上层液相的浊度(以蒸馏水为对照)[7]。浊度差：添加稳定剂后的杨梅汁浊度与杨梅原汁浊度的差值 △OD=OD 未离心－OD 离心，浊度差越小说明稳定性越好。

离心沉淀率：将配制好的杨梅汁放置 24 h 后，在离心管中准确加入 10 mL，然后在 4 000 r/min 离心速度下离心 15 min，弃去上层溶液，准确称取沉淀物重量，利用公式计算沉淀率。

沉淀率(%)=沉淀物重(g)/10 mL 饮料重(g) ×100%

2 结果与分析

2.1 豆渣中 SDF 提取条件的确定

在单因素实验纤维素酶的添加量、酶解温度、酶解 pH 和酶解时间的基础上选定适宜的水平进行正交试验确定纤维素酶最佳酶解条件。

表 1 正交试验结果

Tab. 1 Result of the orthogonal experiment

实验号	加酶质量分数(%)	酶解温度/℃	酶解时间/h	酶解 pH	SDF 得率/%
1	1(0.2)	1(40)	1(1.)	1(3.5)	14.27
2	1	2(45)	2(1.2)	2(4.0)	15.64
3	1	3(50)	3(1.5)	3(4.5)	17.43
4	2(0.3)	1	2	3	23.52
5	2	2	3	1	22.42

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

续表 1

实验号	加酶质量分数(%)	酶解温度/℃	酶解时间/h	酶解 pH	SDF 得率/%
6	2	3	1	2	21.23
7	3(0.4)	1	3	2	15.42
8	3	2	1	3	19.51
9	3	3	2	1	18.31
K_1	15.780	17.737	18.337	18.333	
K_2	22.390	19.190	19.157	17.430	
K_3	17.747	18.990	18.423	20.153	
R	5.243	1.453	0.820	2.723	
$R_A > R_D > R_B > R_C$					

表 2 方差分析

Tab. 2 Analusis of variance

因素	偏差平方和	自由度	F 比	显著性
加酶质量分数(%)	69.120	2	56.749	显著
酶解温度(℃)	3.723	2	3.057	
酶解时间(h)	1.218	2	1.000	
酶解 pH	11.545	2	9.479	有影响
误差	1.22	2		

由正交试验结果可以看到，加酶量是影响 SDF 的得率的最大因素，其次是酶解温度和酶解 pH，酶解时间对得率的影响最小，而酶解时间越长耗时越大，生产成本较大，因此选择酶解时间 1.5 h。因此选择的最优组为 $A_2B_2C_2D_3$，即最佳的酶解条件为酶解时间 1.2 h，酶的添加质量分数 0.3%，酶解温度 45 ℃，pH 值 4.5。

2.2 杨梅汁稳定剂的选择

由于杨梅浊汁易出现分层、沉淀等质量问题[8]，且杨梅汁 pH 值一般在 3.5 左右，属于酸性饮料。因而，这种饮料应选用对酸稳定的稳定剂，同时，酸性果汁对口感质量要求较高，应选用黏性较大但凝胶特性不很强的稳定剂[9]。常用的稳定剂有黄原胶、果胶、CMC-Na、海藻酸丙二醇脂、海藻酸钠和卡拉胶等，结合各种胶体的特性及相互间的配伍性杨梅汁的品质要求选用 CMC-Na、黄原胶和果胶作为稳定剂。

2.2.1 SDF 的添加对杨梅汁稳定性的影响 除 SDF 本身具有的清除自由基、防治结肠癌、便秘等功能外，SDF 还具有一定的吸水性和增稠性，因此 SDF 的添加会对杨梅汁的稳定性造成影响，因此以沉淀率和△OD 为指标考察 SDF 的添加对杨梅汁稳定性的影响。

