

# 蛋白预涂油膜对营养棒储藏品质的影响

谢琪<sup>1</sup>, 蒋晓杰<sup>2</sup>, 甘凌<sup>1</sup>, 杨鹏<sup>3</sup>, 孟祥河<sup>1\*</sup>

(1. 浙江工业大学海洋学院, 杭州 310014; 2. 杭州市粮油中心检验监测站, 杭州 310000;  
3. 杭州衡美食品科技有限公司, 杭州 310026)

**摘要:** 目的 为改善高蛋白营养棒的储藏稳定性, 研究了乳蛋白预涂油膜对营养棒硬化及色变的改善效果, 并探讨了可能的机制。方法 将高蛋白营养棒分为对照组和预涂层组, 两组都放于 37 °C 恒温箱中储存 35 d, 定期取出样品, 并对其硬度、色差、有效赖氨酸、游离巯基进行监测及电泳分析蛋白变化。结果 相对于对照组样品, 预涂层营养棒储存 35 d 后硬度增加及亮度降低分别减少了 24.14% 和 11.55%, 尤其储藏初期, 硬化速度明显低于对照组( $P<0.05$ )。游离巯基保留率显著高于对照组 12.11%( $P<0.05$ ), 表明蛋白质分子交联程度弱。对于有效赖氨酸保留率, 预涂层组亦明显高于对照组 5.21%( $P<0.05$ ), 表明其美拉德反应部分受到抑制, 因此产品颜色保持较好, 此外因美拉德反应引起的蛋白聚合、棒硬化得以改善。结论 蛋白预涂油层对于改善高蛋白营养棒储存质量是有效的, 其机制可能是通过减缓蛋白之间的交联及蛋白与还原糖之间的美拉德反应来实现的。  
**关键词:** 高蛋白营养棒; 品质; 美拉德反应; 蛋白交联

## Quality improvement of high-protein nutrition bars during storage by pre-coating of protein with coconut oil

XIE Qi<sup>1</sup>, JIANG Xiao-Jie<sup>2</sup>, GAN Ling<sup>1</sup>, YANG Peng<sup>3</sup>, MENG Xiang-He<sup>1\*</sup>

(1. Ocean College, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; 2. Testing and Monitoring Station of Hangzhou Grain and Oil Inspection Center, Hangzhou 310000, China; 3. Hangzhou Hengmei Food Science and Technology Co., Ltd., Hangzhou 310026, China)

**ABSTRACT: Objective** To improve the quality of high-protein nutrition bars during storage, impact of pre-coating of protein with coconut oil on hardness and color were studied, and the possible mechanism was explored in this study. **Methods** The high-protein nutrition bars were divided into two groups: the control and the coated, both of them were put in an incubator chamber at 37 °C for 35 days. During the storage, the bars were taken out regularly and measured the hardness, color, reactive lysine, free sulfhydryl group, as well as the SDS-PAGE. **Results** The hardness increase and L\* decrease could be reduced by 24.14% and 11.55% compared with control when coated samples stored for 35 days. The improvement is especially significant at the early stage of storage. There was a 12.11% decrease for free sulfhydryl group loss in experimental group, which verified the decrease of the intermolecular cross-linking by protein coating. As for the reservation of free reactive lysine analysis, the loss of reactive lysine of the coated was 5.21% less than the control, which suggested Maillard reaction was suppressed to some extent, so the products kept fit color after storage. In addition, the protein aggregation and bars hardening caused by Maillard reaction were improved. SDS-PAGE showed that the degree of protein aggregation and denaturation was lower compared to the

\*通讯作者: 孟祥河, 博士, 教授, 主要研究方向为食品安全与快速检测技术, 脂质化学与生物活性物质, 粮食、油脂与植物蛋白工程。E-mail: scidream@126.com

\*Corresponding author: MENG Xiang-He, Ph.D, Professor, Ocean College, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China. E-mail: scidream@126.com

control. **Conclusion** The improvement of the high-protein bars storage quality by pre-coating of protein with coconut oil was effective. It was accomplished possibly through protecting the proteins from the cross-linkage and the Maillard reaction between the proteins and reducing sugars.

