

核桃乳的最佳存放条件探讨

赵慧博, 夏君霞, 齐兵, 路敏, 徐姗, 吴彦兵

(河北养元智汇饮品股份有限公司, 河北衡水 053000)

摘要: 为探究 PET 装核桃乳的最佳存放条件, 利用 Turbiscan Lab 稳定性分析仪测定了不同处理料液的稳定性, 通过单因素实验、正交实验及验证实验确定了存放温度、时间及照度对料液稳定性的影响及其最佳条件组合, 并解释了不同因素水平的选择、组合的可能机制。结果表明, 核桃乳产品生产后常温、照度为 30 lx 条件下, 放置 10 d, 稳定性指数值最小, 即此时料液处于最佳保存状态, 选定的三个因素中, 稳定性影响力次序为: 温度>时间>照度; 其可能的机制是, 此条件下, PET 装核桃乳非均相液体体系, 热力学上分子融合及动力学上重力分层所致不稳定性影响因素之间的制约; 料液稳定性的影响涉及乳化等具体加工工艺, 因此, 不同生产工艺的核桃乳最佳存放条件与本研究结果可能存在差异。

关键词: 核桃乳; 稳定性; 分散稳定性分析仪

文章编号: 1673-9078(2020)08-241-245

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.8.0620

Determination of the Optimal Storage Conditions for Walnut Milk

ZHAO Hui-bo, XIA Jun-xia, QI Bing, LU Min, XU Shan, WU Yan-bing

(Hebei Yangyuan Zhihui Beverage Co., Ltd., Hengshui 053000, China)

Abstract: The optimal storage conditions for walnut milk packaged in PET containers were determined by storing the products under different light and temperature conditions and then measuring their stability using a Turbiscan Lab stability analyzer. A single-factor experiment, an orthogonal experiment, and a validation experiment were then performed to elucidate the influences of the storage temperature and duration and the illumination intensity on the stability of the packaged liquids and to determine the optimal combination of storage conditions. The selection of the different factor levels and the possible mechanisms underlying the effects of the factor combination were also explained. The smallest stability index value (i.e., the optimal state of preservation for the packaged walnut milk) was achieved for storage under ambient temperature and an illumination intensity of 30 lx for 10 days after production. The degrees of influence of the selected factors decreased in the order of temperature>duration>illumination intensity, which may be explained by the following mechanism: Under these conditions, walnut milk stored in a PET container exists as a heterogeneous liquid system. Consequently, the instability caused by the thermodynamic effect of molecular fusion and the kinetic effect of gravity stratification results in mutual constraints among the various influencing factors. However, the influences on the stability of a packaged liquid are dependent on specific processing techniques, such as emulsification. Therefore, differences may exist between the results of this study and the optimal storage conditions of walnut milk obtained using different production techniques.

Key words: walnut milk; stability; dispersion stability analyzer

引文格式:

赵慧博, 夏君霞, 齐兵, 等. 核桃乳的最佳存放条件探讨[J]. 现代食品科技, 2020, 36(8): 241-245

ZHAO Hui-bo, XIA Jun-xia, QI Bing, et al. Determination of the optimal storage conditions for walnut milk [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(8): 241-245

核桃是一种营养价值很高的坚果。核桃仁中含有 20%~25% 的优质蛋白, 且富含人体必需的脂肪酸。因此, 以核桃仁为原料加工的植物蛋白饮料, 深受消费者欢迎^[1-6]。核桃乳饮料是以核桃仁、纯净水为主要原料加工制得的乳状液, 其体系以水为分散介质, 蛋白、

收稿日期: 2020-06-20

基金项目: 河北省创新能力提升计划项目 (199676203H)

作者简介: 赵慧博 (1982-), 男, 工程师, 研究方向: 生物工程

通讯作者: 夏君霞 (1975-), 女, 高级工程师, 研究方向: 食品科学与工程

脂肪为主要分散相, 具有热力学不稳定性。核桃乳体系中蛋白、脂肪是影响体系稳定性的主要因素: 其中蛋白质大分子不断聚集, 形成沉淀影响产品稳定性; 脂肪分子不溶于水, 不断聚合上浮, 形成浮油, 影响产品的稳定性。常规核桃乳生产工艺通常是通过高压均质和调配不同的稳定体系来改善产品的沉淀问题, 但是效果不明显^[7,8]。

Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪是采用穿透力极强的近红外脉冲光源 (波长 880 nm) 研究液体分散体

系稳定性的专用仪器,能快速、准确分析乳状液、悬浮液和泡沫液等体系的乳化、絮凝、沉淀和分相等现象,已广泛应用于研究乳浊液的稳定性和浓缩胶体的分散性^[9,10]。但是利用 Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪判定核桃乳稳定性的研究文献较少。核桃乳生产出来后使用 Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪检测,探究核桃乳的最佳保存条件,这些方面的研究仍较少。

本文通过采用单因素试验及正交试验等方法,对 PET 装核桃乳存放温度、存放时间、存放照度进行分析研究,以稳定性指数为指标,旨在找出最适的存放温度、存放时间、存放照度。为探究此存放条件下的核桃乳使用 Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪检测稳定性指数最小,此条件下的核桃乳处于最稳定的状态。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

核桃仁,河北养元智汇饮品股份有限公司;复配乳化增稠剂,丹尼斯克(中国)投资有限公司;白砂糖,广西大新县雷平永鑫糖业有限公司;氢氧化钠,天津坤鹏化工有限公司,分析纯;食品添加剂碳酸钠,唐山三友化工股份有限公司。

1.2 仪器与设备

METTLER TOLEDO 型 pH 计,梅特勒-托利仪器有限公司;HENC 实验室搅-HW30,上海恒川机械设备有限公司;AL204/01 电子分子天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;Turbiscan Lab(Formulation)全方位稳定分析仪,北京朗迪森科技有限公司;JMS-80A 胶体磨,廊坊市惠友机械有限公司;GYB60-6S 高压均质机,上海市东华高压均质机厂;超高温瞬时杀菌机,上海沃迪机械制造有限公司;SG400 型实验室乳化机,上海尚贵流体设备有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 核桃乳制备工艺流程

白糖、辅料

↓

核桃仁→去皮→磨浆→定容→均质→超高温瞬时杀菌→无菌冷灌装→成品

1.3.2 核桃乳稳定性的分析方法

采用 Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪对核桃乳的稳定性进行分析。通过检测样品的透射光和背散射光的光强值变化,反映样品的稳定性^[7]。当体系分散相浓度和粒径发生变化时,背散射光强值和透射光强值

也会发生相应的变化,当样品浓度不变时, $\Delta BS(\Delta T)$ 将直接反映样品中粒子随时间的变化规律, $\Delta BS(\Delta T)$ 越小,乳化体系越稳定,反之稳定性较差^[11,12];多次扫描所接受的光强的偏差用稳定性动力学指数(TSI)来衡量^[13]。 $\Delta BS(\Delta T)$ 虽然能直观反映乳化体系局部的不稳定现象,但不能量化比较多个样品的不稳定程度。TSI 是用于估计乳化体系物理稳定性的重要参数,可方便比较出不同样品间的稳定性差异^[14]。同时,稳定性动力学指数(TSI)曲线反映样品在整个扫描时间内浓度和颗粒粒径的变化幅度的综合情况,TSI 变化幅度越小,稳定性动力学指数越小,说明体系越稳定^[9,15,16]。

稳定性动力学指数是以 1 条选定时间的扫描曲线为参比曲线(系统默认以第 1 条曲线为参比)其他时间所得到的光强值按下式(1)^[17]进行计算:

$$d_1 = \frac{|scan_{ref}(h) - scan_1(h)|}{H} \quad (1)$$

式中, d_1 :稳定性动力学指数(TSI); $scan_{ref}(h)$:某测定时间的光强值(%); $scan_1(h)$:参比曲线的光强值(%); H :样品的高度(mm)。

测试过程:将待测样品放入测量池,装液量为 20 mL,选取背散射光对样品进行分析,通过扫描模式进行测量,探头从样品池的底部到样品池的顶部每隔 40 μm 测量一次,完成样品池从底部到顶部的测量称为 1 次扫描。设定样品扫描时间为 24 h,扫描间隔为 1 h,测试温度恒定为 25 $^{\circ}\text{C}$,扫描曲线第一次为蓝色,最后一次为红色^[7]。

