

## 储藏条件对豆奶粉品质的影响

田少君, 卢 静, 刘培成, 谢怡斐

(河南工业大学 粮油食品学院, 河南 郑州 450001)

**摘要:** 自制大豆奶粉, 分别考察储藏温度和时间、相对湿度和时间对豆奶粉润湿性、分散性、蛋白分散指数(PDI)和干物质溶解指数(DSI)的影响。结果表明: 相对湿度对豆奶粉冲调品质的影响最为显著, 储藏时间次之, 温度的影响最小; 随着相对湿度和温度的增加, 豆奶粉的润湿性和分散性变差, PDI和DSI呈现不同程度的降低。豆奶粉的最适宜储藏条件为相对湿度25%, 温度4℃。

**关键词:** 豆奶粉; 温度; 相对湿度; 储藏时间; 品质变化

**中图分类号:** TS214.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-9841(2014)02-0269-05

## Effects of Storage Conditions on the Quality of Soymilk Powder

TIAN Shao-jun, LU Jing, LIU Pei-cheng, XIE Yi-fei

(School of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** By determining the wettability, dispersibility, protein disperse index(PDI) and drying matter solubility index(DSI), the storage quality of soy milk powder under different storage times, temperatures and relative humidities were measured. The impact of relative humidity on the quality of reconstituted quality of soy milk powder was the most significant, followed by storage time and temperature. With the increasing of relative humidity and temperature, the wettability and dispersibility of soybean milk powder decreased, while PDI and DSI reduced at different levels. The optimum storage condition was relative humidity of 25% at 4℃.

**Key words:** Soy milk powder; Temperature; Relative humidity; Storage time; Quality changes

豆奶粉是一种新型固体饮料, 综合了大豆和牛奶的营养, 具有口感细腻, 香味浓郁, 营养丰富, 携带方便等特点。速溶性是表征豆奶粉品质好坏的一个重要特征, 可以从豆奶粉的润湿性和分散性进行判定。润湿性是指润湿时间, 即豆奶粉颗粒放置在水面上被润湿所需的时间; 而分散性即分散时间, 指模拟豆奶粉冲调过程, 在一定的搅拌速度下, 豆奶粉在水中完全溶解所需的时间。受化学成分和物理性质、工艺条件以及储藏条件等的影响, 豆奶粉出现结块、冲泡不均匀、分层、沉淀、挂壁等现象, 影响其溶解度和速溶性。李祖胤等<sup>[1]</sup>研究发现油脂氧化分解产生的过氧化物与其相连的蛋白质发生反应, 使蛋白质发生氧化, 造成蛋白质功能性降低, 溶解性变差。Aguilera等<sup>[2]</sup>研究发现豆奶粉在储藏过程中发生玻璃化转变, 小颗粒粘结成大颗粒, 与水接触时表面部分迅速润湿增加粘性, 且形成浓的液膜包覆颗粒, 阻碍水的浸透及扩散, 影响润湿、分散性。本研究考察了时间、温度和相对湿度对豆奶粉润湿分散等性质的影响, 用以确定最佳储藏条件, 为延长豆奶粉的货架期提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

脱皮大豆(陕西宝鸡斗鸡粮油公司); 伊利全脂奶粉(内蒙古伊利实业集团股份有限公司); 白砂糖(市售); 小苏打( $\text{NaHCO}_3$ , 郑州君发科技有限公司); 乙酸钾( $\text{CH}_3\text{COOK}$ , 天津市风船化学试剂科技有限公司); 碳酸钾( $\text{K}_2\text{CO}_3$ , 洛阳市化学试剂厂); 溴化钠( $\text{NaBr}$ , 天津市科密欧化学试剂有限公司); 氯化钾( $\text{KCl}$ , 洛阳昊华化学试剂有限公司)。

#### 1.2 主要仪器设备

FA25 型实验室高剪切分散乳化机(上海弗鲁克流体机械制造有限公司); 喷雾干燥机 Mini Spray Dryer B-290(瑞士 BUCHI 实验室仪器公司); DM-Z80A 型浆渣分离式磨浆机(沧州昌鸿磨浆机械有限公司); 电热鼓风干燥箱(上海市实验仪器总厂); B3-A 型恒温培养箱(上海和呈仪器制造有限公司); 恒温磁力搅拌器(上海亚荣生化仪器厂); 高速冷冻离心机 Biofuge stratos(德国 Hereaus 公司)。