**KEY WORDS:** high-protein nutrition bars; quality; Maillard reaction; protein cross-linkage

1 引言

高蛋白营养棒是一种主要由蛋白质、碳水化合物、脂肪和保湿剂等成分构成的食品。高蛋白营养棒具有营养价值高、可快速提供能量、体积小、质量轻等优点,因此能够满足运动员、户外人员以及减肥人群的能量及营养需求。据有关文献报道,如今高蛋白营养棒在运动营养、增强肌肉、膳食补充和减肥市场占有率快速增加<sup>[1]</sup>,但是因为高糖、高蛋白,高蛋白营养棒在储藏过程中会发生一系列的物理化学反应,如美拉德反应、蛋白交联等,导致营养棒的质地硬化,口感变差,消费者难以接受。

近几年,高蛋白营养棒在储藏过程中的质地变化问题逐渐引起了国内外学者的重视,并开展了相关的研究。高蛋白营养棒的硬化机制主要包括糖结晶假说<sup>[2]</sup>、相分离<sup>[3]</sup>、水分迁移假说<sup>[4-6]</sup>、美拉德反应<sup>[7]</sup>以及蛋白聚集<sup>[7,8]</sup>等。有研究发现营养棒的硬化分为 3 个阶段,分别是前、中、后期。水分迁移是导致硬化初期的主要原因,而在储藏的中后期,美拉德反应和蛋白交联是主要因素<sup>[6]</sup>,可见,高含量的蛋白在硬化原因中起着重要角色。据文献报道,挤压工艺对减缓营养棒的硬化具有一定的效果<sup>[9]</sup>,但是在具体的食品体系中,综合成本考虑,目前针对蛋白引起硬化的实际研究和改变营养棒的制备方法试验相对较少。本研究通过蛋白预涂油膜的改善手段研究其对高蛋白营养棒储藏品质的影响,进而探究改善高蛋白营养棒硬化的机制,为提高营养棒的储藏稳定性提供参考。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

乳清蛋白粉、麦芽糖浆、椰子油、甘油、大豆磷脂(食品级,杭州衡美食品科技有限公司);邻苯二甲醛(OPA)、十二烷基硫酸钠(SDS)、5,5'-二硫代双(2-硝基苯甲酸)(DTNB)(分析纯,美国 Sigma 公司);95%乙醇、硼

酸钠、β-巯基乙醇、三羟甲基氨基甲烷(Tris)、甘氨酸(分析纯,国药集团)。

TA-XT Plus 物性测试仪(英国 Stable Micro Systems 公司);罗卓尼克台式水分活度仪(瑞士 Rotronic 公司);紫外-可见分光光度计(SP-75)(上海光谱仪器有限公司);UltraScan PRO 色差仪(上海信联创作电子有限公司);Allegra 64R Centrifuge 离心机(美国 Beckman Coulter 公司);SPX-150B-Z 型恒温培养箱(上海博迅实业有限公司医疗设备厂);电泳仪(Mini-PROTEIN Tetra Electrophoresis System)(美国伯乐公司)。

2.2 试验方法

2.2.1 高蛋白营养棒的制备

两组高蛋白营养棒的配方如表 1 所示。

①对照组

先将椰子油和大豆磷脂进行溶化混匀,然后将称量好的麦芽糖浆、甘油加入混合器混匀,再将称量好的乳清浓缩蛋白粉加入,混合均匀使各原料成为均匀体后成型、室温下平衡 2~3 h,脱模、切割成条状,规格为 30 g/根,最后铝箔包装,制得高蛋白营养棒。

②预涂层组

预涂层营养棒的制作过程与对照组相似,不同之处在于营养棒在混料过程中预先将一半乳清浓缩蛋白与溶化后的椰子油用混匀机搅拌 15min,以期在部分蛋白颗粒表面包裹上一层油膜,在一定程度上降低蛋白颗粒与体系中的其他成分的直接接触机会,减少体系中蛋白参与的反应,抑制因蛋白引起的硬化。

2.2.2 质构测定

将样品从恒温培养箱中取出,每组样品随机取 3 根,室温平衡约 2 h,平衡后利用 TA-XT Plus 物性仪测定其硬度。探头为圆柱形(P/4 探头),直径 4 mm,下压速度 1 mm/s,深度为 10 mm,样品硬度以下压过程中的最大应力来表征。每个样品取 3 个测量点<sup>[10]</sup>,经计算后绘制硬度变化曲线。

表 1 高蛋白营养棒的配方  
Table 1 The formula of high-protein nutrition bars

样品	配方				
	乳清蛋白粉	麦芽糖浆	椰子油	甘油	大豆磷脂
高蛋白营养棒	45%	48%	4%	2%	1%

### 2.2.3 色差测定

定期将样品从恒温培养箱中取出,每种样品随机取3根,室温下放置约2 h,平衡后利用色差仪进行样品体系白度值 $L^*$ 、红绿值 $a^*$ 和黄蓝值 $b^*$ 的测定,每次测量前对色差仪进行校准。经计算后分别绘制 $L^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ 值变化曲线。