1.3.3 存放条件对核桃乳稳定性的影响

1.3.3.1 单因素试验

将 PET 装核桃乳样品进行单因素试验,将存放温度(4 \pm 1 $^{\circ}\text{C}$ 、常温、37 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$ 、45 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$ 、55 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$)、存放时间(0 d、10 d、30 d、60 d、90 d)、存放照度(30 lx、200 lx、500 lx、2000 lx、5000 lx)列为单因素,其他条件一定的前提下,定期取出样品并摇匀后,利用 Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪进行检测,以稳定性指数为指标,进行单因素水平的试验。

1.3.3.2 正交试验

表 1 正交试验因素水平表

水平	因素		
	存放温度/ $^{\circ}\text{C}$	存放时间/d	存放照度/lx
1	10	5	30
2	常温	10	200
3	30	15	500

在单因素试验的基础上,以存放温度(A)、存放时间(B)、存放照度(C)为研究对象,采用 $L_9(3^4)$ 正交试验来研究不同条件下核桃乳的稳定性。以稳定性指数为指标,因素水平表如表1所示。

1.3.4 数据处理

实验每个处理设置3次重复,采用平均值 \pm 标准差方式。数据分析与统计使用软件 Microsoft Excel 2007。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果与分析

2.1.1 存放温度对核桃乳稳定性的影响

利用 Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪检测核桃乳在 $4\pm 1^\circ\text{C}$ 、常温、 $37\pm 2^\circ\text{C}$ 、 $55\pm 2^\circ\text{C}$,照度为30 lx的条件下,保存10 d后存放后连续扫描24 h的稳定性指数,分析其稳定性状态。

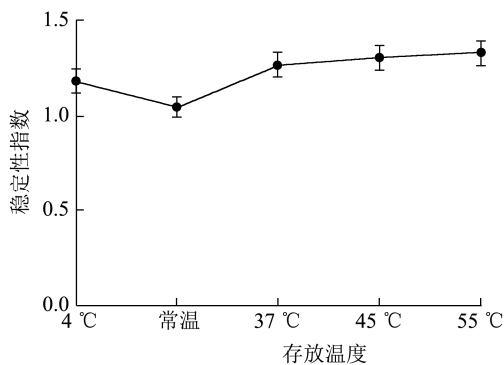


图1 核桃乳存放不同温度后的稳定性指数变化曲线

Fig.1 The curve of stability index after storage of walnut milk at different temperature

如图1所示,为核桃乳在不同温度条件下存放后测得的稳定性指数曲线。从图中可以看出,在常温下存放所测得的稳定性指数最小为1.048,而且核桃乳稳定性指数随着存放温度升高而逐渐变大,55 °C下稳定性指数最大为1.325,低温保存核桃乳的稳定性指数也较高为1.184。高喜凤^[18]研究核桃乳在改变温度等外界环境后,核桃乳的稳定性发生改变,说明核桃乳不易于低温、高温等特殊环境中储藏,为饮料储藏条件提供一定的指导依据。韩红霞^[19]研究饮料在40~45 °C的环境中保存,饮料体系中粒子的热运动加剧,粒子之间碰撞的机率增大,粒子聚结的可能性就随之增大。沉淀或油析的周期比实际常温下放置短的多。以上结论和本文利用分散稳定性分析仪检测所得规律一致。

原因分析:随着核桃乳保存温度升高,料液内蛋白粒子和脂肪颗粒的热运动加剧,粒子之间碰撞的机率增大,会打破料液内乳化体系构建的平衡状态,加

速脂肪上浮和蛋白颗粒的沉淀。而4 °C保存条件下的稳定性指数大于常温,是因为在4 °C的保存条件下脂肪处于融化和固化温度范围内,温度稍微降低就会打破脂肪分子的平衡状态,使之处于过饱和状态,而在此状态下脂肪开始形成小的晶体,逐渐生长到大晶体。所以在4 °C保存条件下料液中的脂肪球会逐渐结晶、固化,脂肪球体积平均粒径增大。最终造成产品中的脂肪上浮,从而使产品的稳定性恶化。因此,最佳的存放温度为常温,此时稳定性指数最小。

