

光量子对馒头保鲜作用的研究

刘秀丽, 李贞景, 周庆礼

(食品营养与安全教育部重点实验室, 天津科技大学食品工程与生物技术学院, 天津 300457)

摘要: 为研究光量子对馒头的保鲜作用, 以新鲜馒头为原料, 通过感官评价研究光量子对馒头的保鲜效果, 并利用 TA-XT.Plus 质构仪、扫描电镜 (SEM)、快速粘度仪 (RVA)、差示热量扫描仪 (DSC) 以及傅里叶红外光谱仪 (FT-IR) 探究光量子对馒头的质构特性、粘度特性以及淀粉回生程度和蛋白质二级结构的影响。结果显示: 4 °C 下贮存 2 d、4 d、7 d 和 12 d, 光量子组馒头样品感官评分均高于对照组, 且对照组样品在 12 d 出现了霉点。随着贮存时间的延长, 光量子组馒头样品的失水率、硬度和回生程度均低于对照组; 且光量子组馒头样品的 β -折叠百分含量均高于对照组, β -转角的百分含量均低于对照组。上述结果表明: 光量子可能通过对淀粉回生和蛋白质的二级结构影响实现了对馒头的保鲜作用。

关键词: 光量子; 馒头; 淀粉; 蛋白质; 保鲜

文章编号: 1673-9078(2017)3-229-236

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.3.035

Effect of Photons on the Preservation of Steamed Bread

LIU Xiu-li, LI Zhen-jing, ZHOU Qing-li

(Key Laboratory of Food Nutrition and Safety Tianjin University of Science and Technology, Ministry of Education, School of Food Engineering and Biotechnology, Tian University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: To investigate the effect of photons on the preservation of steamed bread, fresh steamed bread was used as the raw material and sensory evaluation was employed. The effects of photon fields on the texture, viscosity characteristics, starch retrogradation, and prediction of protein secondary structure of steamed bread were studied using a TA-XT.Plus texture analyzer, scanning electron microscope (SEM), rapid viscosity analyzer (RVA), differential scanning calorimeter (DSC), and Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy. The results indicated that, after the samples were stored at 4 °C for 2 d, 4 d, 7 d, and 12 d, the sensory scores of the photon-treated group were all higher than those of control group and mold spots appeared on the control samples on day 12. With increasing storage time, the water loss rate, hardness, and retrogradation degree of steamed bread in the photon-treated group were lower than those of the control group. Moreover, the amounts of β -sheet and β -turns of the photon-treated group were higher and lower than those of the control group, respectively. The above results revealed that the preservation effects of photons on steamed bread could be achieved by affecting the starch retrogradation and protein secondary structure of steamed bread.

Key words: photon; steamed bread; starch; protein; preservation

馒头是我国大部分地区人民深爱的主食。近年来, 随着生活节奏的加快, 商品馒头日益成为人们的需求, 但由于馒头在贮存过程中极易出现孔洞增加、硬度增加、品质下降和口感变差^[1]等变质问题, 因此延长馒头保质期成为了馒头工业化生产中急需解决的问题。目前, 我国一些科研人员为了延缓馒头老化延长其保质期做了大量研究工作, 出现了速冻馒头^[2], 涂膜保鲜馒头^[3]和真空包装^[4]馒头, 但是由于操作复杂且成

收稿日期: 2016-04-11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31271950)

作者简介: 刘秀丽 (1990-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与保鲜

通讯作者: 周庆礼 (1963-), 男, 研究员, 硕士生导师, 研究方向: 食品科学

本较高在馒头保鲜贮存过程中没有得到广泛推广。

光量子技术作为一种新型应用科学技术, 在生物学、医学、农业以及食品工业领域均得到了相应的应用。近年来, 随着光量子技术在农业和食品工业^[5]的不断深入, 光量子保鲜技术开始引起更多人的注意。光量子最初是由爱因斯坦作为物理学概念^[6]提出, 将其定义为一种规范玻色子, 而在量子场论中光量子被认为是电磁相互作用的媒介子。与其他量子一样, 光量子具有波粒二象性。2015年4月中旬一则报道称扎努西·伊莱克斯推出的新一款冰箱的冷藏室采用了光量子保鲜技术, 其冷藏室设有LED光量子保鲜灯, 使蔬菜中的叶绿素和维生素等有机物保持在最高水平。光量子具有一定的杀菌作用, 对蛋白质的高级结构^[7]以及生物酶活性具有一定的调解作用, 但是光量子杀