收稿日期: 2013-08-15

第一作者简介: 田少君(1964-), 女, 教授, 主要从事粮食、油脂与植物蛋白方面的研究。E-mail: shaojun\_tian@haut.edu.cn。

### 1.3 试验设计

1.3.1 豆奶粉的制备 参照侯佳君等<sup>[3]</sup>和周明涵等<sup>[4]</sup>的方法,称取脱皮大豆 100 g,用 25℃ 自来水以豆水比 1:4 泡豆 12 h 后,用 85 ~ 90℃ 热水煮豆 5 min,然后用同样温度热水以豆水比 1:7 磨浆,并分离豆渣。除去豆渣的豆乳配以豆浆含量 2.5% 的奶粉和 5% 的白砂糖进行高速剪切乳化,并进行喷雾干燥制备豆奶粉。

1.3.2 储藏条件的设定 在相对湿度为 25% 条件下,以储藏温度与时间为变量;在温度为 25℃ 条件下,以相对湿度与储藏时间为变量,分别测定豆奶粉的分散性、润湿性、蛋白分散指数(PDI)、干物质溶解指数(DSI)共 4 个溶解性指标变化。其中储藏温度分别设定为 -20, 4, 20, 35℃, 相对湿度为 25%、43%、65%、85%, 储藏时间为 0, 15, 30, 45, 60 d。

### 1.4 测定项目及方法

1.4.1 水分、灰分、蛋白质、脂肪含量的测定 采用 GB5009.2-85、GB/T 5009.4-1985、GB5009.5-85、GB50096-85 分别对豆奶粉水分、灰分、蛋白质及脂肪含量进行测定计算。

1.4.2 润湿性 根据吴玉营等<sup>[5]</sup>的方法,在 250 mL 烧杯中加入 70℃、100 mL 蒸馏水,然后称取 0.5 g 豆奶粉均匀平铺于水面上,测定从样品加入至样品完全沉降所需的时间(s)。

1.4.3 分散性 在 150 mL 烧杯中加入 70℃、100 mL 蒸馏水,将 5 g 豆奶粉快速倒入水中,以 20 r·min<sup>-1</sup>在恒温磁力搅拌器上搅拌,记录从搅拌开始到豆奶粉全部分散溶解所需的时间(s)。

1.4.4 蛋白分散指数(PDI) 参照张根生等<sup>[6]</sup>的方法,精确称取 5.000 0 g 豆奶粉,放于 50 mL 烧杯中。加入 70℃ 蒸馏水 30 mL,用恒温磁力搅拌器搅拌 10 min,使豆奶粉充分溶解成豆乳。将豆乳完全转入 50 mL 容量瓶中,待冷却后定容至 50 mL,充分摇匀。取 15 mL(便于测定 DSI)豆乳,放入离心机离心管中,以 3 000 r·min<sup>-1</sup>转速离心 10 min。取上清液 1 mL 消化定氮,测定上清液中蛋白质含量,计算 PDI 值。

$$PDI(\%) = \frac{\text{水分散蛋白质(g)}}{\text{豆奶粉总蛋白质(g)}} \times 100$$

1.4.5 干物质溶解指数(DSI) 在 1.4.4 节中,经离心后的上清液用于测定豆奶粉 PDI 值,将下层沉淀用蒸馏水充分洗涤,将沉淀以及洗涤液完全转入铝盒中,在 105℃ 条件下将沉淀烘干至恒重,计算 DSI 值。

$$DSI(\%) = \frac{\text{豆奶粉总质量(g)} - \text{沉淀烘干质量(g)} \times 10/3}{\text{豆奶粉总质量(g)}} \times 100$$

### 1.5 统计分析

使用 SPSS 16.1 统计软件进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 原料大豆及豆奶粉成分分析

由表 1 可知,原料大豆的主要成分是蛋白质、碳水化合物和脂肪,而豆奶粉中则以碳水化合物居多,主要是由于为了提高其溶解性加入一定量的白砂糖所致。

表 1 大豆及豆奶粉组成

Table 1 Composition of soybean and soy milk powder

材料 Material	灰分 Ash/%	水分 Moisture/%	脂肪 Fat/%	蛋白质 Protein/%	碳水化合物 Carbohydrate/%
大豆 Soybean	4.44	2.77	21.32	41.81	29.66
豆奶粉 Soy milk powder	2.77	2.05	16.52	22.17	56.49

