

亲水性胶体对橙汁饮料稳定性的影响

姚森*, 王亮, 童彦

(杭州娃哈哈集团有限公司, 浙江省食品生物工程重点实验室, 杭州 310018)

摘要: **目的** 以 30%橙汁饮料为对象, 研究结冷胶、黄原胶、海藻酸钠等亲水性胶体对橙汁稳定性的影响。**方法** 采用 $U_8(8^8)$ 均匀设计筛选出对橙汁稳定性影响最为显著的因素, 再通过 $L_9(3^4)$ 正交设计进一步验证优化橙汁饮料中的胶体最佳复配方案。**结果** 对橙汁沉淀影响最为显著的胶体是海藻酸钠、结冷胶、果胶、黄原胶, 而瓜尔胶、阿拉伯胶和羧甲基纤维素钠(CMC)的影响不显著, 其中结冷胶和黄原胶有利于橙汁的混浊稳定性, 但是黄原胶和 CMC 的加入会促进橙汁的絮凝产生。海藻酸钠和结冷胶是影响橙汁稳定性的重要因素, 一定用量的海藻酸钠和结冷胶复配能很好抑制产品沉淀, 维持体系的混浊稳定性; 黄原胶是引起产品絮凝的主要因素, 适量的果胶和海藻酸钠可以防止絮凝形成。**结论** 在海藻酸钠、结冷胶和果胶添加量分别为 1.2‰、0.32‰和 0.8‰时, 橙汁具有最佳稳定性, 产品的沉淀量最少, 混浊稳定性最高, 同时可最大程度防止絮凝。经过验证, 在最优胶体复配条件下, 其沉淀稳定性为 98.52%, 混浊稳定性达 94.89%, 产品无明显絮凝。**关键词:** 橙汁; 胶体; 均匀设计; 絮凝; 沉淀; 稳定性

Effects of hydrophilic colloids on the stability of orange juice

YAO Sen*, WANG Liang, TONG Yan

(Key Laboratory of Food and Biological Engineering of Zhejiang Province, Hangzhou Wahaha Group Co., Ltd., Hangzhou 310018, China)

ABSTRACT: Objective To study the effects of hydrophilic colloids such as gellan gum, xanthan gum and sodium alginate and *etc.* on the stability of 30% orange juice. **Methods** The significant factors that affected the stability of orange juice were screened by the $U_8(8^8)$ uniform design, and then the $L_9(3^4)$ orthogonal design was used to further optimize the best colloids compound. **Results** The colloids of sodium alginate, gellan gum, pectin and xanthan gum had the most significant influence on orange juice precipitation, while guar gum, Arabic gum and carboxymethyl cellulose sodium (CMC) had no significant effect. Meanwhile, gellan gum and xanthan gum were conducive to turbid stability of orange juice, and xanthan gum and CMC could accelerate the flocculation of orange juice. The most important factors that affected the stability of orange juice were sodium alginate and gellan gum, which could inhibit precipitation and maintain turbid stability effectively when properly used. The main factor that accelerated flocculation was xanthan gum, however, suitable pectin and sodium alginate could prevent the formation of flocculation. **Conclusion** The orange juices had the best stability with minimum precipitation or flocculation, and maximum turbid stability when adding 1.2‰ sodium alginate, 0.32‰ gellan gum and 0.8‰ pectin, respectively. The experiments conformed that under the best conditions, orange juice had good stability and no evident flocculation with the precipitation stability of 98.52% and the turbid stability of 94.89%.

KEY WORDS: orange juice; colloid; uniform design; flocculation; precipitation; stability

*通讯作者: 姚森, 工程师, 主要研究方向为果蔬汁饮料和植物蛋白饮料的开发。E-mail: sen.yao@wahaha.com.cn

*Corresponding author: YAO Sen, Engineer, Key Laboratory of Food and Biological Engineering of Zhejiang Province, Hangzhou Wahaha Group Co., Ltd., Hangzhou 310018, China. E-mail: sen.yao@wahaha.com.cn

1 引言

橙汁饮料是最受消费者欢迎的果汁饮料之一, 世界上橙汁的消费量占果汁总消费量的一半以上^[1]。橙汁色泽诱人、口感独特, 并含有丰富的维生素、矿物质、膳食纤维、有机酸、类黄酮、类胡萝卜素等多种营养成分, 有益于维持人体身体健康^[2,3]。