菌理论不能完全解释光量子对食品保鲜的作用。目前光量子保鲜技术的研究还处于起始阶段, 现有的光量子保鲜技术的文献报道也仅仅停留在果蔬保鲜^[8], 光量子技术在面制品保鲜方面还是一片空白。

本课题以新鲜馒头为原料, 通过感官评价研究光量子对馒头的保鲜效果, 并利用现代分析检测技术进行相关指标检测, 探究光量子在 4 °C 条件下对馒头的可能的作用机理, 旨在为馒头保鲜提供新途径, 为光量子保鲜技术提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 原料

小麦粉: 天津利金粮油股份有限公司; 活性干酵母: 安琪酵母股份有限公司; 古福碱面, 北京闵松经贸有限公司。

1.2 主要仪器设备

光量子装置, 自制; 低温培养箱, 上海一恒有科技有限公司; CHRIST 真空冷冻干燥机, 北京五洲东方

科技发展有限公司; TBF-32 发酵箱, 加拿大雷鸟食品机械有限公司; TA-XT Plus 质构仪, 英国 Stable Micro System 公司; 扫描式电子显微镜, 日本日立公司; 超低温冰箱, Thermo 公司 TDL-5-A; 傅里叶红外光谱仪, 布鲁克仪器公司。

1.3 实验方法

1.3.1 馒头样品的制作

面粉+水(50%)+酵母(0.8%)+碳酸氢钠(0.1%)→和面→发酵(45 min)成型→醒发(30 min)→蒸制(15 min)→冷却。

1.3.2 馒头的贮存条件

将冷却 1 h 后的馒头样品用保鲜膜将其密封, 平均分成两组, 将两组样品分别置于装有光量子装置的 4 °C 冰箱和 4 °C 普通冰箱中, 贮存 21 d。

1.3.3 光量子对馒头的保鲜作用

1.3.3.1 光量子对馒头感官品质的影响

感官评价标准在 GB/T 21118-2007 的基础上进行了稍稍修改, 12 个评价人员以表 1 作为评价标准, 对馒头进行评价打分。

表 1 感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria

项目	评分标准	满分
表面结构	表面光滑, 无气泡, 无塌陷, 无皱缩, 无霉斑, 正常的面粉发酵蒸制白色	15
组织结构	内部结构均匀一致, 气孔较细密, 无黄色碱斑等, 无异物	15
口感	硬度适中, 无生面感, 不粘牙, 不牙疼	25
弹性	具有一定的弹性, 咀嚼性	20
滋味和气味	具有小麦粉蒸制后应有的滋味和香味	25

1.3.3.2 馒头失水率测定

馒头失水率: 分别测定馒头冷却 1 h、贮存 2 d、4 d、6 d、8 d 和 10 d 后两组馒头重量, 计算馒头失水质量分数。

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

式中, w 为馒头失水率; m_1 为冷却 1 h 的馒头质量, g; m_2 为贮存后馒头的质量, g。

1.3.3.3 馒头质构特性测定

取待测馒头芯部, 将其切成 2 cm 的方块, 使用 TA-XT.plus 质构仪进行测试, 探头选用 P/36。设定参数为: 压缩率 60%, 测前速为 1 mm/s, 测试速为 0.8 mm/s, 测后速为 0.8 mm/s, 触压力为 5 g, 压缩两次, 时间间隔 5 s, 测定三次得到评价馒头质构的特定参数: 硬度、弹性、粘聚性、胶着度和咀嚼度。其中馒头的硬度是反映其品质的重要指标。

1.3.3.4 馒头微观结构的观察

将样品切成 1 cm×0.5 cm×0.5 cm 的块状, -80 °C 下预冻 5 h 后, 真空干燥, 用镊子自然掰开, 将掰开面朝上固定在样品台上, SEM 观察馒头样品的微观结构。

