

# 生湿面的气调包装-辐照协同保鲜

欧阳梦云<sup>1</sup>, 王燕<sup>1</sup>, 孙子钦<sup>1</sup>, 吴卫国<sup>1</sup>, 赵传文<sup>2</sup>, 曹胜<sup>3</sup>

(1. 湖南农业大学食品科技学院, 湖南长沙 410128) (2. 长沙凯雪粮油食品有限公司, 湖南长沙 410008)

(3. 湖南农业大学资源环境学院, 湖南长沙 410128)

**摘要:** 为延长生湿面贮藏期, 研究了单一气调包装和气调-辐照协同技术对生湿面品质及保鲜效果的影响。采用不同的气体条件 (100% CO<sub>2</sub>、70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub>、50% CO<sub>2</sub>+50% N<sub>2</sub>) 对生湿面进行包装, 以空气包装为对照, 测定生湿面在 28 °C 贮藏过程中菌落总数、水分含量、蒸煮特性等指标的变化。结果表明 70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub> 气调包装的保鲜效果较好, 能将生湿面贮藏期由 2 d 延长至 3 d。随后采用不同辐照剂量 (1、3、5 kGy) 下的气调-辐照协同技术对生湿面进行保鲜处理, 以单一 70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub> 气调包装为对照。结果表明不同剂量辐照均表现出显著的保鲜效果, 其中 1~3 kGy 分别可延长生湿面货架期 5~8 d, 5 kGy 可延长至 11 d, 但 5 kGy 对生湿面其他品质指标如蒸煮特性、质构特性和感官品质有显著影响, 因此推荐 1~3 kGy 低剂量辐照下的气调-辐照协同技术对生湿面进行保鲜贮藏, 该方法可改善生湿面食用品质并有效延长了贮藏期。

**关键词:** 生湿面; 气调包装; 辐照; 保鲜

文章编号: 1673-9078(2020)07-125-132

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.7.0043

## Synergistic Effects of Modified Atmosphere Packaging and Irradiation for Preserving Fresh Noodles

OUYANG Meng-yun<sup>1</sup>, WANG Yan<sup>1</sup>, SUN Zi-qin<sup>1</sup>, WU Wei-guo<sup>1</sup>, ZHAO Chuan-wen<sup>2</sup>, CAO Sheng<sup>3</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

(2. Changsha Kaixue Grain and Oil Food Co., Ltd, Changsha 410008, China)

(3. College of Natural Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** In order to prolong the shelf life of fresh noodles, the effects of modified atmosphere packaging alone and in combination with irradiation technology on the quality and freshness of the fresh noodles were studied. The fresh noodles were packaged under different gas conditions (100% CO<sub>2</sub>, 70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub>, 50% CO<sub>2</sub>+50% N<sub>2</sub>), with the air-package as the control to measure the changes in the indicators such as total colony count, moisture content, and cooking characteristics over the storage at 28 °C. The results showed that 70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub> modified atmosphere packaging exerted a greater preservative effect, and could extend the shelf life of fresh noodles from 2 d to 3 d. Subsequently, the synergistic preservative effects of the modified atmosphere packaging and irradiation at different irradiation doses (1, 3, 5 kGy) on fresh noodles were investigated, with 70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub> modified atmosphere packaging as a control. The results also showed that different doses of irradiation exhibited significant preservative effects, with 1~3 kGy capable of prolonging the shelf life of fresh noodles by 5~8 d, and 5 kGy prolonging by 11 d. However, 5 kGy led to a significant impact on other quality indicators of fresh noodles such as cooking characteristics, texture characteristics and sensory quality. Therefore, the combined use of modified atmosphere packaging and irradiation technology at the low irradiation dose of 1~3 kGy is recommended for preserving fresh noodles over the storage. This method can improve eating quality and prolong effectively the shelf life of the fresh noodles.

引文格式:

欧阳梦云,王燕,孙子钦,等.生湿面的气调包装-辐照协同保鲜[J].现代食品科技,2020,36(7):125-132

OUYANG Meng-yun, WANG Yan, SUN Zi-qin, et al. Synergistic effects of modified atmosphere packaging and irradiation for preserving fresh noodles [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(7): 125-132

收稿日期: 2020-01-13

基金项目: 长沙市科技局重大专项 (KQ1703004); 长沙市科技局项目 (KC1701046)

作者简介: 欧阳梦云 (1992-), 女, 在读博士生, 研究方向: 食品化学与营养

通讯作者: 王燕 (1968-), 女, 教授, 研究方向: 食品化学与营养, 食品添加剂

**Key words:** fresh noodles; modified atmosphere packaging; irradiation; fresh-keeping

面条作为仅次于面包的世界第二方便主食, 在我国饮食文化中占据重要地位。生湿面以其新鲜美味、营养丰富和口感劲道的优点日益成为大众喜爱的方便面制品中的新兴产品, 相比于以干燥或油炸等加工工艺制得的挂面和方便面, 生湿面更能满足当今消费者对安全营养健康食品的消费需求<sup>[1,2]</sup>。然而, 由于生湿面的含水量较高(25%~30%), 在整个生产流程中易受到腐败菌及致病菌的污染, 保质期较短, 对产品的市场流通和销售造成极大的负面影响。近年来, 围绕生湿面保鲜技术的开发, 添加化学防腐剂、酸处理、热杀菌等是目前使用较多的延长生湿面货架期的方法, 它们虽能有效抑制微生物的生长繁殖, 但对产品品质影响较大, 且化学防腐剂保鲜不符合“绿色”消费主义趋势, 可能引起健康危害问题<sup>[3]</sup>。因此, 探寻既能有效抑制微生物的生长繁殖延长贮藏期, 又不对鲜湿面感官和风味品质产生影响的保鲜技术开发就显得尤为重要。