橙汁由于含有大量的细胞碎片、果肉颗粒、蛋白质、橙皮苷结晶等不均匀的混合物^[4-7], 且因原料品种、成熟度及加工方式的差异而差别很大, 因此, 橙汁很容易在生产过程中产生沉淀、絮凝、分层等稳定性相关的质量问题, 从而影响生产和销售。研究认为橙汁的沉淀、絮凝等稳定性问题主要和橙汁中的蛋白、果胶酯酶等有关, 在产品中加入果胶等稳定剂可以抑制沉淀或絮凝, 增强橙汁的混浊稳定性, 选择合适的胶体组合使胶体体系与橙汁间构建良好的网络体系是解决这一问题的关键^[8-11]。利用试验设计影响橙汁絮凝、混浊体系失稳的关键胶体因子及最佳稳定体系的优化设计, 对于含果肉果汁饮料的配方设计具有重要的指导意义, 但这方面的报道很少。

均匀设计是研究多因素多水平试验最优组合的一种试验设计方法, 可用较少的试验次数完成复杂的因素、水平间的最优搭配^[12]。本文在研究不同亲水性胶体对橙汁饮料的沉淀和絮凝的基础上, 利用均匀设计筛选影响其稳定性的重要因素, 再在此基础上利用正交设计优化关键因子的水平, 最后通过选择最佳的胶体复配条件, 获得稳定性良好的橙汁饮料, 可以为相关生产提供系统的指导。

2 材料与方法

2.1 试验材料与仪器

浓缩橙汁: 巴西 CITROVITA(可溶性固形物 ≥ 65 Brix, 总酸(以一水柠檬酸计)4~5 g/100 g, 果肉含量 8%~12%)。

柠檬酸(宜兴协联生物化学有限公司)、柠檬酸钠(宜兴协联生物化学有限公司)、抗坏血酸(郑州拓洋实业有限公司)、白砂糖等其它所用原料均为国产食品级。

L4RT 型高速剪切机(英国 Silverson 公司); NS2002H TWP600 型高压均质机(美国 GEA 公司); 1580 高速离心机(德国 Eppendorf 公司); lambda35 紫外/可见分光光度

计(美国 Perkin Elmer 公司)。

2.2 试验方法

2.2.1 胶体溶液的制备

称取所需的各种胶体, 用剪切机以 3000 r/min 剪切溶解 10~15 min, 75~85 °C, 0.1%~1.0%(m:m)溶解, 直至完全溶解无不溶性固体团块, 然后冷却备用。

2.2.2 橙汁饮料的制备

以浓缩橙汁为原料, 配制 30%果汁含量的橙汁。用白砂糖和柠檬酸调整糖酸, 然后加入抗坏血酸、柠檬酸钠、香精和色素进行标准化, 加入制备好的胶体溶液, 再对样品进行均质(18 MPa)、杀菌(95 °C/30 s)和冷却。

2.2.3 橙汁稳定性的测定

(1) 橙汁的沉淀稳定性

在离心管中, 称取一定体积 V 的待测样, 以 1500 r/min 离心 10 min 后, 再以 4000 r/min 离心 10 min, 读取底部沉淀物体积 V' , 将沉淀悬浮率作为果汁沉淀稳定性的标准^[13]。

$$\text{体积沉淀率: } V'/V \times 100\%$$

$$\text{沉淀悬浮率: } Y_1 = 100\% - V'/V \times 100\%$$

(2) 橙汁的混浊稳定性

参照钟琳^[1]的方法。取待测样品在 600 nm 处测定其吸光度值 A , 将样品以 1500 r/min 离心 10 min 后, 再以 4000 r/min 离心 10 min, 取上清液在 600 nm 处测定其吸光度值 A' 。以离心前后吸光度的比值作为果汁离心混浊稳定性的标准^[13]。离心前后吸光度比值为:

$$Y_2 = A'/A \times 100\%$$

(3) 橙汁的絮凝稳定性

各样品在 55 °C 保温 72 h, 根据其絮凝情况组织 5 名有经验的人员, 分别按表 1 标准进行评分, 有效数字保留至个位; 采用 100 分制, 分数越低, 表明絮凝越严重, 分数越高越好。取 5 人评分的平均值 Y_3 作为果汁絮凝稳定性的标准。