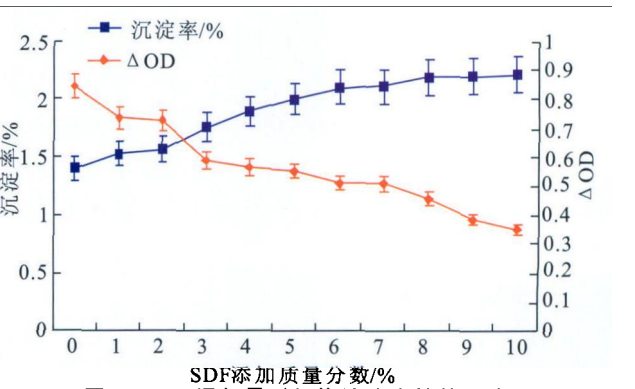


图 1 SDF 添加量对杨梅汁稳定性的影响

Fig. 1 Effect of SDF to bayberry juice

由图 1 可知，SDF 的添加对杨梅汁的离心沉淀率及浊度差均有影响，随着 SDF 添加量的增大，离心沉淀率升高、△OD 减小，但从离心沉淀率曲线来看，SDF 的添加质量分数在 2%～6%之间离心沉淀率的变化率比较大，在 SDF＞6%曲线比较平缓。

2.2.2 CMC-Na 不同添加量对含 SDF 杨梅汁的稳定性的影响 CMC-Na 是白色或微黄色粉末，易溶于水形成高黏度的溶液，其耐酸性好，其溶液在室

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

温下存放数月而黏度不发生明显变化；另外，CMC-Na 有假塑性，口感爽快，同时其良好的悬浮稳定性可使其制品保持风味、浓度和口感的均一性。因此，CMC-Na 适宜作为杨梅汁的稳定剂。

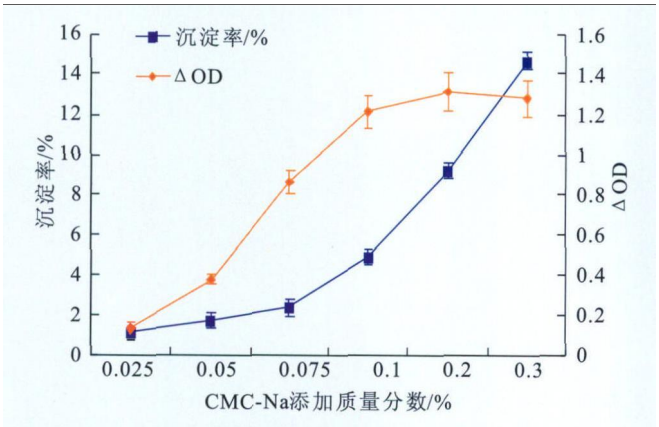


图 2　CMC-Na 添加量对杨梅汁稳定性的影响

Fig. 2　Effect of CMC-Na to bayberry juice

由图 2 可知，CMC-Na 的添加对杨梅汁的离心沉淀率及浊度差均有影响，随着 SDF 添加量的增大，离心沉淀率升高、△OD 增大，当 CMC-Na＜0.03%时，离心沉淀率比较低，达不到稳定性要求；；当 CMC-Na＞0.08%时，△OD 明显增大。

2.2.3　黄原胶不同添加量对含 SDF 杨梅汁的稳定性的影响　黄原胶是白色或淡黄色粉末，可完全溶解于冷水和热水中，对温度、pH、电解质溶液及酶的作用不敏感，特别是黄原胶在广泛的 pH 范围内，其溶液的黏度和稳定性非常稳定。研究表明，黄原胶溶液的黏度在 pH 值为 1.5～13 范围内变化不大，因此在杨梅汁这种酸性饮料中也有良好的稳定效果。

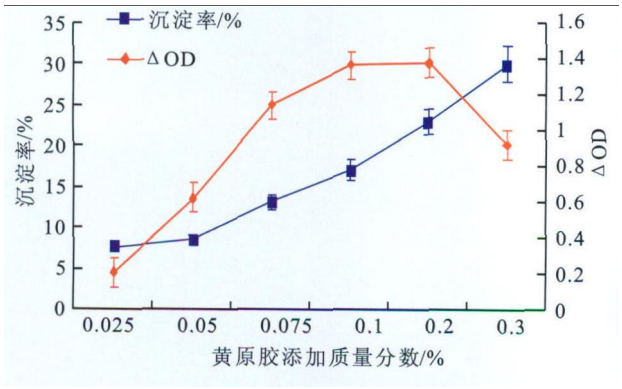


图 3　黄原胶添加量对杨梅汁稳定性的影响

Fig. 3　Effect of xanthan to bayberry juice

由图 3 可知，黄原胶的添加对杨梅汁的离心沉淀率及浊度差均有影响，随着黄原胶添加量的增大，离心沉淀率升高、△OD 增大；当 CMC-Na＞0.08%时，△OD 明显增大。