### 2.2 储藏温度与时间对豆奶粉品质的影响

2.2.1 润湿性 豆奶粉的润湿性是一项近似测定法,可以迅速衡量豆奶粉是否具有速溶性。如图 1 所示,在不同温度下,润湿时间随储藏时间的延长而显著增加( $P < 0.05$ ),说明冲调等量的豆奶粉所需时间延长,润湿性变差。且 35℃ 储藏 30 d 以上时

豆奶粉的湿润时间明显高于其他处理。4℃ 处理随储藏时间延长对豆奶粉润湿性影响较小。

2.2.2 分散性 如图 2 所示,分散时间随储藏时间的延长显著增加( $P < 0.05$ )。其中 -20℃ 处理储藏 30 d 以上时分散性变差最为明显。4℃ 处理随储藏时间延长对豆奶粉分散性影响较小。

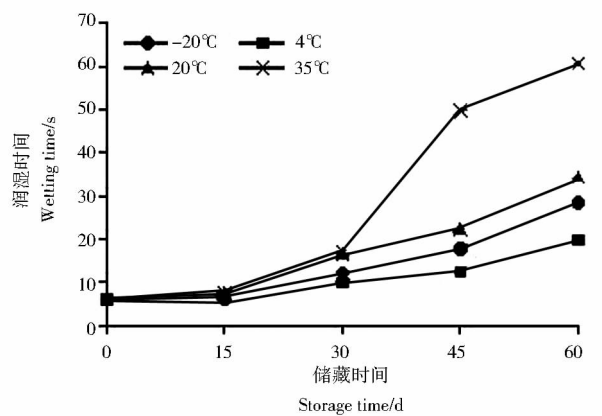


图1 温度对豆奶粉储藏期间润湿性的影响

Fig. 1 Effects of temperature on the wettability of soy milk powder during storage

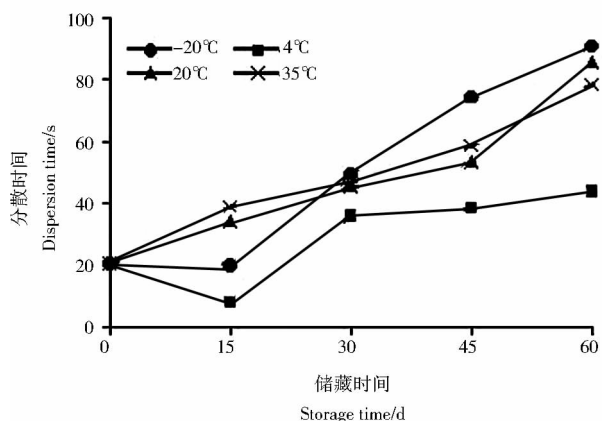


图2 温度对豆奶粉储藏期间分散性的影响

Fig. 2 Effects of temperature on the dispersibility of soy milk powder during storage

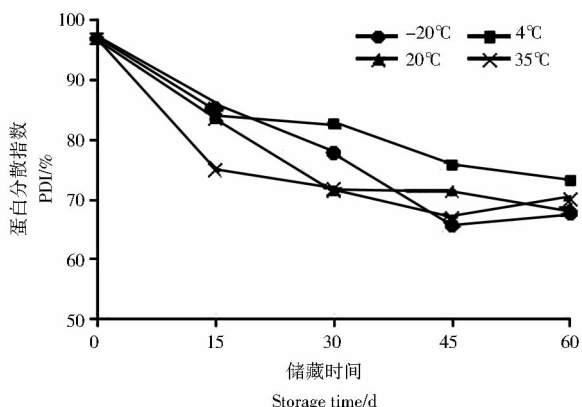


图3 温度对豆奶粉储藏期间 PDI 的影响

Fig. 3 Effects of temperature on the PDI of soy milk powder during storage

2.2.3 蛋白分散指数 蛋白质作为有机大分子分子化合物,在水中以分散态(胶体态)存在,因此蛋白质在水中无严格意义上的溶解度,只是将蛋白质在水中的分散量或分散水平相应的称为蛋白质的

溶解度。而豆奶粉作为一种蛋白、脂肪与碳水化合物等形成的混合颗粒,在水中也以蛋白质分散指数表征其溶解度。由图3看出豆奶粉在不同温度条件下储藏,PDI均随时间的增加而显著降低( $P < 0.05$ )。在4°C时PDI降低缓慢,而35°C条件下PDI降低程度最大,品质恶化最显著,与豆奶粉润湿性变化程度相似。