1.3.3.5 馒头的黏度特性测定

馒头黏度的测定以 AACC 标准方法为基础, 并进行相应的改动。将冻干的样品研磨成粉末, 准确称取 3.0 g, 加入 25 mL 蒸馏水, 于 RVA 专用铝盒内, 搅拌均匀。条件参数设定: 50 °C 下保持 1 min; 以 10 °C/min 的速度上升到 95 °C(3.5 min); 95 °C 下保持 2.5 min; 以 10 °C/min 下降到 50 °C(3.5 min); 50 °C 下保持 1.5 min; 起初 10 s 内以 960 r/min 转速运转, 之后保持在 160 r/min。测得馒头的黏度曲线, 得到 5 个特征参数: 峰值黏度、谷值黏度、崩解值、最终黏度和回生值。

1.3.3.6 馒头回生程度测定

准确称量 3.5 mg 样品于坩埚中, 用压样器密封,

差示扫描热量法 (DSC) 进行测定。扫描温度范围为 20 °C~150 °C, 扫描速率为 10 °C/min, 以空坩埚作参比, 每个样品做 2 个平行。

1.3.3.7 馒头品质变化机理的定性分析

称取 1 mg 样品和 150 mg 溴化钾与研钵中, 将其研至贴壁, 采用傅里叶去卷积红外光谱仪测定样品中蛋白质酰胺 I 带的吸收光谱和 1300~800 cm⁻¹ 波数段的红外吸收光谱, 并进行定性和定量分析。

1.4 数据分析

结果以重复的均值±标准差表示。试验数据采用 Spss 17 和 GraphPad Prism5 作图软件对数据进行方差分析和作图。

2 结果与讨论

2.1 光量子对馒头感官品质的影响

馒头的表观性状^[9]直接影响消费者对其接受能力。针对白面馒头而言, 表面光滑洁净, 无气泡, 无塌陷, 无皱缩, 无霉斑才符合广大消费者的需求。如图 1 所示, 贮存 2 d, 无论是对照组还是光量子组馒头的表观性状良好, 基本观察不出差别, 随着贮存时间的延长, 贮存到 12 d 时, 对照组样品馒头出现了小霉点, 这在很大程度上影响了其感官评分, 而光量子组馒头与新鲜馒头没有太大差别。16 d 时, 对照组出现了大霉斑, 光量子组局部也出现了白色粉末状的不良性状, 复蒸后不良性状消失。贮存到三周左右, 两者均表现出不能被人接受的发霉现象, 但是很明显能看出, 对照组发霉程度远远大于光量子组, 并且对照组出现了不同颜色的霉斑。