### 2.2.4 水分活度测定

利用罗卓尼克台式水分活度仪进行水分活度的测定。首先粉碎后的样品平铺满于PS-40取样杯中,而后放入WP-40测量舱中,盖上HC2-AW水活型探头进行测定,待显示器上温度与水分活度都稳定后记录下水分活度示数,平行组做三次,最后绘制曲线图表示水分活度在储藏过程中的变化。

### 2.2.5 有效赖氨酸测定

本研究采用OPA分光光度法测定有效赖氨酸保留率<sup>[11,12]</sup>。两组样品各取3根,粉碎后备用,并按以下方法测定:称取1 g样品溶于50 mL的2% SDS溶液,在4000 r/min下离心30 min,取上述清液100  $\mu$ L与4 mL现配的OPA试剂(80 mg邻苯二甲醛,2 mL95%乙醇,50 mLpH为9.00.1 mol/L硼酸钠溶液,0.2 mL $\beta$ -巯基乙醇,10 mL SDS溶液)混合,在室温下反应2 min,以OPA试剂作为空白组,测定340 nm波长下的吸光值。以第0 d的吸光值(初始 $A_{340}$ )为基准,有效赖氨酸保留率的计算公式如下:有效赖氨酸保留率(%)=[(样品 $A_{340}$ -空白 $A_{340}$ )/(初始 $A_{340}$ -空白 $A_{340}$ )]\*100

### 2.2.6 游离巯基测定

采用Ellman试剂法测定游离巯基<sup>[9]</sup>并作稍微改动。两组营养棒随机各取2根,室温下放置约2 h,平衡后取1.0 g样品与50 mL Tris-Gly缓冲液混合,样品溶解后取1 mL样液再加入4 mL Tris-Gly缓冲液和50  $\mu$ L DTNB试剂,并在25  $^{\circ}$ C下暗处振荡混合1 h,离心取上述清液,以DTNB试剂作为空白组,测定412 nm波长下的吸光值。与有效赖氨酸保留率的计算方法类似,得到游离巯基的保留率。

### 2.2.7 十二烷基磺酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)分析

方法参考文献<sup>[7]</sup>并稍作修改。取0.5 g高蛋白营养棒与50 mL的2% SDS-磷酸盐溶液混合,浓度调至为10 mg/mL。将待测样液与5 $\times$ 样品缓冲液1:1(V/V)混合,在100  $^{\circ}$ C下煮沸10 min,冷却备用。电泳胶采用4%浓缩胶和12%分离胶,上样量15  $\mu$ L。恒压电泳,初始电压为80 V,待样品带迁移至分离胶和浓缩胶分界线,调节电压为120 V。电泳结束后,采用考马斯亮蓝R250染色液(0.125%的考马斯亮蓝R250,10%乙酸,25%甲醇)染色30 min,10%甲醇-10%冰醋酸进行脱色至条带清晰<sup>[13]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 高蛋白营养棒的品质测定

硬度和色泽是鉴定食品品质的重要指标。硬度是指使

高蛋白营养棒达到一定变形所需的力,以TPA测试时第1次压缩样品时的压力峰值,是评价营养棒质构的主要指标<sup>[14]</sup>,而食品的色泽是人的感官评价食品品质的一个重要因素,两组高蛋白营养棒在储藏期间的硬度变化及色差值变化分别见图1和图2、3、4。

由图1可知,在37  $^{\circ}$ C储藏温度下,两组高蛋白营养棒的硬度均随储藏时间的延长而逐渐上升,两组体系在储藏阶段的硬度变化可分为3个阶段,在储藏初期(0~14 d)和后期(28~35 d)硬度变化较大,而储藏中期(14~28 d)的硬度变化有所减缓。两者相比,预涂层组的硬度增加的幅度比对照组减少24.14%,预涂层组营养棒的硬化速率整体比对照组慢,硬化初期尤为显著( $P<0.05$ )。这表明采用蛋白预涂油膜的方法在硬化初期能够有效保护好体系中的蛋白,使营养棒的硬化程度降低,起到改善营养棒品质的作用。