2.2.4 干物质溶解指数 由图4可以看出,豆奶粉的DSI随时间的延长均显示不同程度的降低,在0~45 d时变化最为显著( $P < 0.05$ )。以35°C处理时豆奶粉DSI降低最为明显,4°C条件处理时,随储藏时间的延长DSI变化最小。

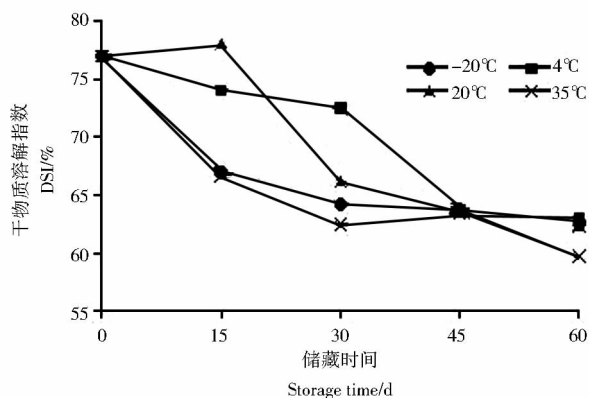


图4 温度对豆奶粉储藏期间 DSI 的影响

Fig. 4 Effects of temperature on the DSI of soy milk powder during storage

## 2.3 环境湿度与时间对豆奶粉品质的影响

2.3.1 润湿性 由图5可以看出,随着储藏时间的延长,豆奶粉的润湿时间逐渐增加,呈上升趋势,并随着相对湿度从25%增加到65%,豆奶粉的润湿时间增加更为显著,即冲调性和溶解性均显著降低( $P$

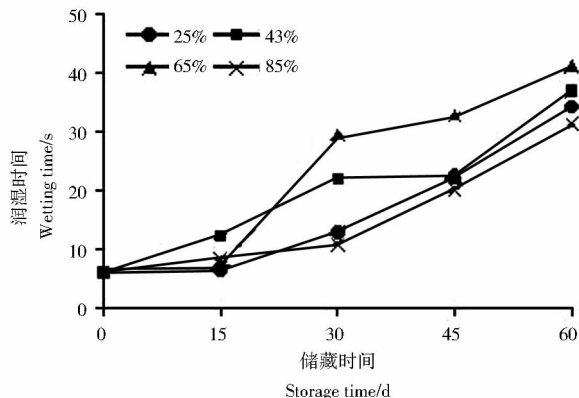


图5 相对湿度对豆奶粉储藏期间润湿性的影响

Fig. 5 Effects of relative humidity on the wettability of soy milk powder during storage

(<0.05)。而在相对湿度为85%的条件下储藏30 d之后,由于豆奶粉出现聚集、结块,使豆奶粉容重增加,在水中迅速下沉造成润湿时间快速增加。这说明豆奶粉中含水量对润湿溶解具有“特殊增速”作用。

2.3.2 分散性 由图6可以看出,豆奶粉的分散时间随着储藏时间的延长显著增加( $P < 0.05$ ),说明豆奶粉分散性降低。当在85%的相对湿度储藏60 d时,豆奶粉分散性变化最大,分散时间增加约10倍,而其他湿度条件下其分散时间只增加2~4倍。

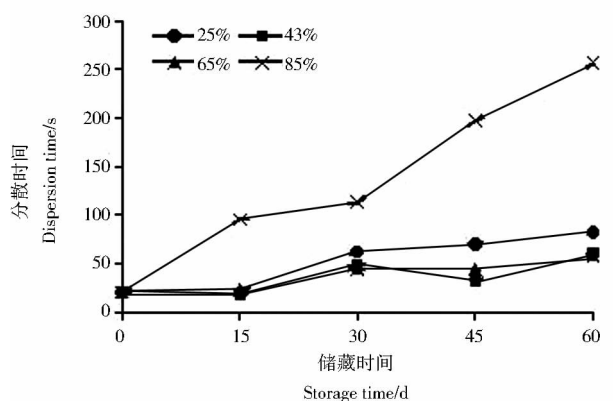


图6 相对湿度对豆奶粉储藏期间分散性的影响

Fig. 6 Effects of relative humidity on the dispersibility of soy milk powder during storage

2.3.3 蛋白分散指数 由图7可知,在不同相对湿度条件下,豆奶粉的PDI随着储藏时间的增加呈现显著下降趋势( $P < 0.05$ ),并且当相对湿度为85%时,豆奶粉的PDI降低最明显。