2.2.4 胶体复配试验设计

(1) 均匀设计

根据酸性果汁中常用胶体及用量范围, 采用 DPS 进行 $U_8(8^8)$ 均匀设计^[12,14], 选取 8 个因素 8 个水平, 均匀设计的因素和水平见表 2, 按照均匀设计的表格进行组合试验(试验重复 2 次), 测定不同胶体条件下橙汁的稳定性。

表 1 橙汁絮凝稳定性评价

Table 1 Evaluation of flocculation stability of orange juice

分数段(100 分)	絮凝稳定性评价
80~100	极轻微或不明显的絮凝, 絮凝颗粒极小, 整体保持良好的混浊状态。
40~70	轻微至较明显的絮凝, 絮凝颗粒肉眼可见, 上部不透明, 絮凝颗粒可大部分悬浮于瓶中。
0~30	极明显的絮凝, 絮凝颗粒很大, 几乎不悬浮而降于底部, 上部不再保持混浊状态。

表 2 均匀设计试验因素和水平($n=2$)
Table 2 Factors and levels of uniform design experiment ($n=2$)

试验因素	水 平							
	1	2	3	4	5	6	7	8
结冷胶, $X_1/\%$	0	0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36	0.42
黄原胶, $X_2/\%$	0	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80	2.10
海藻酸丙二醇酯(PGA), $X_3/\%$	0	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80	2.10
羧甲基纤维素钠(CMC), $X_4/\%$	0	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00	2.40	2.80
果胶, $X_5/\%$	0	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80	2.10
阿拉伯胶, $X_6/\%$	0	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80	2.10
海藻酸钠, $X_7/\%$	0	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80	2.10
瓜尔胶, $X_8/\%$	0	0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36	0.42

(2) 正交设计

根据均匀设计试验结果确定正交试验的因素和水平, 见表 3, 采用 $L_9(3^4)$ 正交设计^[15], 分别以不同水平的胶体复配组合试验(试验重复 2 次)测定橙汁的稳定性。

表 3 正交设计试验因素和水平
Table 3 Factors and levels of orthogonal design experiment

试验因素	水 平		
	1	2	3
海藻酸钠, $X_7/\%$	1.20	0.60	0
结冷胶, $X_1/\%$	0.32	0.20	0
果胶, $X_5/\%$	1.60	0.80	0
黄原胶, $X_2/\%$	0.80	0.40	0

2.2.5 数据处理

利用 SAS9.1、DPS7.05 和 Minitab15 进行试验设计和数据处理及统计分析。其中, 方差分析采用 SAS Anova 过程, 显著性分析采用 Duncan 检验, $P>0.05$ 判定为差异不显著, $P<0.05$ 判定为差异显著, $P<0.01$ 差异极显著。

3 结果与分析

3.1 影响橙汁稳定性的关键因素筛选

选择酸性果汁中常用的亲水性胶体为考察对象, 包括结冷胶(X_1)、黄原胶(X_2)、海藻酸丙二醇酯(PGA, X_3)、羧甲基纤维素钠(CMC, X_4)、果胶(X_5)、阿拉伯胶(X_6)、海藻酸钠(X_7)、瓜尔胶(X_8)。按照表 2 的均匀设计水平, 选用 $U_8(8^8)$ 均匀设计, $N=8$, 控制 DPS 优化操作运行次数为 1000 次, 寻优时间为 5 min, 对设计出的表格通过“优化均匀设

计表”作进一步优化, 使均匀设计更加均匀^[12]。采用巴西高果橙浓缩汁配制果汁含量为 30% 的橙汁, 研究各胶体对橙汁沉淀悬浮能力、混浊稳定性、絮凝稳定性等的影响。试验结果见表 4。

将表 4 中的数据进行线形逐步回归分析, 得标准回归方程如下:

橙汁沉淀稳定性:

$$Y_1=1.072X_1+0.144X_2-0.109X_3+0.175X_5+0.279X_7+98.928 \quad (1)$$

橙汁混浊稳定性:

$$Y_2=10.000X_1+1.360X_2+94.520 \quad (2)$$

橙汁絮凝稳定性:

$$Y_3=8.000X_1-46.270X_2+9.320X_3-11.220X_4+13.240X_5+41.000X_8+85.610 \quad (3)$$