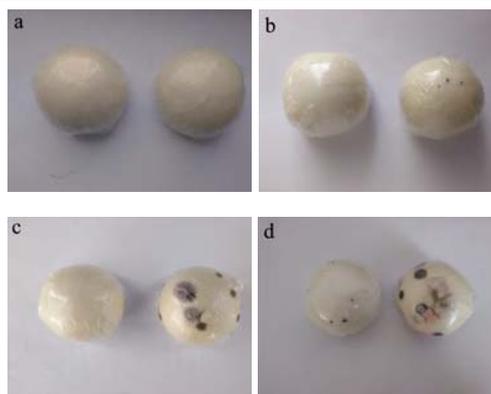


图 1 不同贮存时间的馒头图

Fig.1 Images of steamed bread samples after different storage times

注: a、b、c 和 d 分别是光量子组 (左) 和对照组 (右) 贮存 2 d、12 d、16 d 和 20 d 的馒头。

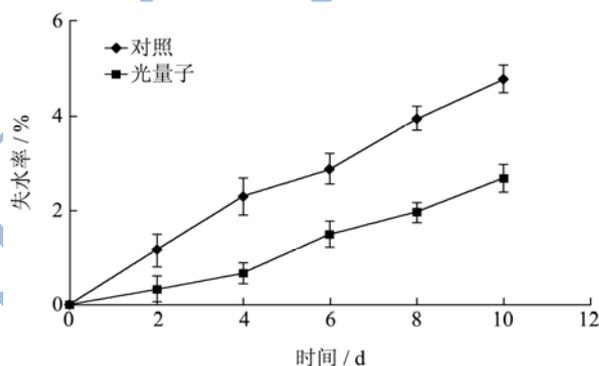


图 2 馒头失水率变化

Fig.2 Variation of the water loss rate of steamed bread

同时由感官评价结果可以得出, 贮存 2 d, 对照组和光量子组馒头均有较高的感官评分, 贮存到 4 d 后, 光量子组感官评分高于对照组, 并且在 12 d 时, 两者的差异尤为明显, 这在一定程度上说明: 光量子对馒头具有一定的保鲜作用。

表 2 馒头感官评价结果

Table 2 Results of sensory evaluation of steamed bread

时间	组别	表面结构	组织结构	口感	弹性	滋味、气味	总分
2 d	D	13.78±0.15 ^a	14.12±0.18 ^a	22.62±0.17 ^a	18.71±0.22 ^a	23.27±0.19 ^a	92.5±0.01 ^a
	G	13.81±0.11 ^a	14.24±0.23 ^a	23.01±0.22 ^a	18.70±0.17 ^a	23.58±0.12 ^a	93.34±0.05 ^a
4 d	D	12.91±0.14 ^a	11.05±0.18 ^a	20.97±0.15 ^a	15.32±0.12 ^a	20.11±0.16 ^a	80.36±0.12 ^a
	G	13.77±0.17 ^a	12.93±0.14 ^b	22.57±0.15 ^a	17.21±0.22 ^b	22.28±0.24 ^b	88.76±0.09 ^b
7 d	D	9.07±0.12 ^a	8.91±0.21 ^a	16.63±0.23 ^a	12.87±0.15 ^a	13.27±0.09 ^a	60.75±0.16 ^a
	G	11.39±0.19 ^b	11.76±0.11 ^b	19.31±0.21 ^b	14.91±0.21 ^b	17.93±0.12 ^b	75.3±0.21 ^b
12 d	D	5.03±0.21 ^a	7.30±0.22 ^a	13.87±0.19 ^a	7.91±0.14 ^a	9.55±0.24 ^a	43.66±0.18 ^a
	G	10.59±0.13 ^b	8.54±0.31 ^b	16.69±0.07 ^b	12.07±0.21 ^b	15.01±0.17 ^b	62.90±0.22 ^b

注: D 表示对照组; G 表示光量子组, 同一指标, 同天相比, 角标字母不同的表示差异显著 ($p < 0.05$)。

2.2 馒头失水率变化

水是构成食品 and 食品原料的重要成分之一，也是对食品功能特性贡献最大的构成之一。馒头是含水量较大的面制品，在贮存期间，水分含量损失对其硬度、口感及其保藏性等方面都具有重要的影响。由图 2 可以看出，贮存 10 d，光量子的失水率在 2.5% 左右，而对照组达到了 4.5% 以上，并且整个过程中光量子组馒头失水率明显低于对照组，说明光量子在馒头保藏过程中充分发挥了其持水能力，延缓了馒头的水分散失速度，这对延长馒头的货架期有很大的帮助。

2.3 馒头质构特性的变化

贮存过程中，随着水分含量的散失，馒头所含部分非晶体的淀粉由无序结构转变成有序的结晶结构^[10]，分子稳定性被破坏，水分散失，导致馒头硬度增

加，并且出现掉渣等不良性状。赵仁勇^[11]等研究在储存过程中馒头的理化指标的变化并进行了相关性分析，确定馒头中心部分的硬度和弹性^[12]在一定程度上反映着馒头的老化程度。