类似地,对于营养棒色泽的保持情况,预涂层组亦占优势,图2显示随着储藏时间的延长,两组营养棒体系的 $L^*$ 值逐渐降低,颜色逐渐加深。这是由于乳清蛋白中富含乳糖及活性赖氨酸较易发生美拉德反应,产生类黑色素物质使营养棒色泽逐渐加深<sup>[15]</sup>。对比2组不同体系的样品,发现两者在色泽变化上有一定的差异,预涂层组的营养棒的 $L^*$ 值降低幅度较小,这可能是由于蛋白预包裹可阻碍体系中美拉德反应的进行。此外,我们比较了两组营养棒在储藏期间的红绿值 $a^*$ (正值偏红,负值偏绿)和黄蓝值 $b^*$ (正值偏黄,负值偏蓝),如图3、4所示, $a^*$ 、 $b^*$ 均为正值且随着储藏时间的延长,数值逐渐增大,说明2组营养棒颜色趋向变红变黄,但趋势逐渐变缓,此变化的主要原因是美拉德反应初期产生的反应产物使样品变黄,但在后期美拉德反应的产物为黑色素类物质,黑色加深导致红黄色被部分掩盖。预涂层组的 $a^*$ 、 $b^*$ 值变化要显著小于对照组( $P<0.05$ ),这进一步说明美拉德反应程度相对较低,导致硬化的程度也相对下降,这说明预涂油膜可减缓营养棒硬化。

综上所述,可以发现蛋白预涂油膜对营养棒储藏的品质具有改善效果,因此本研究将从高蛋白营养棒的硬化机制考虑,由蛋白引起硬化的主要原因是美拉德反应及蛋白交联等,为进一步衡量体系中美拉德反应的程度,后期实验会定期测定样品在储藏期间有效赖氨酸保留率的变化情况,而蛋白交联程度则可由游离巯基的变化及电泳分析得到。

### 3.2 水分活度变化

高蛋白营养棒在储藏期间的水分活度变化见图5。两组营养棒的水分活度均保持在0.55~0.66之间,如此可抑制微生物的生长与繁殖,使营养棒具有良好的保藏性<sup>[5]</sup>。从图中看出两组营养棒的水分活度在第7天都有小幅度的下降,这可能是由于在营养棒制作过程中,产品表面水分与蛋白粉混合均匀,含水量较多,而内部则相对较少。储藏初期水分子向蛋白颗粒内部迁移,与内部蛋白相结合,从而导致游离水分子减少,水分活度降低。而在储藏中后期,水分活

度增加主要是由于体系中美拉德反应导致,美拉德反应会产生水分,水分含量的增加会导致水分活度增大,此外,样品虽密封储藏,但也会因一部分的水分从样品中蒸发使水分含量减少而导致水分活度降低,因此,两组营养棒在储藏期间的水分活度基本保持一定动态稳定性。

### 3.3 有效赖氨酸测定

高蛋白营养棒中有效赖氨酸含量可用于间接反映美拉德反应的程度及其引起的营养损失。美拉德反应是活性氨基与还原糖上的羰基之间的反应,随着储藏时间的延长,美拉德反应在不断进行,以及美拉德反应的化学作用引起蛋白质交联形成聚集物,从而使高蛋白营养棒的硬度不断上升<sup>[16]</sup>。两组营养棒中的有效赖氨酸保留率逐渐降低,以各体系初始有效赖氨酸保留率为100%,各个样品的有效赖氨酸保留率变化如图6所示。

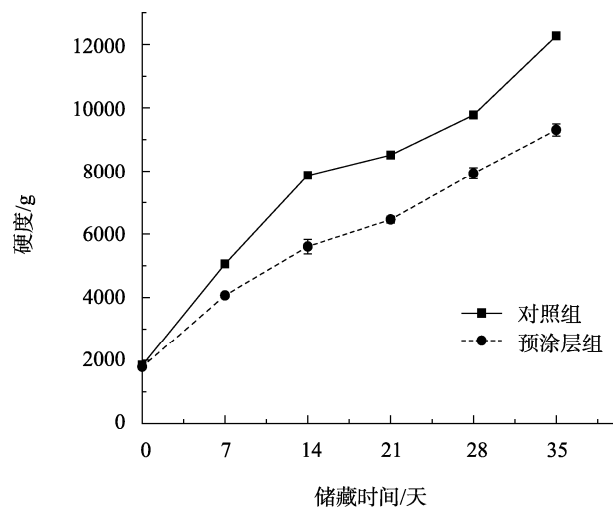


图1 高蛋白营养棒在储藏期间的硬度变化曲线( $n=9$ )