方程经检验显著($P<0.05$), 方程中各参数估计的显著性检验结果见表 5。由表 5 可知, 胶体对橙汁的沉淀稳定性影响大小顺序为海藻酸钠>结冷胶>果胶>黄原胶>PGA 其中, 除 PGA 为负效应外, 其它都为正效应; 瓜尔胶、阿拉伯胶和 CMC 对沉淀的影响最小, 不显著予以剔除。影响橙汁混浊稳定性的 2 个较显著的因素为结冷胶和黄原胶。影响絮凝的主要因素为黄原胶、CMC、瓜尔胶、果胶和 PGA, 其中黄原胶和 CMC 为负效应。由此表明, 在橙汁中适当的添加海藻酸钠、结冷胶、果胶、黄原胶可减少橙汁沉淀, 其中结冷胶和黄原胶有利于橙汁的混浊稳定性, 但是加入黄原胶和 CMC 会促进橙汁的絮凝, 瓜尔胶、果胶和 PGA 可一定程度防止橙汁体系的絮凝。

絮凝分析显示, 引起橙汁絮凝的主要胶体因素为黄原胶, 针对黄原胶对絮凝稳定性的影响进行二次回归拟合, 见图 1。表明黄原胶的用量水平必须控制在 0.9% 以内, 甚至可能在水平 0.3% 以内更合适。

表 4 均匀试验设计与结果(n=6)
Table 4 Results of uniform design experiment (n=6)

试验号	变量/水平								沉淀稳定性 $Y_1(\%)$	混浊稳定性 $Y_2(\%)$	絮凝稳定性 Y_3
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8			
1	6	7	1	1	6	4	2	4	99.817±0.029	99.316±0.044	31.749±3.415
2	1	5	4	8	1	3	3	3	99.167±0.058	95.417±0.792	11.848±0.319
3	7	6	6	4	2	2	8	6	100.000±0.000	99.843±0.250	35.979±2.273
4	3	4	8	3	4	6	1	8	99.150±0.150	96.289±1.006	84.583±2.035
5	2	8	5	6	8	7	6	5	99.987±0.012	99.271±0.356	15.521±2.366
6	5	2	7	5	7	1	4	1	99.533±0.058	97.090±0.277	96.203±1.386
7	4	3	3	2	3	8	7	2	99.717±0.029	97.862±0.257	71.062±2.846
8	8	1	2	7	5	5	5	7	99.953±0.006	99.258±0.233	95.531±0.813

表 5 方程中各因素的参数显著性检验
Table 5 Significant test of factor parameters in equations

代码	因素	方程(1)		方程(2)		方程(3)	
		t 值	P 值	t 值	P 值	t 值	P 值
X_1	结冷胶	4.150	0.053	4.030	0.010*	5.060	0.124
X_2	黄原胶	3.060	0.092	2.740	0.041*	-162.380	0.004**
X_3	海藻酸丙二醇酯(PGA)	-2.430	0.136	-	-	35.560	0.018*
X_4	羧甲基纤维素钠(CMC)	-	-	-	-	-58.100	0.011*
X_5	果胶	4.010	0.057	-	-	54.930	0.012*
X_6	阿拉伯胶	-	-	-	-	-	-
X_7	海藻酸钠	6.190	0.025*	-	-	-	-
X_8	瓜尔胶	-	-	-	-	31.120	0.020*

注: *为 $P < 0.05$, 有显著影响; **为 $P < 0.01$, 有极显著影响。

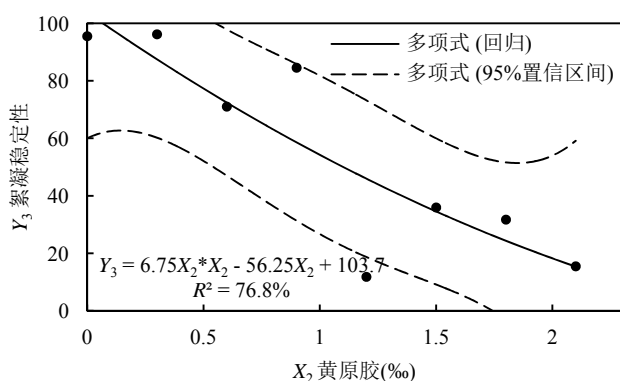


图 1 黄原胶对橙汁絮凝稳定性影响的二次拟合图

Fig. 1 Quadratic fitting graph of xanthan gum effect on flocculation stability of orange juice