2.2.4　果胶不同添加量对含 SDF 杨梅汁的稳定性的影响　果胶是一种非淀粉多糖，根据甲酯化程度可分为高脂果胶和低酯果胶，高脂果胶由于其对蛋白的保护作用广泛用于饮料中以改善口感，且可与 CMC、黄原胶等复配。由于果胶在 pH 3.5 左右最稳定，因此在 pH 为 3.5 左右的杨梅汁中有良好的稳定效果，但由于果胶在应用过程中会发生降解，因此有必要探讨果胶对含 SDF 杨梅汁的沉淀稳定性的影响。

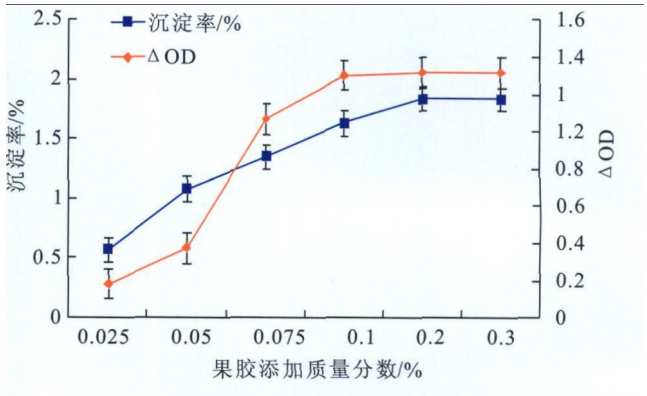


图 4　果胶添加量对杨梅汁稳定性的影响

Fig. 4　Effect of pectin to bayberry juice

由图 4 可知，果胶的添加对杨梅汁的离心沉淀率及浊度差均有影响，随着果胶添加量的增大，离心沉淀率升高、△OD 增大，当 CMC-Na＞0.08%时，△OD 明显过大。

2.2.5　稳定剂复配　复合稳定剂比单一稳定剂稳定效果要好，对杨梅汁中不同稳定剂之间的协同增效作用进行试验。采用 Design-Expert 8.0 软件对实验数据进行分析，对影响杨梅汁稳定性的 3 种稳定剂和 SDF 的添加量将进行了四因素三水平的响应面分析实验。

表 3　响应面分析实验因素水平表

Tab. 3　Factors and levels for response surface analysis

因素	CMC-Na(%) A	黄原胶(%) B	果胶(%) C	SDF 质量分数/% D
-1	0.04	0.02	0.04	2
0	0.06	0.04	0.06	4
1	0.08	0.06	0.08	6

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 4 响应面中心组合设计及实验结果

Tab. 4 Response surface central composite design and correaponding experiment results

实验号	A：A	B：B	C：C	D：D	Y_1/沉淀率(%)	Y_2/△OD
1	0	-1	0	-1	3.34	1.0283
2	0	1	1	0	4.37	0.8392
3	0	0	0	0	5.79	0.6985
4	-1	0	-1	0	3.61	1.248
5	0	-1	-1	0	3.38	1.2351
6	-1	0	1	0	5.85	0.6219
7	0	0	1	1	6.45	0.548
8	0	0	1	-1	5.23	0.5772
9	0	1	-1	0	3.54	0.8459
10	1	0	0	-1	4.56	0.866
11	-1	1	0	0	1.92	0.8407
12	1	0	-1	0	5.65	0.9044
13	0	0	0	0	4.79	0.548
14	1	-1	0	0	3.43	0.848
15	0	0	0	0	5.79	0.3345
16	0	-1	0	1	4.95	0.6685
17	0	0	-1	-1	4.97	1.0817
18	0	0	0	0	5.79	0.6985
19	0	1	0	-1	3.53	0.7723
20	1	1	0	0	3.73	0.852
21	-1	-1	0	0	2.26	1.0483
22	1	0	1	0	4.47	0.8113
23	0	0	-1	1	5.47	0.9411
24	-1	0	0	1	4.44	1.0335
25	0	-1	1	0	5.34	0.4762
26	0	1	0	1	3.96	0.774
27	0	0	0	0	5.3748	0.3816
28	-1	0	0	-1	4.01	0.9747
29	1	0	0	1	3.43	0.848