气调包装和辐照技术以其健康、节能降耗、无副作用等优点被誉为 21 世纪食品的绿色加工工艺, 已被广泛应用于食品加工领域。Khoshakhlagh 等<sup>[4]</sup>探究了 25 °C 贮藏条件下 CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> 混合气体气调包装对半焙面包品质及其微生物稳定性的影响, 发现气调包装对微生物的抑制作用与 CO<sub>2</sub> 浓度呈负相关, 而对产品的颜色、质地和水分没有显著影响, 能有效延长产品货架期。史依沫<sup>[5]</sup>研究了  $\gamma$  射线和电子束辐照处理对生湿面品质的影响, 结果表明两种辐照处理均有较好的抑菌作用, 在适宜辐照剂量下, 电子束比  $\gamma$  射线更有利于改善和保持生湿面的色泽、蒸煮和质构特性。然而, 关于生湿面的气调包装-辐照协同保鲜技术研究还鲜见报道。

本研究初步探讨了不同比例 CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> 混合气体气调包装对生湿面 28 °C 贮藏期间品质的影响, 确定合适的气调比例, 再进一步采用不同辐照剂量处理气调包装的生湿面, 探究气调包装-辐照协同保鲜技术对生湿面菌落总数、质构特性、蒸煮特性及感官品质的影响, 以为生湿面保鲜问题的解决提供思路与参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与试剂

高筋面粉, 长沙杨裕兴食品有限公司提供; 鸡蛋, 市售; 食用碱, 市售; 平板计数琼脂 (PCA), 广东环凯微生物科技有限公司; 75% 医用酒精, 新乡市三伟

消毒制剂有限公司; 氯化钠, 天津市科密欧化学试剂有限公司; 真空包装袋, 台州市名科塑业股份有限公司。

### 1.2 主要仪器设备

MAP-500D 型袋式气调保鲜包装机, 上海炬钢机械制造有限公司; BS216 压面机型, 石家庄西美特炊事机械制造有限公司; GZ-250-S 生化培养箱, 韶关市广智科技设备发展有限公司; CJ-2D 净化工作台, 天津市泰斯特仪器有限公司; LDZX-50KBS 型立式压力蒸汽灭菌锅, 上海申安医疗器械厂; CJ-2D 型净化工作台, 天津市泰斯特仪器有限公司; CP214 型电子天平, 奥豪斯仪器(上海)有限公司; TA-XT2i Plus 质构仪, 英国 Stable Micro Systems 公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 生湿面的制作

称取 100 g 高筋粉, 与预先煮沸冷却的饮用水 (26%), 食用碱 (0.3%) 及全蛋液 (4%) 混合均匀, 进行手工和面, 和面结束时面絮应呈松散颗粒状, 手握可成团, 轻轻揉搓仍能松散复原。随后将其置于压面机 (实验室规模) 上, 辊距挡位从 5 mm 逐步缩减至 3.5 mm 的过程中, 面片反复压延数次, 直至得到厚薄均匀 (3.5 mm), 组织细密, 平整光滑的面片, 最后用手摇切面机制作面条 (宽 5 mm, 长 22 cm)。

#### 1.3.2 气调保鲜技术研究

生湿面以 25 g/包分装于真空包装袋内, 将 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub> 按一定比例 (100% CO<sub>2</sub>、70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub>、50% CO<sub>2</sub>+50% N<sub>2</sub>) 混合进行气调包装, 抽气时间为 8 s, 充气时间为 0.5 s, 二次抽气时间为 5 s, 二次充气时间为 1.5 s, 热封时间为 1.5 s, 热封后迅速置于 28 °C 恒温培养箱下进行贮藏。以空气包装样品为对照组 (CK<sub>1</sub>)。

#### 1.3.3 气调包装-辐照协同保鲜技术研究

生湿面以 25 g/包分装于真空包装袋内, 采用保鲜效果最好的 CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> 混合气体比例进行气调包装, 随后密封。样品在湖南辐照中心进行 <sup>60</sup>Co- $\gamma$  射线动态辐照处理, 辐射源强为 8.5×10<sup>5</sup> Ci。射线辐照的设定剂量为 1、3、5 kGy, 用 Ag<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (重铬酸银) 工作剂量计跟踪测定样品的实际吸收剂量。辐照后的生湿面立即取样测定其杀菌效果及品质变化, 随后置于 28 °C 恒温培养箱中进行贮藏, 每隔 1 d 取样测定。以最优 CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> 混合气体比例气调包装样品为对照组

(CK<sub>2</sub>)。

### 1.3.4 微生物总数测定

菌落总数的检测方法参照 GB 4789.2-2016《食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定》<sup>[6]</sup>进行。

### 1.3.5 水分含量测定

参照 GB 5009.3-2016《食品卫生检验方法食品中水分的测定》<sup>[7]</sup>进行测定。

### 1.3.6 质构特性测定

参考张剑等<sup>[8]</sup>的方法。将生鲜面条煮熟后,捞出放在凉水中冷却 30 s,待面条表面水分沥干后,用保鲜膜覆盖,在短时间内完成同批次样品的质构测定,对其煮后硬度、弹性、粘性以及咀嚼度等指标进行研

究。取 3 根长度为 10 mm 面条平行置于载物台上,每个样品设置 6 组平行试验,取平均值。试验参数设定为:测试探头: P/36R, 测试模式: TPA 模式, 测前速度: 2.0 mm/s, 测试速度: 1 mm/s, 测后速度: 1 mm/s, 压缩比: 75%, 触发模式: 5 g。

### 1.3.7 感官评价

将生湿面煮至最佳蒸煮时间 (3.5 min), 放入凉水中冷却 30 s 后, 捞至盘中, 立即由 10 位经验丰富的感官评定人员对生湿面的各项感官指标进行评价。生湿面评分总分为 100 分, 当评分≤75 分时, 面条可接受度较差, 不能食用。参照行业标准 SB/T 10068-92《挂面》, 稍作修改, 具体评分标准如表 1 所示。