因此, 综合各胶体对橙汁沉淀稳定性、混浊稳定性和絮凝稳定性的影响效应(见表 5), 在后续的优化过程中选择影响橙汁稳定性最为显著的 4 个因素海藻酸钠(X_7)、结冷胶(X_1)、果胶(X_5)和黄原胶(X_2), 进一步分析缩小各因素的水平范围, 减少水平的数量以确定最佳的胶体复配组合。

3.2 影响橙汁稳定性重要因素最优水平的确定及范围

根据关键因素的筛选试验结果, 按表 3 的因素和水平, 选用 $L_9(3^4)$ 正交设计, 以海藻酸钠(X_7)、结冷胶(X_1)、果胶(X_5)和黄原胶(X_2)4 个因素为自变量, 以橙汁的沉淀稳定性、混浊稳定性和絮凝稳定性为响应值进行测定, 不同胶体复配条件下的橙汁稳定性结果见表 6。

将表 6 中的数据进行方差分析, 方差分析结果(表 7)表明, 结冷胶和海藻酸钠对橙汁沉淀及混浊稳定性影响最大, 黄原胶对橙汁絮凝稳定性影响最大。从均值分析结果(图 2)中可以看出, 提高海藻酸钠和结冷胶的用量, 可以减少橙汁的沉淀和提高橙汁的混浊稳定性, 因此, 海藻酸钠最佳添加量为 1.2‰、结冷胶最佳添加量为 0.32‰; 增加黄原胶用量, 橙汁的絮凝程度会加速, 因此, 黄原胶的最佳用量选择 0‰, 这样可以最大程度防止絮凝; 果胶最佳添加量为 0.8‰时混浊稳定性最好, 同时不影响产品絮凝。以上结果表明, 海藻酸钠和结冷胶是影响橙汁稳定性的重要因素, 一定用量的海藻酸钠和结冷胶复配能很好地抑制产品沉淀, 维持体系混浊稳定性; 而黄原胶是引起产品絮凝的主要因素, 适量的果胶和海藻酸钠可防止絮凝形成。

综合以上分析, 在橙汁中选用海藻酸钠 1.2‰、结冷

胶 0.32‰、果胶 0.8‰、不添加黄原胶, 这样可以保证产品的沉淀最少, 混浊稳定性最高, 同时可最大程度防止絮凝。

3.3 验证性试验

采用海藻酸钠 1.2‰、结冷胶 0.32‰、果胶 1.2‰这 3 种胶体进行复配制备 30%橙汁饮料, 重复进行 3 次试验, 按 2.2.3 方法测定产品的稳定性, 其沉淀稳定性为 98.52%, 混浊稳定性为 94.89%, 絮凝稳定性评分在 85 分以上, 与上述正交设计结果的差异不显著。验证实验说明通过均匀设计实验和正交设计筛选优化的最佳胶体组合配方可靠、稳定。在 55 ℃保温 15 d, 37 ℃保温 60 d, 室温货架存放 6 个月, 产品均未出现明显絮凝, 橙汁的混浊稳定性未见肉眼可见的变化, 保温的橙汁沉淀量约 0.1%, 且沉淀较疏松, 室温货架产品几乎无沉淀, 说明经优化的复配胶体制备的橙汁具有良好的稳定性。

表 6 正交试验设计与结果($n=6$)
Table 6 Results of orthogonal design experiment ($n=6$)

试验号	变量/水平				沉淀稳定性 Y_1 (%)	混浊稳定性 Y_2 (%)	絮凝稳定性 Y_3
	X_7	X_1	X_5	X_2			
1	1	1	1	1	99.850±0.071	98.073±0.581	42.710 ±3.833
2	1	2	2	2	99.838±0.018	86.267±0.477	64.890 ±2.672
3	1	3	3	3	95.350±0.212	76.450±0.356	65.422 ±7.668
4	2	1	2	3	99.800±0.141	93.076±0.273	75.086 ±7.192
5	2	2	3	1	97.250±0.354	80.875±0.497	6.443±2.040
6	2	3	1	2	93.100±0.566	77.582±0.378	57.234 ±3.160
7	3	1	3	2	99.750±0.212	82.959±0.463	31.539±2.177
8	3	2	1	3	97.300±0.424	79.900±0.803	77.588±3.659
9	3	3	2	1	92.600±0.566	78.263±0.023	21.827±2.584