表 5 沉淀率实验结果的回归分析

Tab. 5 Regression analysis of the experiment results for deposition ratio

因素	回归系数估计	标准偏差	95%置信区间	
			最低	最高
A-A	0.35	0.13	0.073	0,62
B-B	-0.22	0.13	-0.50	0.055
C-C	0.34	0.13	0.065	0.62
D-D	0.34	0.13	0.063	0.61
AB	0.16	0.22	-0.32	0.64
AC	-0.86	0.22	-1.33	-0.38
AD	-0.14	0.22	-0.62	0.34
BC	-0.032	0.22	-0.51	0.44
BD	-0.30	0.22	-0.77	0.18
CD	0.18	0.22	-0.30	0.66
A^2	-1.01	0.17	-1.38	-0.63
B^2	-1.46	0.17	-1.83	-1.08
C^2	0.36	0.17	-0.011	0.74
D^2	-0.14	0.17	-0.51	0.24

由表 5 中的回归系数可得二次多项式回归方程为：

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$Y_1=5.45+0.35A-0.22B+0.34C+0.34D+0.16AB-0.86AC-0.14AD-0.032BC-0.30BD+0.18CD-1.01A^2-1.46B^2+0.36C^2-0.14D^2$。对该回归方程进行方差分析，结果见表6。

表6 沉淀率回归模型的方差分析

Tab. 6 Analysis of variance for regression equation of deposition ratio

方差来源	平方和/SS	自由度/DF	均方/MS	F值/F	Pr>F	显著性
模型	29.91	14	2.14	10.78	≤0.000 1	* * *
A-A	1.46	1	1.46	7.35	0.016 9	*
B-B	0.59	1	0.59	2.95	0.107 7	
C-C	1.39	1	1.39	7.03	0.018 9	*
D-D	1.37	1	1.37	6.93	0.019 7	*
AB	0.10	1	0.10	0.52	0.484 1	
AC	2.92	1	2.92	14.76	0.001 8	* *
AD	0.078	1	0.078	0.40	0.539 5	
BC	4.225E-003	1	4.225E-003	0.021	0.886 0	
BD	0.35	1	0.35	1.76	0.206 3	
CD	0.13	1	0.13	0.65	0.432 2	
A^2	6.59	1	6.59	33.24	≤0.000 1	* * *
B^2	13.81	1	13.81	69.67	≤0.000 1	* * *
C^2	0.86	1	0.86	4.32	0.056 4	
D^2	0.12	1	0.12	0.60	0.451 9	
残差	2.77	14	0.20			
失拟项	2.10	10	0.21	1.25	0.446 9	不显著
净误差	0.67	4	0.17			
总和	32.69	28				

注：$R^2=0.915\ 1$，$R=0.956\ 6$。

由方差分析可以看出，模型的$P<0.000\ 1$，表明该模型是高度显著的。模型失拟项$P=0.446\ 9$，表示有44.69%的概率使得模型偏差由噪音产生，因此失拟项不显著。该模型决定系数$R^2=0.915\ 1$，所以，模型拟合较好。由F值可以看出，影响沉淀率因素从大到小依次为：CMC-Na＞果胶＞SDF＞黄原胶。

表7 △OD实验结果的回归分析

Tab. 7 Regression analysis of the experiment results for △OD

因素	回归系数估计	标准偏差	95%置信区间	
			最低	最高
A-A	-0.053	0.027	-0.11	5.253E-003
B-B	-0.032	0.027	-0.090	0.027
C-C	-0.20	0.027	-0.26	-0.14
D-D	-0.041	0.027	-0.099	0.018
AB	0.053	0.047	-0.048	0.15
AC	0.13	0.047	0.032	0.23
AD	-0.019	0.047	-0.12	0.082
BC	0.19	0.047	0.087	0.29