表 1 生湿面感官评分标准

Table 1 The sensory score standard of wet raw noodles

| 项目   | 满分 | 评分标准                                                                         |
|------|----|------------------------------------------------------------------------------|
| 色泽   | 10 | 色泽和亮度较好, 呈淡黄色 (8~10 分); 色泽和亮度一般 (5~8 分); 色泽发暗, 发灰, 亮度差 (1~5 分)               |
| 适口性  | 20 | 牙咬力度适中 (17~20 分); 牙咬力度偏软或偏硬 (12~17 分); 牙咬力度过软或过硬 (1~12 分)                    |
| 外观状态 | 10 | 表面细密, 光滑整齐, 粗细均匀 (8~10 分); 表面较细密, 较光滑, 粗细较均匀 (6~8 分); 表面粗糙, 膨胀, 变形严重 (1~6 分) |
| 韧性   | 25 | 富有咬劲, 弹性 (20~25 分); 较有咬劲, 弹性 (15~20 分); 咬劲差, 弹性不足 (1~12 分)                   |
| 黏性   | 25 | 咀嚼时爽口, 不粘牙 (20~25 分); 咀嚼时较爽口, 稍有粘牙 (15~20 分); 咀嚼时不爽口, 发黏 (1~15 分)            |
| 气味   | 10 | 具有鸡蛋面清香 (8~10 分); 基本无酸味、霉味及其他异味 (6~8 分); 有酸味、霉味或其他异味 (1~6 分)                 |

### 1.3.8 蒸煮特性测定

#### (1) 蒸煮吸水率

取 20 根长为 22 cm 的面条, 称重, 放入 250 mL 沸水中煮制到最佳蒸煮时间后捞出, 放置滤纸上沥干表面水分 5 min 后称重, 面条蒸煮吸水率计算公式如下<sup>[9]</sup>:

$$\text{蒸煮吸水率} / \% = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100\%$$

式中:  $M_1$  为煮前面条的质量 (g);  $M_2$  为煮后面条的质量 (g)。

#### (2) 蒸煮损失率

待煮完面条剩余的面汤冷却至室温后, 移入 250 mL 容量瓶中定容、混匀, 将烧杯烘至恒重, 从容量瓶中量取 50 mL 面汤倒入恒重的烧杯中, 放入 105 °C 烘箱中烘干至恒重, 称重, 面条蒸煮损失率计算公式如下<sup>[9]</sup>:

$$\text{蒸煮损失率} / \% = \frac{(M_4 - M_3) \times 5}{M_1} \times 100\%$$

式中:  $M_3$  为恒重的干净烧杯质量 (g);  $M_4$  为面汤倒入烧杯后烘至恒重的质量 (g)。

### 1.3.9 数据统计与分析

采用 Excel 软件进行数据处理, 采用 Origin 8.5 软

件进行制图, 用 SPSS 19.0 对数据进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 气调保鲜技术研究

#### 2.1.1 气调包装对微生物的影响

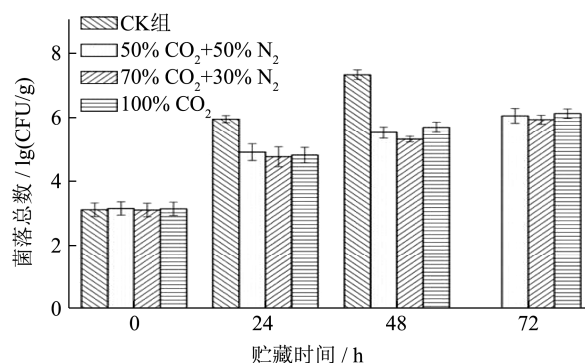


图 1 气调包装对生湿面贮藏期间菌落总数的影响

Fig.1 Effect of modified atmosphere packaging on the total number of colonies in wet raw noodle

由图 1 可知, 在 28 °C 的恒温贮藏条件下, 各试验组菌落总数随着贮藏时间的延长而不断增加。在 24 h 的贮藏期内, 各试验组菌落总数均表现出较快的增加速率, 其中 CK<sub>1</sub> 组增加了 88.57%, 不同气体比例包

装组的增加速率虽低于 CK<sub>1</sub>, 但也出现了大幅度的增加, 50% CO<sub>2</sub>+50% N<sub>2</sub>、70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub> 和 100% CO<sub>2</sub> 分别增加了 53.72%、49.21%和 49.60%。当贮藏时间延长至 48 h 时, CK<sub>1</sub> 的菌落总数已达到 7.32 lg(cfu/g), 超过国际标准 6 lg(cfu/g)(通常被认为是食品变质和未变质之间的分界点)<sup>[10]</sup>, 故 CK<sub>1</sub> 不再进行后续试验。而在 48-72 h 的贮藏范围内, 随着气调包装内 CO<sub>2</sub> 浓度由 50%增加至 100%, 样品菌落总数的增加速率由 11.11%降低至 7.01%。说明在气调包装鲜湿面的长期贮藏过程中, CO<sub>2</sub> 具有显著的抑菌作用, 且浓度越高, 效果越显著。这与 Khoshakhlagh 等<sup>[11]</sup>和 Sivertsvik 等<sup>[12]</sup>的研究结果相一致。当贮藏 72 h 时, 50% CO<sub>2</sub>+50% N<sub>2</sub> 和 100% CO<sub>2</sub> 气调包装组的菌落总数为 6.00 lg(cfu/g) 和 6.05 lg(cfu/g) 略高于限量标准, 而 70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub> 的仅为 5.85 lg(cfu/g) 仍在限量范围内。研究结果表明 70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub> 比例的气调包装是较适宜的生湿面包装方法。Nobile 等<sup>[13]</sup>发现 CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>=7:3 的气调包装在意大利面保鲜方面也表现出类似的优越性。而 Lee 等<sup>[14]</sup>指出 22% CO<sub>2</sub>+78% N<sub>2</sub> 气调包装是韩国鲜湿面制品最有效的保存方法。盛琪等<sup>[15]</sup>指出 CO<sub>2</sub> 的抑菌效果还受到原始菌落总数、包装材料渗透性和产品种类等因素的影响。较高浓度的 CO<sub>2</sub> 可直接或间接地抑制好氧菌的生长繁殖而产生抑菌的效果, 其次, 适当比例的惰性气体 N<sub>2</sub> 有利于包装体系的稳定, 避免因 CO<sub>2</sub> 浸入样品或其他物化反应的发生而导致包装塌陷<sup>[16]</sup>。当样品菌落总数超过生湿面货架期限量标准, 其他指标不再测定。