表 7 胶体对橙汁稳定性影响的方差分析(F/P)
Table 7 ANOVA analysis of effects of colloids on stability of orange juice (F/P)

试验因素	沉淀稳定性 Y_1	混浊稳定性 Y_2	絮凝稳定性 Y_3
模型	145.670/0.000**	496.390/0.000**	65.430/0.000**
海藻酸钠(X_7)	50.140/0.000**	288.910/0.000**	17.540/0.001**
结冷胶(X_1)	509.040/0.000**	1341.990/0.000**	0.250/0.782
果胶(X_5)	7.900/0.011*	267.300/0.000**	53.430/0.000**
黄原胶(X_2)	15.600/0.001**	87.370/0.000**	190.490/0.000**

注: *为 $P<0.05$, 有显著影响; **为 $P<0.01$, 有极显著影响。

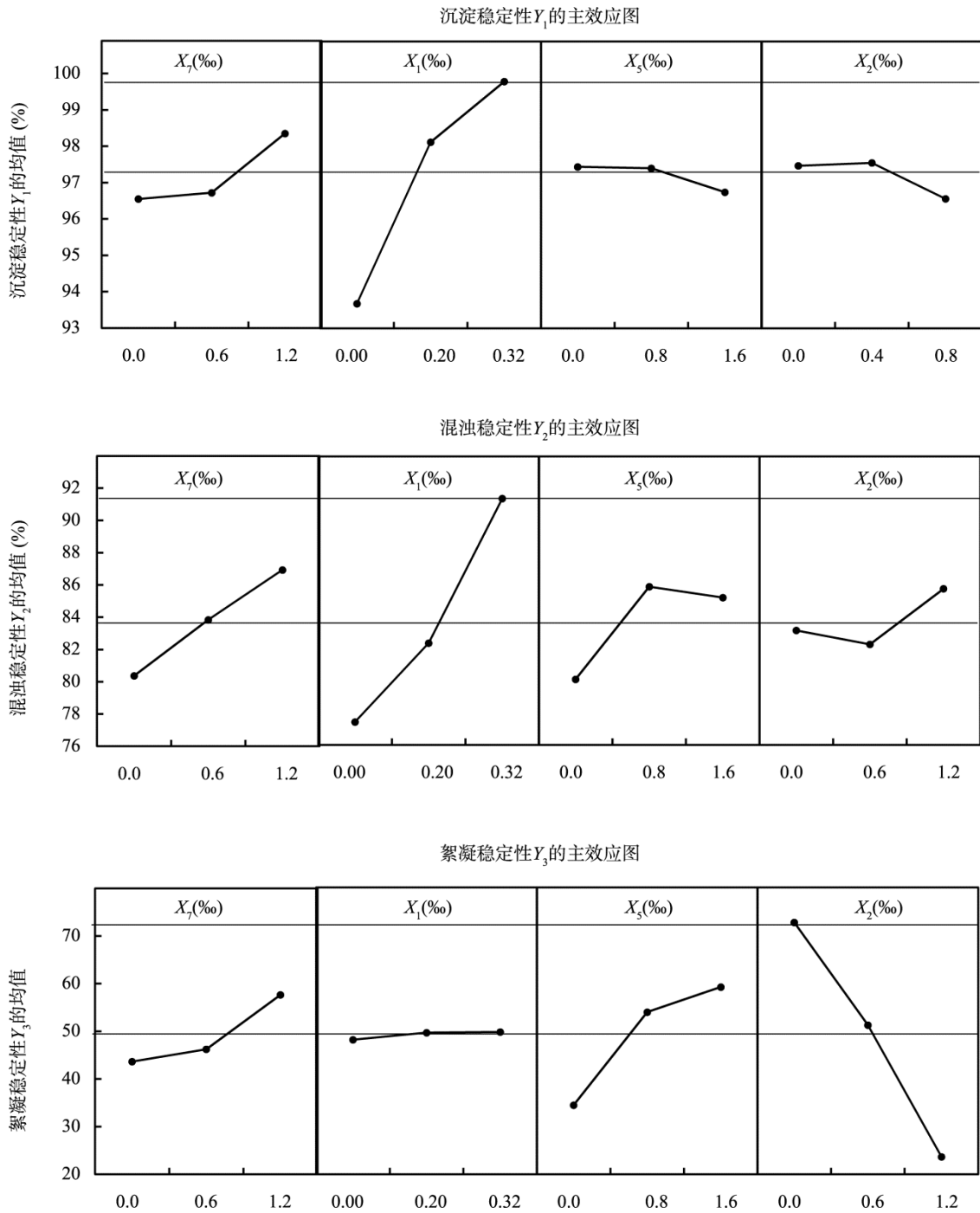


图 2 各胶体对橙汁稳定性影响的均值分析
Fig. 2 Means analysis of effects of colloids on stability of orange juice