2.1.2 存放时间对核桃乳稳定性的影响

利用 Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪分析核桃乳产品在常温、照度为30 lx条件下保存0 d、10 d、30 d、60 d连续扫描24 h的稳定性数据,分析其稳定性状态。

由图2样品稳定性指数变化曲线可知,核桃乳刚灌装时稳定性指数为1.467,随着时间的增加,稳定性指数逐渐变小,存放10 d时达到最小值,稳定性指数为1.048,随着保存时间增加,产品的稳定性指数逐渐增大,存放60 d时达到1.65。因此,在存放10 d时,核桃乳的稳定性指数最小,稳定性更好。王银娟^[20]通过 Expert Turbiscan 稳定性扫描仪研究发酵乳饮料体系稳定性,研究上浮、沉淀及颗粒大小的变化。李彬^[21]分析了杀菌温度和时间对于核桃乳稳定性影响的因素,比如降低了水化作用和离子化作用,杀菌造成布朗运动加快,增加了粒子的碰撞等。以上结论和本文结论一致。

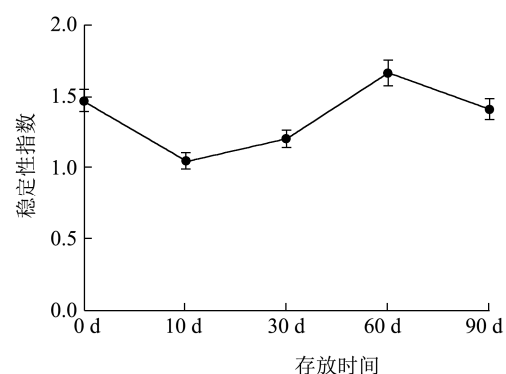


图2 核桃乳存放不同时间后的稳定性指数变化曲线

Fig.2 The curve of stability index after different storage time of walnut milk

原因分析:刚生产出来的核桃乳产品因经过杀菌高热负荷后,料液中的粒子在比较长的时间(10 d左右)内布朗运动剧烈,体系处于动态平衡状态,颗粒运行活跃,此时利用分散稳定性分析仪所测得的稳定性指数较高。当料液在存放过程中达到最终平衡时,料液达到最好的稳定性状态,所检测的结果达到最小值。此后随着时间延长,根据斯托克斯定律可知,料液中的脂肪颗粒开始逐渐上浮,大颗粒开始逐渐下沉,

造成整个稳定体系失衡, 稳定性指数开始逐渐增大。伴随着核桃乳浓度提高, 脂肪含量及大颗粒的含量都会随之提高, 同一条件下的状态也就相应的更差。

2.1.3 存放照度对核桃乳稳定性的影响

利用 Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪分析核桃乳产品在 30 lx、200 lx、5000 lx 照度条件下, 常温保存 10 d 后连续扫描 24 h 的稳定性数据, 分析其稳定性状态。

由图 3 样品稳定性指数变化曲线可知, 核桃乳样品在照度为 30 lx 的条件下, 稳定性指数最小为 1.159, 稳定性最好。核桃乳样品稳定性指数随着存放照度的增加, 逐渐变大, 在 6000 lx 条件下稳定性指数达到 1.178。光照会破坏饮料中的还原类物质, 如叶倩^[22]研究绿茶和菊花茶饮料色泽褐变机理时, 光照会加速多酚类物质的色泽褐变, 使多酚类物质被氧化, 改变多酚类物质性状。强度越大则饮料的变化越大。以上结论和本文结论一致。

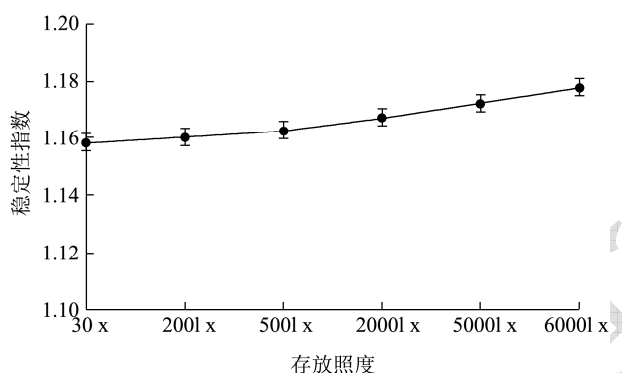


图 3 核桃乳存放不同照度下的稳定性指数变化曲线

Fig.3 The curve of stability index under different illumination of walnut milk storage