Fig. 1 The changing curves of hardness for high-protein nutrition bars during storage ( $n=9$ )

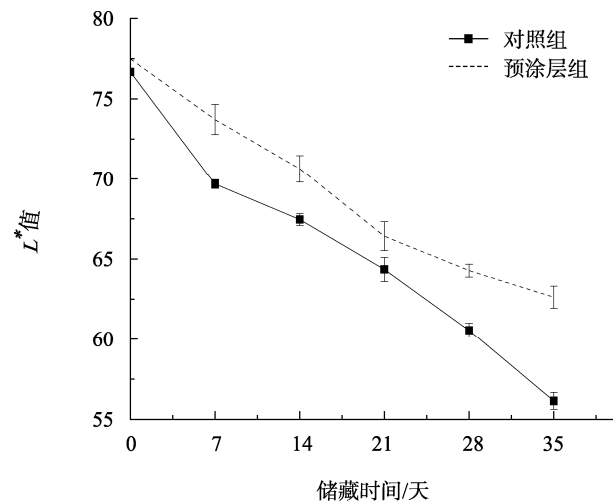


图2 高蛋白营养棒在储藏期间的 $L^*$ 值变化曲线( $n=6$ )

Fig. 2 The changing curves of  $L^*$  for high-protein nutrition bars during storage ( $n=6$ )

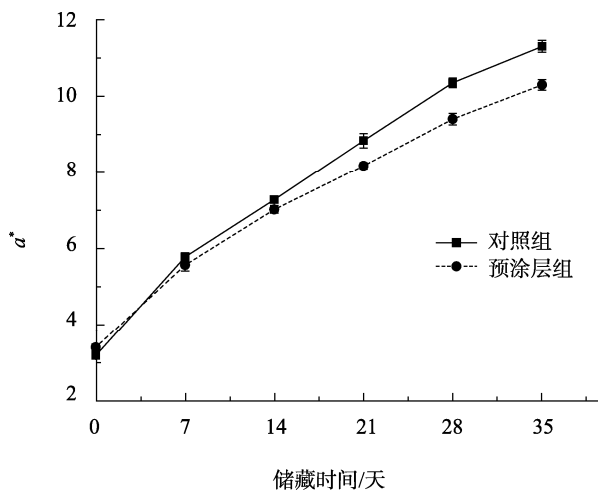


图3 高蛋白营养棒在储藏期间的 $a^*$ 值变化曲线( $n=6$ )

Fig. 3 The changing curves of  $a^*$  for high-protein nutrition bars during storage ( $n=6$ )

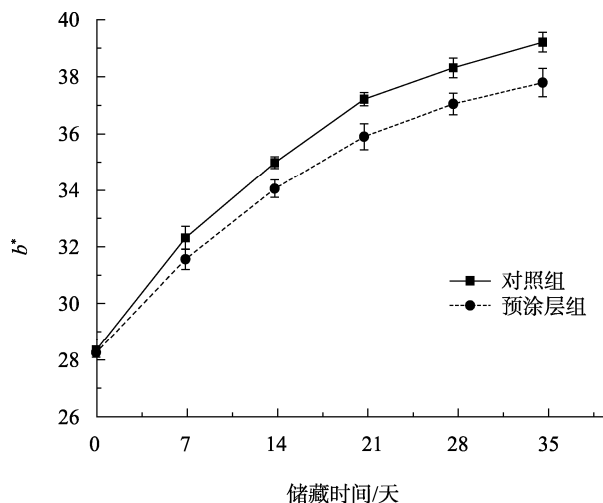


图4 高蛋白营养棒在储藏期间的 $b^*$ 值变化曲线( $n=6$ )

Fig. 4 The changing curves of  $b^*$  for high-protein nutrition bars during storage ( $n=6$ )

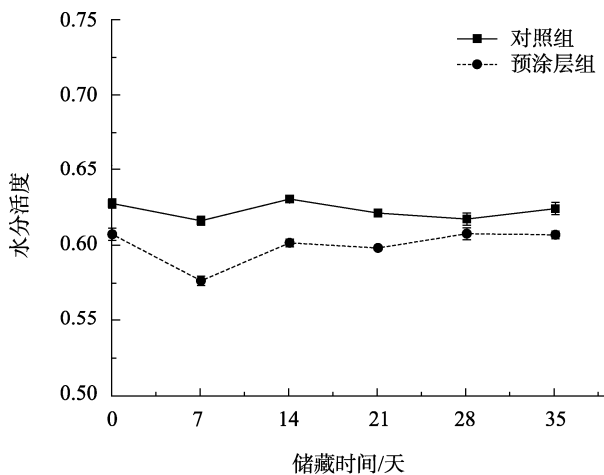


图5 高蛋白营养棒在储藏期间的水分活度变化曲线( $n=3$ )