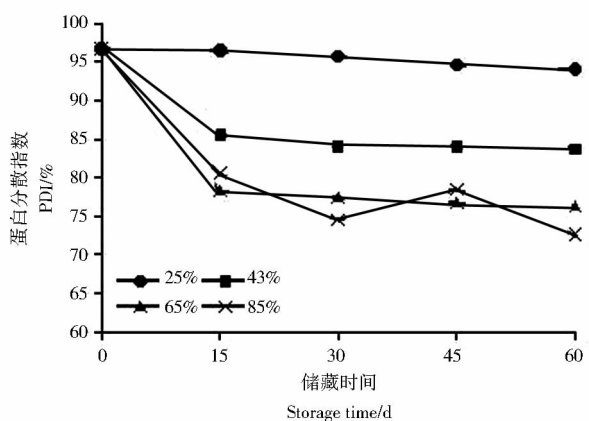


图7 相对湿度对豆奶粉储藏期间PDI的影响

Fig. 7 Effects of relative humidity on the PDI of soy milk powder during storage

2.3.4 干物质溶解指数 从图8可以看出,在不同

相对湿度条件下,随着储藏时间的增加,豆奶粉的DSI呈现显著下降趋势( $P < 0.05$ )。相对湿度越大,DSI变化程度越大,相对湿度85%时的DSI是相对湿度25%时的近4倍。

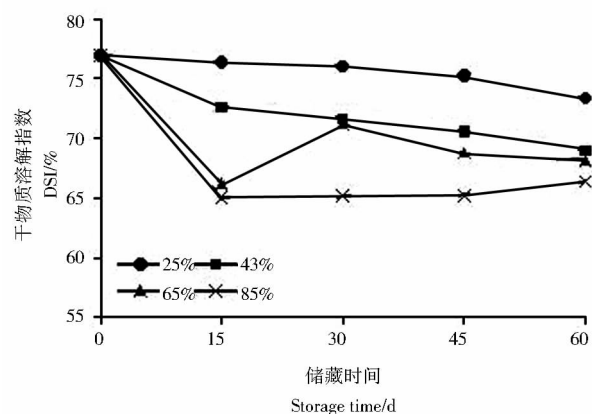


图8 相对湿度对豆奶粉储藏期间DSI的影响

Fig. 8 Effects of relative humidity on the DSI of soy milk powder during storage

## 2.4 相对湿度、温度与时间影响豆奶粉冲调品质的显著性分析

在不同温度与相对湿度储藏实验中,豆奶粉冲调品质发生不同变化,将实验结果进行方差分析,分别分析储藏时间、温度及相对湿度对豆奶粉4个指标影响的显著性(结果未列出)。结果表明:储藏温度对豆奶粉润湿性、分散性有显著影响( $F > F_{0.05(3,12)} = 3.49$ ),对PDI、DSI有显著影响( $F > F_{0.01(3,12)} = 2.61$ )。相对湿度对豆奶粉润湿性有显著影响( $F > F_{0.05(3,12)} = 3.49$ ),对分散性、PDI、DSI有极显著影响( $F > F_{0.01(3,12)} = 5.95$ )。时间对豆奶粉润湿性、分散性、PDI、DSI有显著影响( $F > F_{0.05(4,12)} = 3.26$ )。综上所述,相对湿度对豆奶粉冲调性的影响大于储藏时间的影响,而温度对豆奶粉冲调品质的影响最小。

## 3 结论与讨论

通过实验研究,确定温度为4℃,相对湿度为25%是豆奶粉的最佳储藏条件,而且在此条件下储藏时间越短,豆奶粉冲调品质变化越小。在不同温度下随着储藏时间的延长,润湿性和分散性明显下降,DSI和PDI也呈下降趋势,在-20℃和35℃条件下变化较4℃和20℃更为明显。可能是因为豆奶粉的喷雾干燥工艺,使蛋白质因高温脱水作用导致水合水受到破坏,保护性水化膜脱去,不可避免使豆奶粉的复水性降低,导致豆奶粉分散性与润湿性下