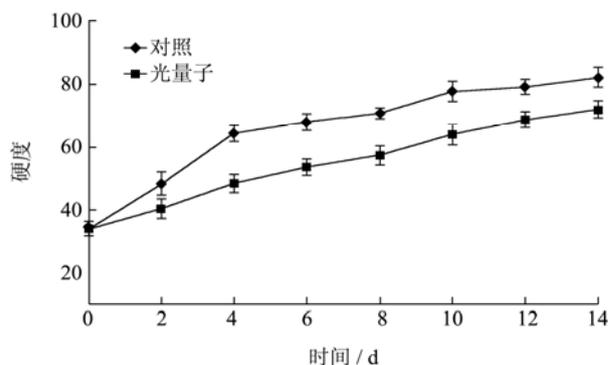


图 3 馒头的硬度变化

Fig.3 Variation of the hardness of steamed bread

表 3 光量子对馒头质构特性的影响

Table 3 Effects of photons on the texture properties of steamed bread

时间/d	组别	硬度/N	弹性	粘聚性	胶着度	咀嚼度	回复性
0	--	34.08±2.273	0.876±0.251	0.71±0.046	31.74±2.637	24.33±2.770	0.30±0.042
2	D	48.324±3.550 ^a	0.785±0.039 ^a	0.472±0.017 ^a	27.271±2.100 ^a	21.270±2.197 ^a	0.146±0.003 ^a
	G	42.401±2.980 ^a	0.845±0.067 ^b	0.459±0.005 ^a	27.712±2.507 ^a	21.789±2.619 ^a	0.159±0.055 ^a
4	D	64.382±2.592 ^a	0.768±0.018 ^a	0.388±0.090 ^a	26.258±1.875 ^a	20.657±1.859 ^a	0.127±0.003 ^a
	G	48.393±2.797 ^b	0.798±0.025 ^a	0.412±0.009 ^b	27.288±1.556 ^a	20.905±3.796 ^a	0.149±0.007 ^b
6	D	67.840±2.557 ^a	0.755±0.046 ^a	0.385±0.019 ^a	25.254±2.104 ^a	20.600±2.107 ^a	0.122±0.005 ^a
	G	53.668±2.656 ^b	0.795±0.018 ^a	0.399±0.013 ^a	26.780±2.183 ^a	20.714±3.394 ^a	0.124±0.007 ^a
8	D	70.587±1.807 ^a	0.763±0.006 ^a	0.380±0.011 ^a	24.172±2.476 ^a	20.087±1.939 ^a	0.117±0.007 ^a
	G	57.164±3.126 ^b	0.784±0.041 ^a	0.392±0.017 ^a	26.719±2.817 ^b	20.592±3.795 ^a	0.123±0.006 ^a
10	D	77.741±3.020 ^a	0.756±0.064 ^a	0.378±0.012 ^a	23.751±2.566 ^a	19.790±1.400 ^a	0.117±0.004 ^a
	G	63.989±3.292 ^b	0.767±0.045 ^a	0.389±0.013 ^a	26.458±2.575 ^b	20.421±3.603 ^a	0.122±0.005 ^b
12	D	79.124±2.355 ^a	0.728±0.052 ^a	0.371±0.004 ^a	22.778±2.116 ^a	17.302±2.271 ^a	0.117±0.003 ^a
	G	68.564±2.758 ^b	0.763±0.075 ^a	0.377±0.022 ^a	24.301±1.297 ^b	18.586±2.345 ^a	0.121±0.008 ^a
14	D	82.056±3.197 ^a	0.577±0.387 ^a	0.369±0.010 ^a	19.464±1.657 ^a	15.216±2.559 ^a	0.115±0.004 ^a
	G	71.792±2.786 ^b	0.746±0.049 ^b	0.381±0.016 ^a	21.678±1.946 ^b	16.545±1.440 ^a	0.119±0.004 ^a

注：D 表示对照组；G 表示光量子组，同一指标，同天相比，角标字母不同的表示差异显著 ($p < 0.05$)。

由图 3 可知，随着贮存时间的延长，无论是对照组还是光量子组馒头的硬度都逐渐增加，但与对照组相比，光量子组馒头的硬度相对对照组上升速率较慢，并且硬度始终低于对照组，说明光量子馒头的老化程度低于对照组。从表 3 可以看出，到 14 d，对照组馒头硬度从原来的 34.083 增加到 82.056，光量子组馒头硬度由 34.083 增加到 71.792，方差结果显示，贮存 2 d 后，对照组硬度明显高于光量子组，并且明显差异显著。同时，由表 3 可以看出，对照组馒头的弹性由开始的 0.876 降低到 0.577，光量子组馒头弹性由 0.876 降低