Fig. 5 The changing curves of water activity for high-protein nutrition bars during storage ( $n=3$ )

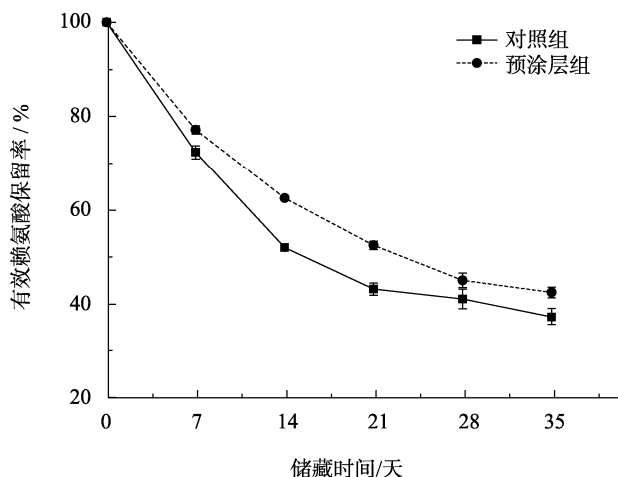


图 6 高蛋白营养棒在储藏期间的有效赖氨酸保留率变化曲线 (n=3)

Fig. 6 The changing curves of reactive lysine contents for high-protein nutrition bars during storage (n=3)

由图 6 中的变化曲线可以看出在储藏的前阶段有效赖氨酸的保留率急剧下降, 中后期变化趋势有所缓和。对照组和预涂层组两个体系中的有效赖氨酸保留率分别降至 37.31% 和 42.50%, 对比两组有效赖氨酸的损失趋势, 可发现预涂层组营养棒体系下降程度低于对照组, 这可能是由于在营养棒的制作中, 油脂预先包裹蛋白颗粒, 在蛋白表面覆盖了一层油膜, 导致蛋白颗粒与体系中其他物质(如糖类)之间的物理阻隔, 从而使氨基酸与糖的接触机会降低, 美拉德反应受到抑制, 高蛋白营养棒的硬化及色泽加深减弱, 品质得到改善。

### 3.4 游离巯基保留率测定

两组储藏期间的游离巯基保留率的变化见图 7。

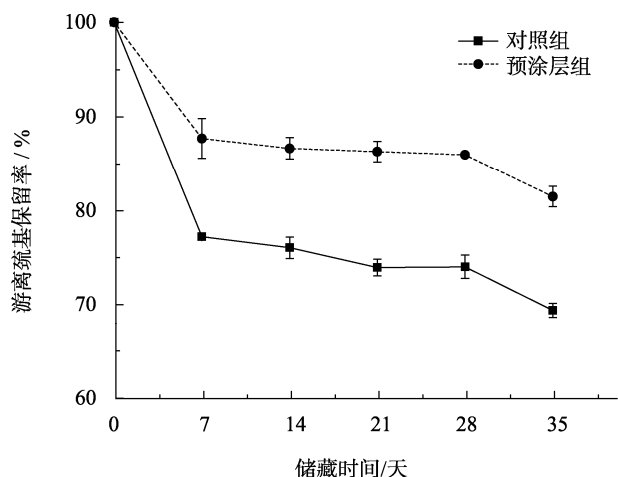


图 7 高蛋白营养棒在储藏期间的游离巯基保留率变化曲线(n=3)

Fig. 7 The changing curves of free SH content for high-protein nutrition bars during storage (n=3)

游离巯基含量可在一定程度上表明体系中由巯基诱导发生的蛋白交联情况, 蛋白交联亦是引起高蛋白营养棒硬化的重要原因。从图中可以看出两组营养棒体系随着储藏时间的延长游离巯基保留率在不断下降, 在 0~7 d 时下降最快, 在 7~28 d 时下降速率减慢, 但在储藏后期阶段保留率又加速下降, 可能是蛋白交联程度加大, 同时也增加硬化速率, 与之前的到硬度变化结果一致。最终对照组和预涂层组两个体系中的游离巯基保留率分别降至 69.39% 和 81.50%, 游离巯基保留率的下降, 可能是由于蛋白质自身通过巯基/二硫键交换反应, 导致蛋白质交联、聚集, 形成网络结构<sup>[8]</sup>。在前文中提及蛋白预涂油膜会影响高蛋白营养棒在储藏期间的硬化程度, 从游离巯基保留率变化中也可以看出, 两体系的游离巯基变化保留率差异明显, 预涂层组的高蛋白营养棒中游离巯基降低程度较低, 进一步说明蛋白预包裹可以阻碍蛋白交联, 起到减缓硬化作用。