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

续表 7

因素	回归系数估计	标准偏差	95%置信区间	
			最低	最高
BD	0.090	0.047	-0.011	0.19
CD	0.028	0.047	-0.073	0.13
A^2	0.26	0.037	0.18	0.34
B^2	0.17	0.037	0.095	0.25
C^2	0.16	0.037	0.083	0.24
D^2	0.16	0.037	0.081	0.24

由表 7 的回归系数可得二次多项式回归方程为：

$Y_2=0.48-0.053A-0.032B-0.20C-0.041D+0.053AB+0.13AC-0.091AD+0.19BC+0.090BD+0.028CD+0.26A^2+0.17B^2+0.16C^2+0.16D^2$。对该回归方程进行方差分析，结果见表 8。

表 8 △OD 回归模型的方差分析

Tab. 8 Analysis of variance for regression equation of △OD

方差来源	平方和/SS	自由度/DF	均方/MS	F 值/*F*	*Pr*>*F*	显著性
模型	1.44	14	0.10	11.58	≤0.000 1	* * *
A-A	0.034	1	0.034	3.81	0.071 3	
B-B	0.012	1	0.012	1.36	0.263 7	
C-C	0.47	1	0.47	53.22	≤0.000 1	* * *
D-D	0.020	1	0.020	2.22	0.158 0	
AB	0.011	1	0.011	1.26	0.280 6	
AC	0.071	1	0.071	7.99	0.013 4	*
AD	1.475*E*-003	1	1.475*E*-003	0.17	0.689 9	
BC	0.14	1	0.14	15.92	0.001 3	* *
BD	0.033	1	0.033	3.68	0.075 8	
CD	3.102*E*-003	1	3.102*E*-003	0.35	0.564 1	
A^2	0.43	1	0.43	48.57	≤0.000 1	* * *
B^2	0.20	1	0.20	22.21	0.000 3	* * *
C^2	0.17	1	0.17	19.19	0.000 6	* * *
D^2	0.17	1	0.17	18.69	0.000 7	* * *
残差	0.12	14	8.888*E*-003			
失拟项	0.041	10	4.092*E*-003	0.20	0.983 3	不显著
净误差	0.084	4	0.021			
总和	1.57	28				

注：$R^2=0.920\ 5$，$R=0.959\ 4$。

由表 8 可以看出，模型的 $P<0.000\ 1$，表明该模型是高度显著的。模型失拟项 $P=0.983\ 3$，表示有 98.33%的概率使得模型偏差由噪音产生，因此失拟项不显著。该模型决定系数 $R^2=0.920\ 5$，所以，模型拟合较好。由 *F* 值可以看出，影响沉淀率因素从大到小依次为：果胶＞CMC-Na ＞SDF＞黄原胶。

2.3 相应曲面分析

响应曲面分析(RSM)的图形是特定的响应值对应自变量构成的一个三维空间图，可以直观反映

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

出各自变量对响应变量的影响[10]。

2.3.1 沉淀率的相应曲面分析 各稳定剂对沉淀率的影响实验见图5、6。

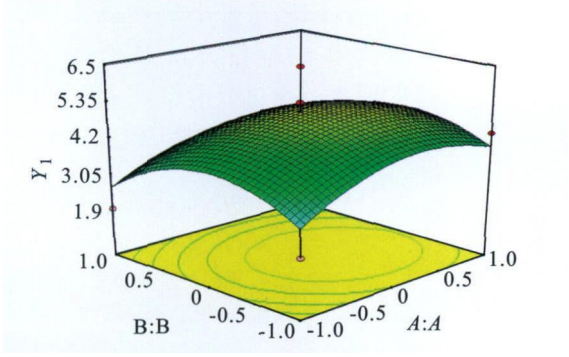


图5 A-CMC-Na～B-黄原胶对沉淀率影响的响应面曲线

Fig. 5 Response surface of the effect of A-CMC-Na～B- xanthan to deposition ratio

图5表示果胶添加质量分数为0.06%，SDF添加质量分数为4%时CMC-Na及黄原胶添加量对沉淀率的影响，由曲线变化可知随着二者添加量的增大沉淀率先增大后减小，说明试验中应控制二者的用量。图6表示CMC-Na添加质量分数为0.04%，果胶添加质量分数为0.06%，时黄原胶及SDF对沉淀率的影响。由曲线变化可知随着SDF添加量的增大沉淀率逐渐增大，而沉淀率随着黄原胶添加量的增大先增大后降低，说明黄原胶的添加量不能过大；此外，由等高线的变化可知二者的交互作用对沉淀率的影响不明显。