4 结论与讨论

由均匀试验设计确认了影响橙汁沉淀的主要胶体因素为海藻酸钠、结冷胶、果胶、黄原胶, 而瓜尔胶、阿拉伯胶、CMC 的影响不显著; 结冷胶和黄原胶有利于橙汁的混浊稳定性, 黄原胶和 CMC 会促进橙汁絮凝。正交设计进

一步说明海藻酸钠和结冷胶是影响橙汁稳定性的主要因素, 黄原胶是引起产品絮凝的主要因素, 果胶和海藻酸钠一定程度上可防止橙汁的絮凝。实验表明, 适当用量的海藻酸钠、结冷胶和果胶复配制备的 30% 橙汁具有较好的保温及货架稳定性。

橙汁的沉淀、混浊和絮凝稳定性和添加的胶体种类和

数量有密切关系,同时和浓缩橙汁原料、加工工艺、离子和 pH 等也有关系^[16,17]。已有研究表明,橙子的成熟度、橙汁原料中果胶酯酶、橙皮苷、多酚、蛋白质等影响橙汁的稳定性^[18-20];均质温度和压力对橙汁的混浊、絮凝等也有显著的影响^[20];Lindsey 等^[9]研究认为,高 pH 和草酸铵能阻止果胶酸钙沉淀的形成,从而防止体系混浊丧失;尽管目前对橙汁稳定性机理作出了多方面的研究推理,但由于橙汁体系复杂,其稳定性体系特别是混浊稳定性和絮凝稳定性至今没有完全明确的机理。影响橙汁稳定性的机理及如何提高橙汁的稳定性仍需进一步探讨和研究。