### 2.1.2 气调包装对水分含量的影响

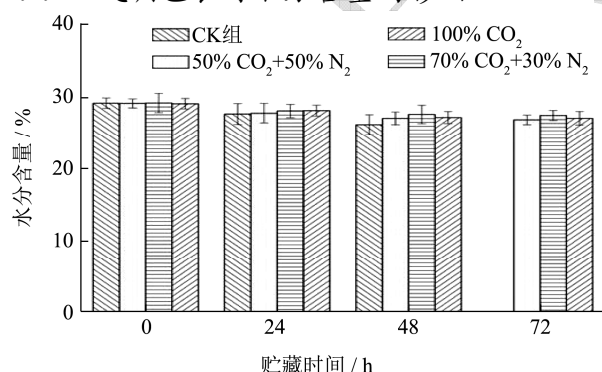


图2 气调包装对生湿面贮藏期间水分含量的影响

Fig.2 Effect of modified atmosphere packaging on the water content in wet raw noodles

由图 2 可知, 与 CK<sub>1</sub> 相比, 不同 CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> 浓度比气调包装对鲜湿面的水分含量无显著影响, 但在贮藏过程中各试验组样品的水分含量显著降低, 特别是贮藏的前 24 h, 样品水分含量急剧下降, CK<sub>1</sub> 水分损失最严重, 由起始的 29.12%下降至 27.65%。这可归因

于样品与包装容器之间的水分差异, 促使水分由样品表面向包装容器内扩散。随着贮藏时间的延长, CK<sub>1</sub> 样品的水分损失仍较大, 在贮藏 48 h 时, 水分含量已降至 26.86%, 样品表明出现明显破裂现象, 失去商品价值; 而气调包装样品的水分损失减缓。Sanguinetti<sup>[17]</sup>在意大利面的气调保鲜研究中发现与 CK 相比, CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> 气调包装能有效降低样品水分损失。盛琪等<sup>[15]</sup>在馒头的气调包装研究中也发现类似现象。可能是因为 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub> 不断向样品中的侵入有效保护了面筋蛋白结构, 确保面条持水性相对稳定。

### 2.1.3 气调包装对蒸煮特性的影响

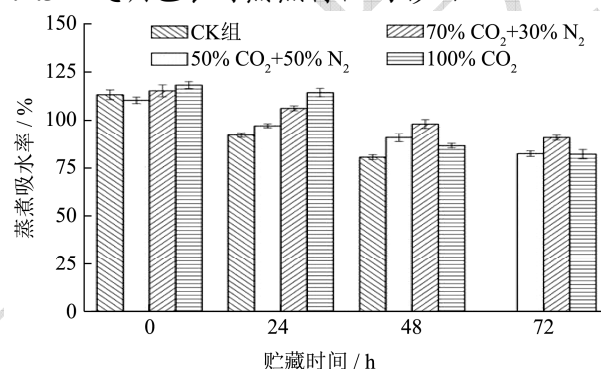


图3 气调包装对生湿面贮藏期间蒸煮吸水率的影响

Fig.3 Effect of modified atmosphere packaging on cooking water absorption rate within storage time in wet raw noodles

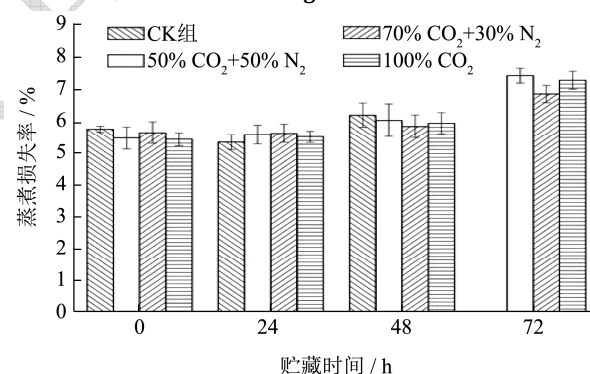


图4 气调包装对生湿面贮藏期间蒸煮损失率的影响

Fig.4 Effect of modified atmosphere packaging on cooking loss rate within storage time in wet raw noodles

蒸煮吸水率和损失率是面条品质的重要评价指标, 蒸煮吸水率越大, 面条品质越好, 成品率高, 蒸煮损失率越小, 淀粉流失少, 不易糊汤。由图 3 可知, 各试验组生湿面蒸煮吸水率随着贮藏时间的延长呈下降趋势。这可能与面条贮藏期间直/支链淀粉比例发生变化有关。王晓曦等<sup>[18,19]</sup>研究发现当直链淀粉含量增加或支链淀粉含量减少时, 面条蒸煮吸水率降低, 较低直/支链淀粉比值的面条具有较好的糊化和膨胀特性, 吸水率也较高。在 72 h 的贮藏期内, 所有气调包装样品的蒸煮吸水率均高于 CK<sub>1</sub>。CK<sub>1</sub> 样品在贮藏 0 h



时的吸水率为 113%，24 h 时降低至 92.5%，降低趋势显著 ( $p < 0.05$ )。24 h 时气调包装样品的吸水率虽有所降低，但均显著高于 CK<sub>1</sub> ( $p < 0.05$ )，且 CO<sub>2</sub> 浓度越高，蒸煮吸水率下降越缓慢。霍爱华<sup>[20]</sup>发现 CO<sub>2</sub>+N<sub>2</sub> 气调包装能显著提高大米的吸水率和膨胀率，这与本文得出的气调包装鲜湿面蒸煮吸水率高于 CK<sub>1</sub> 结果一致。饶伟丽<sup>[21]</sup>指出高浓度的 CO<sub>2</sub> 有促使蛋白质二级结构中的  $\alpha$  螺旋和转角结构向  $\beta$  折叠片转化的趋势，由此推测本试验 CO<sub>2</sub>+N<sub>2</sub> 气调包装引起鲜湿面蒸煮吸水率上升的原因还可能与 CO<sub>2</sub> 的水溶性，使面条内环境酸化有关。面筋蛋白在酸性条件下适度水解，蛋白二级结构展开，亲水基团暴露导致生湿面吸水率增大。