### 3.5 十二烷基硫酸钠聚丙烯酰胺凝胶电泳

十二烷基硫酸钠聚丙烯酰胺凝胶电泳(sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis, SDS-PAGE)可检测蛋白质分子量的分布和变化, 常用于对蛋白质性能的分析, 更一步体现了蛋白交联以及美拉德反应等情况。2 组营养棒在 37 °C 下储藏 35 d 的 SDS-PAGE 图如图 8 所示。在 2 个体系的还原电泳图中, 其主要条带有  $\alpha$ -乳白蛋白(ALA)、 $\beta$ -乳球蛋白(BLG)、牛血清白蛋白(BSA)等。对照组体系的电泳图中, ALA 和 BLG 条带变宽弥散, 且向上偏移, 表明随储藏时间延长蛋白分子量逐步增加。这可能是由于蛋白分子糖基化修饰或美拉德反应中间产物与蛋白质分子交联所致, 而在预涂层组体系中, ALA 和 BLG 条带有变宽弥散, 但是向上偏移情况除了在第 7 d 比较明显外, 7 d 后条带向上偏移轻微。另外, 对照组体系中, BSA 条带在储藏 7 d 时条带明显变淡, 之后即消失, 可能是 BSA 条带与其他蛋白由二硫键结合生成大分子的蛋白聚集体, 而在预涂层组体系中, BSA 条带虽然也逐步减弱, 在储藏 28 d 后才消失。上述 SDS-PAGE 表明与对照组相比, 预涂层组的蛋白交联和糖基化程度都相对较低, 说明预涂油膜可抑制蛋白交联及糖基化, 更进一步证实了蛋白预涂油膜减缓高蛋白营养棒硬化的效果。

## 4 结 论

通过与对照组体系的对比, 蛋白预涂油膜的高蛋白营养棒的硬化速率减缓, 色泽保持度也较好, 说明营养棒的储藏稳定性提高, 另外, 利用有效赖氨酸、游离巯基保留率的测定以及电泳的蛋白变化分析进一步探究了蛋白预涂膜对于营养棒的改善机制。蛋白预涂油膜主要是在蛋白表面裹上了一层油膜, 达到阻碍蛋白与体系中其他物质的接触的作用, 从而抑制美拉德反应和蛋白交联等, 进而减缓高蛋白营养棒的硬化, 改善其品质。因此利用蛋白预涂油膜来改善营养棒的品质是可行的。