参考文献

- [1] 钟琳. 橙汁混浊稳定性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
Zhong L. Study on the cloud stability of orange juice [D]. Chongqing: Southwest University, 2010.
- [2] Freedman, Mirabrishami, Mandana. Vitamin C content of refrigerated, commercially available orange juice from organically grown and conventionally grown oranges is not different [J]. *Nutr Today*, 2015, 50: 306-309.
- [3] He Z, Tao Y, Zeng M, *et al.* High pressure homogenization processing, thermal treatment and milk matrix affect in vitro bioaccessibility of phenolics in apple, grape and orange juice to different extents [J]. *Food Chem*, 2016, 200: 107-116.
- [4] Shomer I. Protein coagulation cloud in citrus fruit extraction formation of coagulates and their bound pectin and neutral sugars [J]. *J Agric Food Chem*, 1991, 39(12): 679-80.
- [5] Carbonell JV, Navarro JL, Izquierdo L, *et al.* Influence of high pressure homogenization and pulp reduction on residual pectinmethylsterase activity, cloud stability and acceptability of late orange juice: a study to obtain high quality orange juice with extended shelf life [J]. *J Food Eng*, 2013, 119(3): 696-700.
- [6] Shomer I, Tatiana-Yefremov A, Merin U. Involvement of proteins in cloud instability of Shamouti orange *Citrus sinensis* (L.) *Osebeck* juice [J]. *J Agric Food Chem*, 1999, 47(7): 2623-2631.
- [7] Croak S, Corredig M. The role of pectin in orange juice stabilization: Effect of pectin methylsterase and pectinase activity on the size of cloud particles [J]. *Food Hydrocoll*, 2006, 20(7): 961-965.
- [8] Khairallah MG, Hettiarachchy NS, Rayaprolu SJ. Stability and quality of a bioactive peptide fraction incorporated orange juice [J]. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Techno*, 2015, 66: 523-529.
- [9] Lindsey E, Louise W. Calcium and pH influence on orange juice cloud stability [J]. *J Sci Food Agric*, 2011, 91(1): 171-177.
- [10] Bagheri L. Stability and rheological properties of suspended pulp particles containing orange juice stabilized by gellan gum [J]. *J Disper Sci Technol*, 2014, 35(9): 1222-1229.
- [11] 司卫丽, 陈毓滢, 曾建新, 等. 胶体对悬浮果粒果汁饮料稳定性的影响 [J]. *食品科技*, 2008, 33(12): 74-76.
Si WL, Chen YL, Zeng JX, *et al.* Effect of colloids on the stability of fruit juice drink containing suspended fruit granules [J]. *Food Sci Technol*, 2008, 33(12): 74-76.
- [12] 李秀昌, 韩曦英, 孙健. 利用 DPS 数据处理系统进行均匀试验设计与分析 [J]. *中国卫生统计*, 2010, 27(2): 201.
Li XC, Han XY, Sun J. The uniform experiment design and analysis using data processing system [J]. *Chi J Health Stat*, 2010, 27(2): 201.
- [13] 孟倩倩, 朱文学, 郭香凤. 响应面设计法优化橙汁饮料稳定剂的研究 [J]. *食品工业科技*, 2014, 35(15): 264-268.
Meng QQ, Zhu XW, Guo XF. Formulation optimization of stabilizer of orange juice beverage by the response surface methodology [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2014, 35(15): 264-268.
- [14] 王毅, 程亮, 余兰. 均匀设计优化党参多糖硫酸酯合成工艺 [J]. *食品科技*, 2012, (10): 168-170.
Wang Y, Cheng L, Yu L. Optimization sulfate of *Codonopsis pilosula* polysaccharide by uniform-design methods [J]. *Food Sci Technol*, 2012, (10): 168-170.
- [15] 史凌云, 周婷, 徐成, 等. 正交实验法对碱性磷酸酶活性测定的优化 [J]. *生物学通报*, 2014, 49(7): 50-53.
Si LY, Zou T, Xu C, *et al.* Optimization of alkaline phosphatase activity determination by orthogonal test [J]. *Bull Biol*, 2014, 49(7): 50-53.
- [16] 周皓, 骆颖妮. PET 瓶装橙汁饮料沉淀机理与预防 [J]. *饮料工业*, 2004, 7(6): 12-15.
Zhou H, Luo YN. Causation and prevention of sedimentation in orange juice in PET bottles [J]. *Bever Ind*, 2004, 7(6): 12-15.
- [17] 向晨茜, 蒋和体. 橙汁混浊的稳定性 [J]. *食品科学*, 2010, 31(19): 106-110.
Xiang CX, Jiang HT. Cloud stability of orange juice [J]. *Food Sci*, 2010, 31(19): 106-110.
- [18] 李琳, 赵谋明, 吴永娟. 酶处理对橙汁混浊稳定性及微观结构的影响研究 [J]. *食品科学*, 2004, 25(11): 58-63.
Li L, Zhao MM, Wu YX. Effects of pectinase and protease on cloud stability and microstructure study of pasteurized orange juice [J]. *Food Sci*, 2004, 25(11): 58-63.
- [19] 姜发堂, 张声华. 橙汁中沉淀物的化学本质和前体物的研究 [J]. *湖北工业大学学报*, 1995, (3): 56-60.
Jiang FT, Zhang SH. The chemical nature and precursors of the sediment in orange juice [J]. *J Hubei Ind Technol*, 1995, (3): 56-60.
- [20] 郑氏金云, 许时婴, 谢良. 柑桔汁悬浮稳定机理的探讨 [J]. *无锡轻工大学学报*, 2002, 21(4): 400-403.
TrinhThi KV, Xu SY, Xie L. Study on the mechanism of cloud stability of orange juice [J]. *Wuxi Univ Light Ind*, 2002, 21(4): 400-403.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



姚森, 工程师, 主要研究方向为果蔬汁饮料和植物蛋白饮料的开发。

E-mail: sen.yao@wahaha.com.cn