各试验组鲜湿面在贮藏期内的蒸煮损失率变化如图 4 所示，可知除 CK<sub>1</sub> 样品在贮藏 24 h 时损失率略有降低外，各试验样品的蒸煮损失率随贮藏时间的延长而逐渐提高。在 48 h 和 72 h 的贮藏时间下，气调包装样品的损失率低于 CK<sub>1</sub>，第 48 h 时 CO<sub>2</sub> 体积分数为 70% 以上的气调包装样品损失率显著低于 CK<sub>1</sub>，其中 70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub> 包装样品的蒸煮损失率显著低于其余处理样品，第 72 h 时，各气调包装样品仍表现出较低的损失率，其中 70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub> 样品的蒸煮损失率最低为 6.75%。结果表明，70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub> 气调包装能显著提高生湿面的蒸煮吸水率和降低蒸煮损失率。

## 2.2 气调包装-辐照协同保鲜技术研究

### 2.2.1 气调包装-辐照协同保鲜技术对微生物的影响

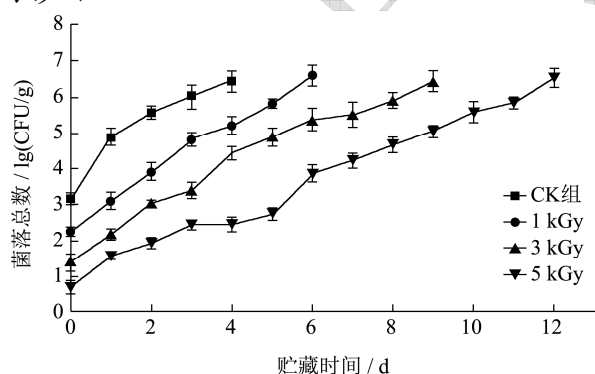


图 5 气调包装-辐照协同保鲜对生湿面贮藏期间菌落总数的影响

Fig.5 Effect of combined irradiation and modified atmosphere packaging on the total number of colonies in wet raw noodle

辐照杀菌的理论计量设置为 1 kGy、3 kGy、5 kGy，用 Ag<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>（重铬酸钾）工作剂量计跟踪测定样品的实际吸收剂量分别为 0.97 kGy、3.84 kGy、4.93 kGy，在后叙过程中均用理论剂量表述。由图 5 可知，

各试验组样品的菌落总数在贮藏期间呈增加趋势，其中单一 70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub> 气调包装样品 (CK<sub>2</sub>) 在贮藏的第 3 d 菌落总数达到 5.98 lg(cfu/g)，接近生湿面微生物限量标准的临界值，贮藏第 4 d 时 6.47 lg(cfu/g)，已超过临界值。气调包装-辐照协同保鲜处理的各样品在贮藏第 0 d 时，就已表现出显著的抑菌效果，当辐照剂量为 1、3、5 kGy 时，样品的初始菌落总数分别降低 29.94%、56.69%、77.71%，结果表明辐射剂量越大，微生物的致死程度越高。可能是因为微生物细胞内部的 DNA 在越大的辐照剂量下损伤越大，DNA 结构发生不可逆破坏导致微生物生长繁殖受到影响，从而达到抑菌作用。随着贮藏时间的延长，气调包装-辐照协同保鲜试验组的菌落总数增加，但增加幅度小于 CK<sub>2</sub>。1 kGy 辐照处理的样品在第 5 d 时达到 5.75 lg(cfu/g)，3 kGy 的在第 8 d 达到 5.88 lg(cfu/g)，而 5 kGy 的直到第 11 d 也仅为 5.82 lg(cfu/g)，均未超出微生物限量标准 6 lg(cfu/g)，试验结果表明气调包装-辐照协同保鲜能有效延长生湿面贮藏期。Napoli E<sup>[22]</sup>、张春红<sup>[2]</sup>、罗志平<sup>[23]</sup>等人的研究结果也表明辐照对生湿面有显著的杀菌效果。

### 2.2.2 气调包装-辐照协同保鲜技术对蒸煮特性的影响

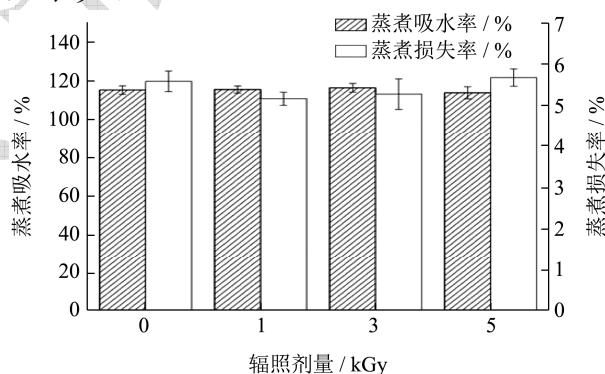


图 6 气调包装-辐照协同保鲜对生湿面蒸煮品质的影响

Fig.6 Effect of combined irradiation and modified atmosphere packaging on the cooking quality in wet raw noodle

图 6 表示辐照剂量为 0 (即单一 70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub> 气调包装 CK<sub>2</sub> 组)、1、3、5 kGy 的气调包装-辐照协同试验样品分别在贮藏第 3、5、8、11 d 时 (分别为生湿面各实验组的贮藏期) 的蒸煮吸水率和蒸煮损失率变化情况。由图 6 可知，在 1~3 kGy 剂量辐照范围内样品的蒸煮吸水率随辐照剂量的增加呈上升趋势，在 3 kGy 时达到最大值 (118.25%)，随着辐照剂量继续增加至 5 kGy，样品的吸水率又出现小幅度 (1.72%) 的降低。但在 1~5 kGy 剂量范围内，样品吸水率的大小与 CK<sub>2</sub> (117.93%) 相比无显著差异。1 kGy 辐照处理能显著降低样品的蒸煮损失率 (110.26%)，与 CK<sub>2</sub>