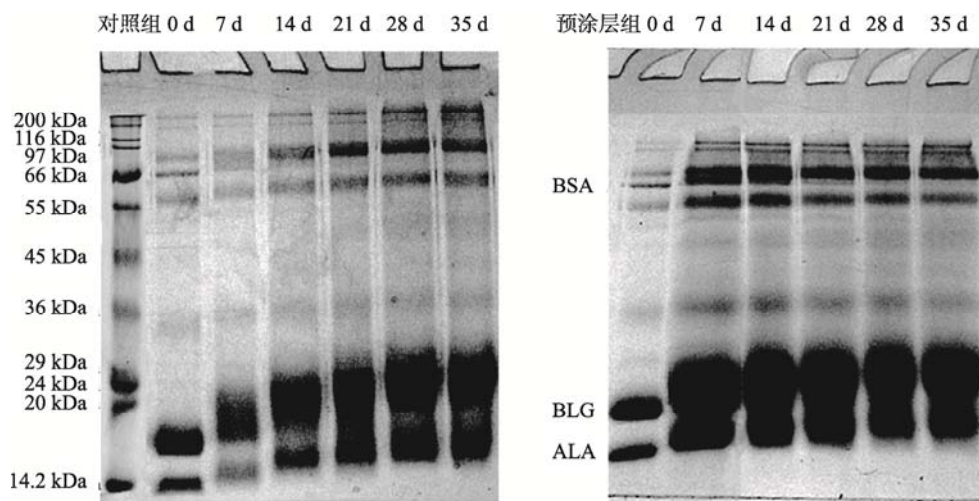


图8 高蛋白营养棒在储藏期间的 SDS-PAGE 图

Fig. 8 Maps of SDS-PAGE for high-protein nutrition bars during storage

## 参考文献

- [1] Rao QC, Kamdar AK, Guo M, *et al.* Effect of bovine casein and its hydrolysates on hardening in protein dough model systems during storage [J]. *Food Control*, 2016, 60: 621–628.
- [2] Belcourt LA, Labuza TP. Effect of raffinose on sucrose recrystallization and textural changes in soft cookies [J]. *Food Chem Toxicol*, 2007, 72: 65–71.
- [3] Loveday SM, Hindmarsh JP, Creamer LK, *et al.* Physicochemical changes in intermediate-moisture protein bars made with whey protein or calcium caseinate [J]. *Food Res Inter*, 2010, 43: 1321–1328.
- [4] Hogan SA, Chaurin V, O'Kennedy BT, *et al.* Influence of dairy proteins on textural changes in high-protein bars [J]. *Inter Dairy J*, 2012, 26: 58–65.
- [5] Loveday SM, Hindmarsh JP, Creamer LK, *et al.* Physicochemical changes in a model protein bar during storage [J]. *Food Res Inter*, 2009, 42: 798–806.
- [6] Lu NY, Zhang L, Zhang X, *et al.* Molecular migration in high-protein intermediate-moisture foods during the early stage of storage: Variations between dairy and soy proteins and effects on texture [J]. *Food Res Inter*, 2016, 82: 34–43.
- [7] Zhu D, Labuza TP. Effect of cysteine on lowering protein aggregation and subsequent hardening of whey protein isolate (WPI) protein bars in WPI/buffer model systems [J]. *J Agric Food Chem*, 2010, 58(13): 7970–7979.
- [8] Zhou P, Liu XM, Labuza TP. Effects of moisture-induced whey protein aggregation on protein conformation, the state of water molecules, and the microstructure and texture of high-protein-containing matrix [J]. *J Agric Food Chem*, 2008, 56(12): 4534–4540.
- [9] Banach JC, Clark S, Lamsal BP. Characterization of extruded and toasted milk protein concentrates [J]. *J Food Sci*, 2013, 78(6): 861–867.
- [10] McMahon DJ, Adams SL, Mcmanus WR. Hardening of high-protein nutrition bars and sugar/polyol-protein phase separation [J]. *J Food Sci*, 2009, 74(6): 312–321.
- [11] Rao QC, Rocca-Smith JR, Labuza TP. Moisture-induced quality changes of hen egg white proteins in a protein/water model system [J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(42): 10625–10633.
- [12] Tang CH. Thermal denaturation and gelation of vicilin-rich protein isolates from three Phaseolus legumes: A comparative study [J]. *LWT Food Sci Technol*, 2008, 41: 1380–1388.
- [13] Considine T, Patel HA, Singh H, *et al.* Influence of binding conjugated linoleic acid and myristic acid on the heat- and high-pressure induced unfolding and aggregation of beta-lactoglobulin B [J]. *Food Chem*, 2007, 102(4): 1270–1280.
- [14] 穆慧玲, 罗丽华, 杨昌林, 等. 黄原胶对蛋白棒质构的影响[J]. *农产品加工*, 2015, (1): 4–7.  
Mu HL, Luo LH, Yang CL, *et al.* Effects of xanthan gum on texture of protein bar [J]. *Farm Prod Proc*, 2015, (1): 4–7.
- [15] 张 轩. 高蛋白高糖中间水分食品储藏稳定性的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.  
Zhang X. The storage stability of high protein high sugar intermediate-moisture foods [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [16] 谷满屯, 盛占武, 商文婷, 等. 没食子酸对高蛋白中间水分食品品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2016, (3): 79–82, 87.  
Gu MT, Sheng ZW, Shang WT, *et al.* Effects of gallic acid on quality of high protein containing intermediate moisture foods [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2016, (3): 79–82, 87.

(责任编辑: 杨翠娜)

## 作者简介



谢 琪, 硕士研究生, 主要研究方向为粮食油脂及蛋白工程。  
E-mail: xieqi1005@126.com



孟祥河, 博士, 教授, 主要研究方向为食品安全与快速检测技术, 脂质化学与生物活性物质, 粮食、油脂与植物蛋白工程。  
E-mail: scidream@126.com