原因分析: 在较高的照度情况下, 光能量进一步促进料液分子的布朗运动, 同时促使一些容易被氧化的物质氧化, 从而改变了被氧化物质的初始性状, 一定程度上破坏乳化剂对料液中蛋白质分子和脂肪分子的保护作用, 造成料液中的脂肪上浮或者沉淀加速。所以核桃乳存放过程中, 照度越小, 料液中易被氧化的物质越不容易变性, 料液也就越稳定, 此时的稳定性指数越小。

2.2 正交试验结果与分析

从正交试验分析结果可知, 存放温度、存放时间、存放照度对核桃乳的稳定性指数有一定的影响。通过对稳定性指数的极差分析可知(见表 3), 在影响稳定性指数的 3 个因素中, 主次顺序为 A>B>C, 即存放温度的影响最大, 环境温度对于体系中蛋白质分子和脂肪颗粒的沉降和团聚提供的能量较大, 对于小分子的

团聚、上浮和下沉具有决定性的影响; 存放时间次之, 核桃乳体系稳定后, 在没有特殊能量供给的情况下, 颗粒自然上浮和下沉根据斯托克定律来说影响因素很多, 体系选好后可以保存较长时间; 存放照度的影响最小, 光照对于颗粒能量的提供, 加速了颗粒的上浮和下沉, 但是光照提供能量有限, 需要结合时间才能对料液有较大的影响。最优组合为 A₂B₂C₁, 即在存放温度常温, 存放时间 10 d, 存放照度 30 lx, 核桃乳的稳定性指数最小。

对上述最优组合做验证试验, 优化组的测定结果为稳定性指数为 1.048, 此种存放条件是核桃乳的最佳存放条件。

表 2 正交试验设计及结果

Table 2 Design and result of orthogonal experiment

实验号	A	B	C	稳定性指数
1	1	1	1	1.58
2	1	2	2	1.45
3	1	3	3	1.64
4	2	1	2	1.21
5	2	2	3	1.12
6	2	3	1	1.22
7	3	1	3	1.63
8	3	2	1	1.44
9	3	3	2	1.65
\bar{K}_1	1.557	1.473	1.413	
\bar{K}_2	1.183	1.337	1.437	
\bar{K}_3	1.573	1.503	1.463	
R	0.390	0.166	0.050	

表 3 正交试验的方差分析表

Table 3 Variance analysis of orthogonal experiment

方差来源	偏差平方和	自由度	F 值	显著性
A	0.292	2	292.000	*
B	0.047	2	47.000	*
C	0.004	2	4.000	
误差	0.00	2		

注: “*”表示差异显著 ($p < 0.05$)。

3 结论

3.1 为了确定 PET 装核桃乳最佳的存放条件, 本文通过单因素试验及正交试验分析得出最佳的保存条件, 即利用 Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪测试样品的稳定性指数曲线, 最终数据显示将核桃乳在常温、照度为 30 lx 的条件下放置 10 d 时料液达到最稳定状态。