降<sup>[7]</sup>。其次,由于豆奶粉长时间高温储藏,其中油脂容易发生氧化,油脂氧化分解产生的过氧化物进一步与其相连的蛋白质发生反应,使蛋白质也发生不同程度的氧化,从而使蛋白质功能性降低,造成豆奶粉 DSI 和 PDI 等进一步降低<sup>[8]</sup>;再次,长时间高温储藏也不同程度破坏了蛋白质中的氢键、离子键、二硫键等相互作用,使蛋白质亚基缺失,分子发生变性,促使分子内部的疏水基团、巯基暴露出来,从而加剧豆奶粉的溶解性降低<sup>[9]</sup>。而在-20℃的低温条件下,豆奶粉溶解性降低,则是因为冰晶与蛋白质的结合水的相互作用,蛋白质水合层的水分子向冰晶方向移动,发生脱水合现象,使蛋白质的水合构造遭到破坏,从而使蛋白质的高级结构发生改变,蛋白质的功能性受到影响,润湿性下降<sup>[10]</sup>。

在不同相对湿度条件下随着储藏时间的延长,润湿时间和分散时间也逐渐延长,DSI 和 PDI 呈下降趋势,并且随着相对湿度的增加,豆奶粉冲调品质劣变越显著,并且相对湿度比储藏温度对豆奶粉储藏品质的影响更为显著。这是因为除上述影响外,大豆蛋白的吸水特性使豆奶粉在不同湿度条件下吸收空气中的水分,复聚、粘团结块,使得豆奶粉颗粒容重增加,在水中加速沉降,难以均匀分散,从而导致溶解性降低<sup>[11]</sup>。由此可以判定豆奶粉品质劣变过程中含水量起主导作用。

## 参考文献

- [1] 李祖胤,曾茂茂,何志勇. 长期贮藏大豆分离蛋白溶解性下降原因探讨——大豆分离蛋白中微量油脂氧化的影响[J]. 食品与发酵工业,2012,38(6):12-16. (Li Z Y, Zeng M M, He Z Y. The decreasing of soy protein isolate's solubility during long-term storage-the effects of lipid oxidation in SPI[J]. Food and Fermentation Industries,2012,38(6):12-16. )
- [2] Aguilera J M, De-valle J M, Karel M. Caking phenomenon in amorphous food powders[J]. Trends in Food Science & Technology, 1995,6(5):149-155.
- [3] 侯佳君,李洪启,董良杰. 浅述中老年豆奶粉生产工艺[J]. 现代化农业,2006(5):44-45. (Hou J J, Li H Q, Dong L J. Brief introduction on the process for production of middle-aged soybean milk powder[J]. Modernizing Agriculture,2006(5):44-45. )
- [4] 周明涵,林治海. 无糖速溶豆粉生产技术[J]. 大豆通报,2001(4):24. (Zhou M H, Lin Z H. Manufacture technology of instant sugar-free soybean milk powder [J]. Soybean Bulletin, 2001(4):24. )
- [5] 吴玉营. 无腥无糖速溶豆奶粉的研制[D]. 无锡:江南大学,2004. (Wu Y Y. Research and development of sugar-free and beany-free instant soybean milk powder[D]. Wuxi:Jiangnan University,2004. )
- [6] 张根生,赵全,李继光. 影响大豆分离蛋白分散性因素的研究[J]. 食品工业科技,2006,27(3):83-85. (Zhang G S, Zhao Q, Li J G. Studies on the influencing factors on dispersibility of soybean protein isolate[J]. Science and Technology of Food Industry, 2006,27(3):83-85. )
- [7] 李秋菊. 食品化学简明教程及实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2005. (Li Q J. Food chemistry concise tutorials and experimental guidance[M]. Beijing: Agricultural Press,2005. )
- [8] Foster K D, Bronlund J E, Paterson A H J. The contribution of milk fat towards the caking of dairy powders [J]. International Dairy Journal,2005,15:85-91.
- [9] 石彦国,宿晨,孙冰玉,等. 高温高湿对不同包装大豆分离蛋白组分及溶解性的影响[J]. 食品科学,2010,31(19):54-58. (Shi Y G, Su C, Sun B Y, et al. Effect of storage under high temperature and humidity on the composition and solubility of soy protein isolate packaged in different ways[J]. Food Science,2010,31(19):54-58. )
- [10] 秦华明,宗敏华,梁世中. 糖在蛋白质药物冷冻干燥过程中保护作用的分子机制[J]. 广东药学院学报,2001,17(4):305-307. (Qin H M, Zong M H, Liang S Z. The protection molecular mechanism of sugar in the protein drug during freeze-drying[J]. Journal of Guangdong Pharmaceutical University, 2001, 17(4):305-307. )
- [11] Esther H J K, Chen X D, David P. Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 3. Changes in the surface composition during long-term storage[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 94:182-191.