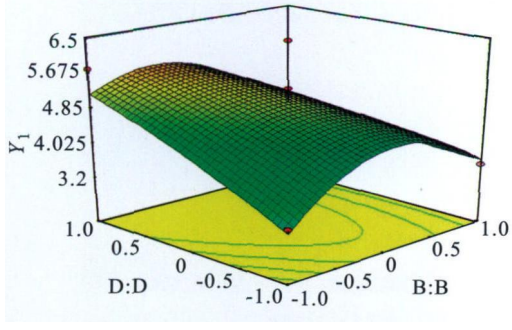


图6 B-黄原胶～D-SDF对沉淀率影响的响应面曲线

Fig. 6 Response surface of the effect of B- xanthan～D-SDF to deposition ratio

2.3.2 △OD的相应曲面分析 各稳定剂对△OD的影响实验结果见图7、8。图7为果胶添加量为0.06%，SDF添加质量分数为4%时CMC－Na及黄原胶对△OD的影响，图中曲线的变化幅度较大，说明二者对△OD的影响较为显著，且随着二者添加量的增大△OD呈现先减小后增大的趋势，因此应控制CMC-Na及黄原胶的用量才能使杨梅汁稳定效果较好。另外，二者的交互作用对△OD的影响较显著，投影中椭圆的曲率比较大。

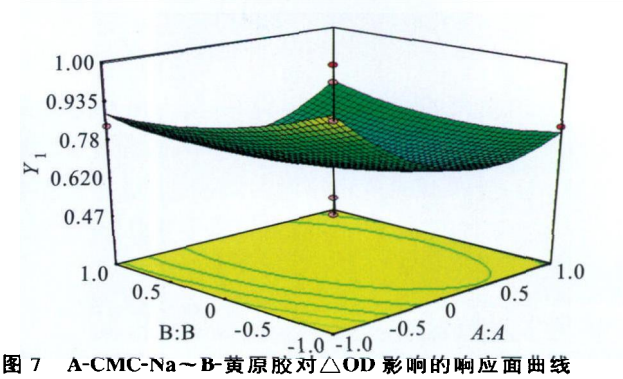


图7 A-CMC-Na～B-黄原胶对△OD影响的响应面曲线

Fig. 7 Response surface of the effect of A-CMC-Na～B- xanthan to △OD

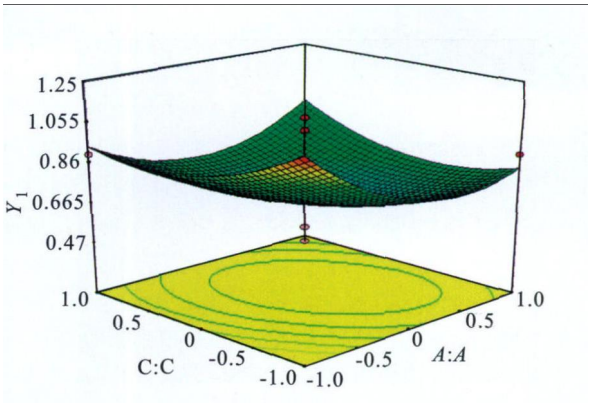


图8 A-CMC-Na～C-果胶对△OD影响的响应面曲线

Fig. 8 Response surface of the effect of A-CMC-Na～C-pectin to △OD

图8表示黄原胶添加质量分数为0.04%，SDF添加质量分数为4%时CMC-Na及果胶对△OD的影响，由曲线变化知△OD随着果胶添加量的增大而增大，随着CMC－Na的增大而减小，且二者的交互作用对△OD的影响较显著。

2.3.3 验证试验 对回归模型进行分析，对沉淀率和△OD进行拟合后得到的最佳工艺条件对应的编码值为：CMC-Na为-0.19，黄原胶为-0.29，果胶为1.00，SDF为0.41，各因素对应的实际值为质量分数CMC-Na 0.056 2%，黄原胶0.034%，果胶0.06%，SDF 4.82%，在此条件下模型的计算值沉淀率为6.406 54%，△OD值为0.426 712；将此条件进行三次重复试验取平均值，得到实际沉淀率的为6.32%，△OD值为0.434；相对模拟误差分别为1.35%和1.7%，则该最优值的验证试验在95%的