3.2 其他原料体系的最佳测试条件, 根据原料性质和

稳定乳化体系的不同, 存在各类可能, 是否有类似规律仍需进行进一步的研究。

参考文献

- [1] Sztetko K W C, Sathe S K. Walnuts (*Juglans regia* L): proximate composition, protein solubility, protein amino acid composition and protein *in vitro* digestibility [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2000, 80(9): 1393-1401
- [2] 张文静,魏琳,袁唯.带种皮核桃乳饮料的研制[J].食品工业, 2018,39(7):50-54
ZHANG Wen-jing, WEI Lin, YUAN Wei. Development of walnut milk beverage with seed coat [J]. Food Industry, 2018, 39(7): 50-54
- [3] 周艳,赵存朝,史崇颖,等.辣木高钙核桃乳制备工艺[J].食品与发酵工业,2019,45(21):173-179
ZHOU Yan, ZHAO Cun-chao, SHI Chong-ying, et al. Preparation technology of spicy wood high calcium walnut milk [J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(21): 173-179
- [4] 李敏,刘媛,孙翠,等.核桃营养价值研究进展[J].中国粮油学报,2009,24(6):166-170
LI Min, LIU Yuan, SUN Cui, et al. Research advance about nutrients and medicinal value of walnut [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2009, 24(6): 166-170
- [5] 毛晓英,朱新荣,万银松,等.核桃蛋白的组成分析及分离提取工艺的优化[J].中国食品学报,2019,19(3):195-205
MAO Xiao-ying, ZHU Xin-rong, WAN Yin-song, et al. Analysis of the composition of walnut protein and optimization of the separation extraction process [J]. Chinese Journal of Food, 2019, 19(3):195-205
- [6] Elaine B Feldman. The scientific evidence for a beneficial health relationship between walnuts and coronary heart disease [J]. The Journal of Nutrition, 2002, 132(5): 1062-1102
- [7] 姚奎章,齐兵,路敏,等.核桃乳酶解工艺及稳定性研究[J].现代食品科技,2016,32(8):259-264
YAO Kui-zhang, QI Bing, LU Min, et al. Study on enzymatic hydrolysis process and stability of walnut milk [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(8): 259-264
- [8] 赵艳.植物蛋白饮料稳定性的研究进展[J].饮料工业,2009, 1:5-7,9
ZHAO Yan. Research progress on stability of vegetable protein beverage [J]. The Beverage Industry, 2009, 1: 5-7, 9
- [9] 王蔚瑜,周雪松,钟秀娟,等.利用 Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪研究灭菌型褐色饮料稳定性[J].中国食品添加剂, 2016,2:137-140
WANG Wei-yu, ZHOU Xue-song, ZHONG Xiu-juan, et al. Study on stability of sterilized brown beverage using Turbiscan Lab dispersive stability analyzer [J]. China Food Additives, 2016, 2: 137-140
- [10] Liangy, Gillies G, Matia M L, et al. Structure and stability of sodium-caseinate-stabilized oil-in-water emulsions as influenced by heat treatment [J]. Food Hydrocolloids, 2017, 66: 307-317
- [11] Zhao J, Xiang J, Wei T, et al. Influence of environmental stresses on the physicochemical stability of orange oil bilayer emulsions coated by Lactoferrin-soybean soluble polysaccharides and lactoferrin-beet pectin [J]. Food Research International, 2014, 66: 216-227
- [12] Fioramonti S A, Perez A A, Aringolice, et al. Design and characterization of soluble biopolymer complexes produced by electrostatic Self-assembly of a whey protein isolate and sodium alginate [J]. Food Hydrocolloids, 2014, 35: 129-136
- [13] 张金凤,刘宇键,田辉平.采用 TURBISCAN LAB 稳定性分析仪研究拟薄水铝石溶胶稳定性[J].石油炼制与化工,2011, 42(1):28-32
ZHANG Jin-feng, LIU Yu-jian, TIAN Hui-ping. Study on stability of bauxite sol with TURBISCAN LAB stability analyzer [J]. Petroleum Refining and Chemical Industry, 2011, 42(1): 28-32
- [14] 杨晋杰,邵国强,王胜男,等.TURBISCAN 分析仪评估食品乳化体系稳定性的研究进展[J].渤海大学学报(自然科学版),2019,40(3):217-223
YANG Jin-jie, SHAO Guo-qiang, WANG Sheng-nan, et al. Application and research process of TURBISCAN analyzer in evaluating the instability of food emulsification system [J]. Journal of Bohai University (Natural Science Edition), 2019, 40(3): 217-223
- [15] 王成祥,刘辉,段胜林,等.应用快速稳定性分析方法研究增稠剂对燕麦饮料稳定性的影响[J].食品与发酵工业,2018, 44(3):253-259
WANG Cheng-xiang, LIU Hui, DUAN Sheng-lin, et al. Research on the effect of thickening on the stability of oat beverage using rapid stability analysis instrument [J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(3): 253-259

(下转第 174 页)