比降低了 8.35%，随着辐照剂量的增加样品损失率又逐渐提高，3 kGy 剂量下为 111.79%，在 5 kGy 时达到最大值 122.03%，略高于 CK<sub>2</sub> (120.02%)。以上结果表明，适宜辐照剂量下的气调包装-辐照协同保鲜能有效提高生湿面的蒸煮特性。在热处理中，生湿面的蒸煮特性变化与蛋白结构变化有关。据报道高剂量的辐照可能引起面筋蛋白网络结构疏松弱化，空隙变大<sup>[24]</sup>。耿胜荣等<sup>[25]</sup>研究发现 10 kGy 的高剂量辐射导致牛血清同时发生降解和交联反应，破坏白蛋白的二级结构，导致疏水基团外露。由上述报道推测，5 kGy 辐照样品的蒸煮吸水率下降可能是因为辐照剂量过大使面筋蛋白结构发生改变，碳骨架变得松散，淀粉颗粒失去包埋大量溶出，蛋白质交联作用导致面团亲水基团减少。1 kGy 辐照样品的蒸煮损失率最低可能是因为低剂量辐照下面筋蛋白结构稳定，淀粉膨润相对困难，损失较小。

### 2.2.3 气调包装-辐照协同保鲜技术对质构特性的影响

质构分析可以通过科学的方法对样品的物性特征更加准确和客观的表达，常作为判断面制品品质特性的重要衡量标准<sup>[26,27]</sup>。由图 7 可知，单一 70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub> 气调包装 (CK<sub>2</sub>) 与不同辐照剂量的气调包装-辐照协同保鲜样品的硬度均随贮藏时间的延长而呈先增加后降低的趋势。第 0 d (即样品刚完成辐照处理)，不同辐照剂量处理的样品的硬度明显高于 CK<sub>2</sub>，可能是因为辐照促使面筋蛋白发生交联作用，导致空隙缩小硬度增大。贮藏 1 d 后，各试验样品的硬度持续增大，一方面可能是因为面条在贮藏期间继续醒发使面筋结构更加牢固，其次，前期面条表面水分迁移速率较快，从而造成硬度增大。在随后的贮藏过程中，面条硬度逐渐降低，可能是因为微生物的生长繁殖消耗了面条中的营养成分，生成少量水使面条柔软，其代谢产物中的酶类也可能会破坏面条内部形成的面筋网状结构导致硬度下降。在有效的贮藏时间内，与 CK<sub>2</sub> 的初始硬度值相比，1 kGy 辐照不对样品的硬度造成显著影响。由图 9 可知，不同剂量辐照处理均引起样品初始弹性的降低，这可能与初始硬度增大有关。随着贮藏时间的延长，各试验样品的弹性均呈下降趋势，CK<sub>2</sub> 在贮藏第 3 d 时，弹性由 0.93 降至 0.86，不同辐照剂量的气调-辐照协同保鲜样品弹性的降低趋势比 CK<sub>2</sub> 平缓，5 kGy 样品的弹性在 11 d 的贮藏期内仅降低 0.05。咀嚼度与硬度、内聚性和弹性有关，理论上来说，上述三者的改变都可能引起产品咀嚼度的变化。由图 8 可知，各试验样品的咀嚼度随着贮藏时间的延长呈先上升后降低的趋势，与硬度的变化一致。

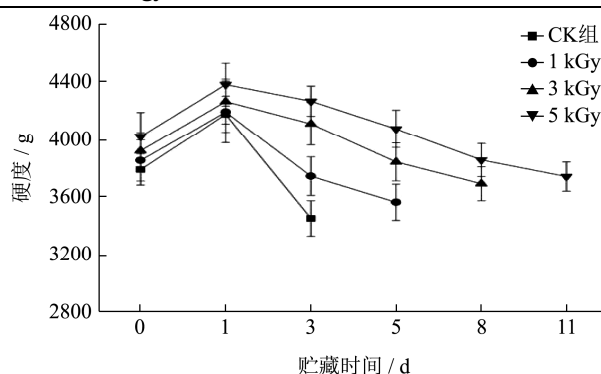


图 7 气调包装-辐照协同保鲜对生湿面贮藏期内硬度的影响

Fig.7 Effect of combined irradiation and modified atmosphere packaging on hardness of wet raw noodle

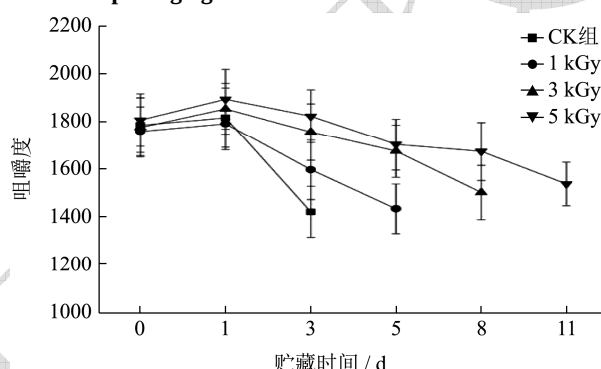


图 8 气调包装-辐照协同保鲜对生湿面贮藏期间咀嚼度的影响

Fig.8 Effect of combined irradiation and modified atmosphere packaging on chewiness of wet raw noodle

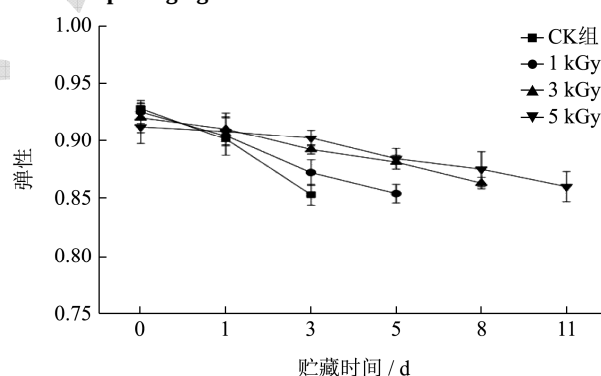


图 9 气调包装-辐照协同保鲜对生湿面贮藏期内弹性的影响

Fig.9 Effect of combined irradiation and modified atmosphere packaging on elasticity of wet raw noodle