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

置信区间内也很好地符合了预测值,因此采用响应面优化得到的配比参数比较准确,可以按照模型在实践中进行预测。

3 结 语

1)由正交试验结果可以看到,纤维素酶添加量是影响 SDF 的得率的最大因素,其次是酶解温度和酶解 pH,酶解时间对得率的影响最小,最佳的酶解条件为酶解时间 1.2 h,酶的添加质量分数为 0.3%,酶解温度 45 ℃,pH 值 4.5。

2)用 Design-Expert 8.0 得到的最佳配比(质量比)为 CMC-Na 0.056 2%,黄原胶 0.034%,果胶 0.06%,SDF 4.82%,在此条件下实际沉淀率的为 6.32%,△OD 值为 0.434;相对模拟误差分别为 1.35%和 1.7%,则该最优值的验证试验在 95%的置信区间内也很好地符合了预测值,因此该模型与实际情况非常吻合。

参考文献(References):

[1] 张振山,叶素萍,李 泉,王玉民. 豆渣的处理与加工利用[J]. 食品科学,2004,25(10):400-405.
ZHANG Zhen-shan,YE Su-ping,LI Quan,Wang Yu-min. The processing and utilizing of okara[J]. **Food Science**,2004,25(10):400-405. (in Chinese)[2] Elke Theuwissen,Ronald P. Mensink. Water-soluble dietary fibers and cardiovascular disease[J]. **Physiology & Behavior**,2008,94:285-292.

[3] 祝团结,郑为完. 大豆豆渣的研究开发现状与展望[J]. 食品研究与开发,2004,25(4):25-28.
ZHU Tuan-jie,ZHENG Wei-wan. Soybean residues, state of studying and developing and prospects[J]. **Food Research and Development**,2004,25(4):25-28. (in Chinese)

[4] Donatella Peressini,AlessandroSensidoni. Effect of soluble dietary fiber addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs[J]. **Journal of Cereal Science**,2009,49:190-201.

[5] Araceli Redondo-Cuenca ,Ma José Villanueva-Suárez,Inmaculada Mateos-Aparicio. Soybean seeds and Its by-product okara as sources of dietary fiber. Measurement by AOAC and englyst methods[J]. **Food Chemistry**, 2008,108:1099-1105.

[6] 李安平,谢碧霞,钟海雁,武力. 高纤维固体碳酸饮料的研制[J]. 食品与机械,2001,4:15-16.
LI An-ping,XIE Bi-xia,ZHONG Hai-yan,Wu Li. Development of high fiber solid carbonated beverage[J]. **Food and Machinery**, 2001,4:15-16. (in Chinese)

[7] 宋贤聚,张憨,桂晓琦,黄略略. 芦笋复合果蔬汁稳定性的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2007,26(6):21-24.
SONG Xian-ju,ZHANG Min,GUI Xiao-qi,HUANG Lue-lue. A study on the stability of asparagus compound juice[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2007,26(6):21-24. (in Chinese)

[8] 焦凌霞,鲁宏发,孔瑾. 复合果蔬汁生产工艺及其稳定性的研究[J]. 保鲜与加工,2006,6(1):33-35.
JIAO Ling-xia,LU Hong-fa,KONG jin. Study on technological process and stability of compound drink of strawberry and carrot[J]. **Srorage and Process**,2006,6(1):33-35. (in Chinese)

[9] 胡国华. 食品添加剂在饮料及发酵食品中的应用[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

[10] 陈文伟,周 晶,高荫榆,孙志芳,贾振宝. 包衣酶催化地沟油制备生物柴油[J]. 太阳能学报,2009,30(10):1347-1350.
CHEN Wen-wei,ZHOU jing,GAO Yin-yu,SUN Zhi-fang,JIA Zhen-bao. Preparing biodiesel from waste oil With surfactant-coated lipase[J]. **Acta Energiae Solaris Sinca**, 2009,30(10):1347-1350. (in Chinese)

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net