### 2.2.4 气调包装-辐照协同保鲜技术对感官品质的影响

感官品质是判断生湿面商用价值最直观的方法，与消费者的购买行为密切相关。表 2 表示辐照剂量为 0、1、3、5 kGy 的气调包装-辐照协同试验样品分别在贮藏第 3、5、8、11 d 时的感官品质变化情况。由表 2 可知，不同辐照剂量的气调-辐照协同保鲜处理对表观状态和韧性影响不显著 ( $p>0.05$ )；低剂量辐照 (1~3 kGy) 可提高样品的综合得分；不同辐照剂量

的气调-辐照协同保鲜样品的色泽评分随着辐照剂量的增加而逐渐降低, 5 kGy 辐照显著影响生湿面色泽 ( $p<0.05$ ), 样品的色泽评分最低, 色泽最差; 1~3 kGy 样品的适口性高于 CK2 (0 kGy), 但无显著差异, 而

5 kGy 样品适口性显著低于 CK2; 1 kGy 样品的黏性高于 CK2, 3~5 kGy 的较高剂量辐照能降低生湿面黏性; 不同辐照剂量均对样品的气味造成负面影响, 但仅 5 kGy 样品的气味与 CK<sub>2</sub> 相比显著降低。

表 2 气调包装-辐照协同保鲜对生湿面感官品质的影响

Table 2 Effect of combined irradiation and modified atmosphere packaging on the sensory score standard of wet raw noodles

| 剂量/kGy | 色泽                      | 外观状态                   | 适口性                      | 韧性                      | 黏性                       | 气味                      | 感官评分                     |
|--------|-------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 0      | 8.92±1.23 <sup>a</sup>  | 8.64±0.83 <sup>a</sup> | 18.63±1.30 <sup>b</sup>  | 20.24±2.27 <sup>a</sup> | 22.48±2.05 <sup>b</sup>  | 8.92±0.64 <sup>a</sup>  | 87.83±3.56 <sup>a</sup>  |
| 1      | 8.63±1.31 <sup>a</sup>  | 8.77±1.15 <sup>a</sup> | 18.70±0.98 <sup>ab</sup> | 21.11±1.24 <sup>a</sup> | 23.36±0.23 <sup>ab</sup> | 8.27±0.53 <sup>a</sup>  | 88.84±3.23 <sup>a</sup>  |
| 3      | 8.11±2.26 <sup>ab</sup> | 8.68±0.62 <sup>a</sup> | 18.71±1.53 <sup>ab</sup> | 22.90±1.03 <sup>a</sup> | 20.93±1.27 <sup>a</sup>  | 8.65±1.42 <sup>ab</sup> | 87.98±4.72 <sup>ab</sup> |
| 5      | 7.24±0.72 <sup>b</sup>  | 8.39±2.24 <sup>a</sup> | 17.82±0.73 <sup>a</sup>  | 23.62±0.86 <sup>a</sup> | 20.72±2.18 <sup>a</sup>  | 7.13±0.81 <sup>b</sup>  | 84.74±2.41 <sup>b</sup>  |

注: 同列右肩不同小写字母表示差异显著 ( $p<0.05$ )。

### 3 结论

3.1 70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub> 气调包装能够有效抑制生湿面在贮藏期间微生物的生长繁殖减缓水分损失, 改善蒸煮特性。相比于空气包装样品 (2 d 货架期), 70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub> 气调包装能维持生湿面在 3 d 内不变质, 但仍不能有效延长生湿面货架期。

3.2 气调包装-辐照协同保鲜技术表现出比单一 70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub> 气调包装更优秀的生湿面保鲜效果。不同辐照剂量下的气调-辐照协同保鲜均能显著延缓生湿面在贮藏过程中因微生物生长繁殖而引起的腐败变质。其中 5 kGy 剂量辐照能将生湿面的货架期延长至 11 d, 3 kGy 和 1 kGy 可分别延长至 8 d 和 5 d。1~3 kGy 剂量辐照有效提高了生湿面的蒸煮吸水率, 1 kGy 低剂量辐照还可显著降低产品蒸煮损失率且不对产品硬度造成显著影响。总体而言, 低剂量 (1~3 kGy) 辐照下的气调-辐照协同保鲜处理生湿面具有较好的感官和商品品质。

### 参考文献

- [1] 孙子钦, 王燕, 吴卫国, 等. 响应面法优化生湿面防褐变工艺 [J]. 食品工业科技, 2019, 40(19): 158-163  
SUN Zi-qin, WANG Yan, WU Wei-guo, et al. Response surface methodology to optimize anti-browning process of wet noodles [J]. Food Industry Technology, 2019, 40(19): 158-163
- [2] 张春红, 史依沫, 王丽, 等.  $\gamma$  射线辐照对生湿面条杀菌效果及品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2017, 38(24): 27-32  
ZHANG Chun-hong, SHI Yi-mo, WANG Li, et al. Effects of gamma ray irradiation on microorganism inactivation and qualities of wet raw noodles [J]. Food Industry Technology, 2017, 38(24): 27-32
- [3] 孙子钦, 王燕, 吴卫国, 等. 生湿面保鲜技术研究现状 [J]. 食品

与机械, 2019, 35(2): 232-236

SUN Zi-qin, WANG Yan, WU Wei-guo, et al. Study of the present status on the preservation technology of fresh wet noodle [J]. Food & Machinery, 2019, 35(2): 232-236

- [4] Khoshakhlagh K, Hamdami N, Shahedi M, et al. Quality and microbial characteristics of part-baked Sangak bread packaged in modified atmosphere during storage [J]. Journal of Cereal Science, 2014, 60(1): 42-47
- [5] 史依沫. 辐照综合保鲜技术对生湿面条货架期及品质的影响 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018  
SHI Yi-mo. Effect of comprehensive preserving technology of irradiation on shelf-life and qualities of wet raw noodles [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2008
- [6] 中华人民共和国卫生部. GB 4789.2-2010 食品微生物学检验菌落总数测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010  
Ministry of Health of the People's Republic of China. GB 4789.2-2010 Determination of Total Number of Colonies in Food Microbiological Examination [S]. Beijing: China Standard Press, 2010
- [7] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.3-2010 食品卫生检验方法食品中水分的测定方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010  
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.3-2010 Methods for Food Hygiene Inspection-Method for Determination of Moisture in Food [S]. Beijing: China Standard Press, 2010
- [8] 张剑, 李梦琴, 任红涛, 等. 鲜面条速冻生产工艺条件研究 [J]. 食品科学, 2011, 32(10): 304-307  
ZHANG Jian, LI Meng-qin, REN Hone-tao, et al. Preparation process of quick-frozen noodles [J]. Food Science, 2011, 32(10): 304-307
- [9] 李运通, 陈野, 李书红, 等. 生湿面常温贮藏过程中的品质变化规律 [J]. 食品科学, 2017, 38(1): 258-262

- LI Yun-tong, CHEN Ye, LI Shu-hong, et al. Quality changes of fresh noodles during room temperature storage [J]. Food Science, 2017, 38(1): 258-262
- [10] Li M, Zhu K X, GUO X, et al. Effect of water activity (aw) and irradiation on the shelf-life of fresh noodles [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2011, 12(4): 526-530
- [11] Khoshakhlagh K, Hamdami N, Shahedi M, et al. Quality and microbial characteristics of part-baked Sangak bread packaged in modified atmosphere during storage [J]. Journal of Cereal Science, 2014, 60(1): 42-47
- [12] Sivertsvik M, Rosnes J T, Bergslien H. Modified atmosphere packaging [M]// In: Ohlsson, T., Bengtsson, N. (Eds.), Minimal Processing Technologies in the Food Industry. Boca Raton: CRC Press, 2002: 61-80
- [13] Del Nobile M A, Di B N, Suriano N, et al. Combined effects of chitosan and MAP to improve the microbial quality of amaranth homemade fresh pasta [J]. Food Microbiology, 2009, 26(6): 587-591
- [14] Lee D S, Paik H D, Im G H, et al. Shelf life extension of Korean fresh pasta by modified atmosphere packaging [J]. Preventive Nutrition and Food Science, 2001, 6(4): 240-243
- [15] 盛琪,朱科学,郭晓娜,等.气调包装对馒头品质及保鲜效果的影响[J].中国粮油学报,2016,31(9):126-130
- SHENG Qi, ZHU Ke-xue, GUO Xiao-na, et al. Effect of modified atmosphere packaging on steamed bread quality and fresh-keeping effect [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils, 2016, 31(9): 126-130
- [16] 代昕.绿茶生鲜面的品质调控与保鲜研究[D].无锡:江南大学,2013
- DAI Xin. Study on the quality control and fresh-keeping of fresh green tea noodles [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013
- [17] Sanguinetti A M, Caro A D, Scanu A, et al. Extending the shelf life of gluten-free fresh filled pasta by modified atmosphere packaging [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 71: 96-101
- [18] 王晓曦,雷宏,曲艺,等.面粉中的淀粉组分对面条蒸煮品质的影响[J].河南工业大学学报(自然科学版),2010,2:28-31
- WANG Xiao-xi, LEI Hong, QU Yi, et al. Effects of starch components in flour on cooking quality of noodles [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2010, 2: 28-31
- [19] 王晓曦,徐荣敏.小麦胚乳中直链淀粉含量分布及其对面条品质的影响[J].中国粮油学报,2007,4:38-42
- WANG Xiao-xi, XU Rong-min. Distribution of amylose content in wheat endosperm and its effect on noodle quality [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils, 2007, 4: 38-42
- [20] 翟爱华,徐炳政,崔铭育.不同比例气调包装对贮藏大米品质的单因素影响[J].农产品加工,2015,12:18-21
- ZHAI Ai-hua, XU Bing-zheng, CUI Ming-yu. Single-factor effects of different proportions of modified atmosphere packaging on rice quality during storage [J]. Processing of Agricultural Products, 2015, 12: 18-21
- [21] 饶伟丽.高密度 CO<sub>2</sub> 对大肠杆菌菌体蛋白影响的研究[D].北京:中国农业科学院,2009
- RAO Wei-li. Study on the effect of high density CO<sub>2</sub> on the proteins of *Escherichia coli* [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2009
- [22] Napoli E, Mazzaglia A, Restuccia C, et al. The effect of  $\gamma$ -irradiation on chemical composition, microbial load and sensory properties of Sicilian oregano [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 72: 566-572
- [23] 罗志平,孟兰贞,徐远芳,等.<sup>60</sup>Co- $\gamma$  辐照对茶花蜂花粉的杀菌效果及品质影响[J].食品与机械,2015,3:150-153
- LUO Zhi-ping, MENG Lan-zhen, XU Yuan-fang. et al. Effect of <sup>60</sup>Co- $\gamma$  irradiation on the sterilization effect and quality of camellia bee pollen [J]. Food & Machinery, 2015, 3: 150-153
- [24] 王小明.生鲜湿面在保鲜过程中品质调控的研究[D].郑州:河南工业大学,2014
- WANG Xiao-ming. Study on the quality control of fresh wet noodles in the fresh preservation process [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2014
- [25] 耿胜荣,程薇,廖涛,等. $\gamma$ 射线和电子束辐照对牛血清蛋白结构的影响[J].现代食品科技,2016,12:211-217
- GENG Sheng-rong, CHEN Wei, LIAO Tao, et al. Effect of  $\gamma$ -ray and electron beam irradiation on the structure of bovine serum protein [J]. Modern Food Science & Technology, 2016, 12: 211-217
- [26] Meullenet J F, Champagne E T, Bett K L, et al. Instrumental assessment of cooked rice texture characteristics: a method for breeders [J]. Cereal Chemistry, 2000, 77(4): 512-517
- [27] 白艺朋,郭晓娜,朱科学,等.包装材料结合活性包装对荞麦半干面常温货架期及品质的影响[J].中国粮油学报,2017, 32(12):31-37
- BAI Yi-peng, GUO Xiao-na, ZHU Ke-xue, et al. Effects of packaging materials combined with active packaging on shelf-life and quality of buckwheat semi-dry noodles at room temperature [J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2017, 32(12): 31-37