到 0.746，其弹性降低幅度明显低于对照组，这也说明光量子组馒头较长时间保证了口感。结果表明，光量子在一定程度上降低了馒头的硬化速率，维持了馒头的弹性，延缓了馒头的老化的发生。

2.4 光量子对馒头微观结构的影响

由图 4 分析可知，馒头储藏 2 d，淀粉颗粒与面筋蛋白结合较为紧密，淀粉颗粒被面筋蛋白紧密的裹住，淀粉颗粒与面筋蛋白没有明显的界限，由此说明，对照组和光量子组的馒头所含的面筋蛋白仍保持良好的

完整性。贮存 6 d, 对照组部分淀粉颗粒裸露出来, 光量子组内部结构完好, 而对照组储存 14 d, 从电镜图中可以清晰的看到淀粉和蛋白质之间结合变的松散, 两者之间的界限清晰可见, 光量子组蛋白质网络结构也有一定程度的破坏, 淀粉和蛋白质交联作用降低, 但整体破坏程度较对照组低, 储存 20 d, 对照组与光量子组均出现了明显的界限, 但对照组出现了很多细线样的菌丝纤维。

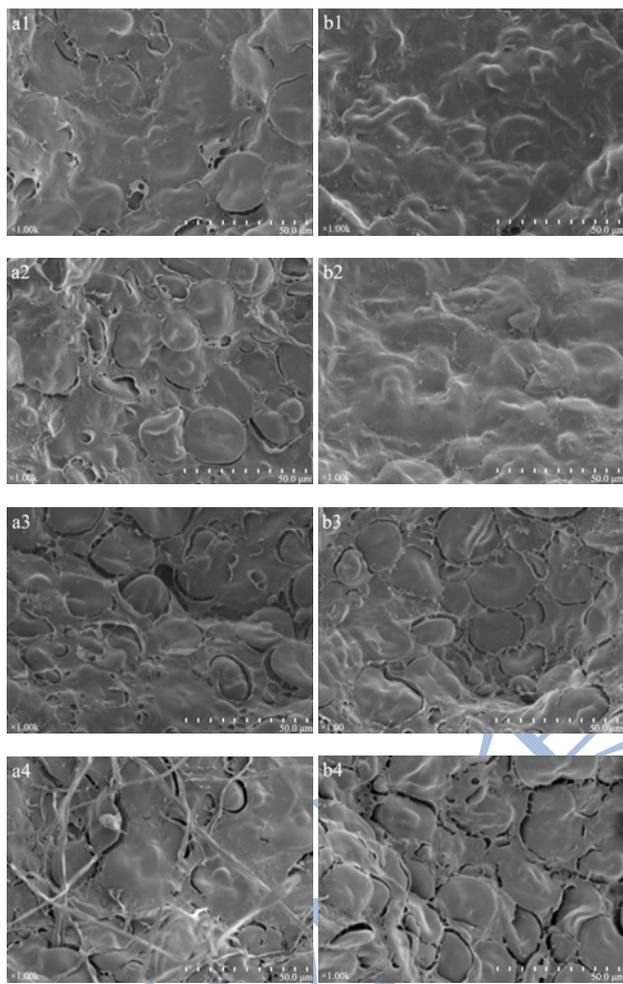


图 4 馒头电镜图

Fig.4 Scanning electron micrographs of steamed bread (×1k)

注: a₁、a₂、a₃和 a₄分别是 2 d、6 d、14 d 和 20 d 对照组的馒头电镜图; b₁、b₂、b₃和 b₄分别是 2 d、6 d、14 d 和 20 d 光量子组的馒头电镜图。

结果表明, 随着储藏时间的延长, 馒头蛋白质的网络结构发生改变, 面筋蛋白发生断裂等现象, 导致馒头的微观结构发生恶化, 进而影响馒头的质量。面筋蛋白网络结构的改变与蛋白质自身性质密切相关, 但也不排除淀粉分子颗粒与面筋蛋白的交联作用对蛋白网络^[10]性质的改变。由此推测, 光量子可能通过影响蛋白质结构以及蛋白质与淀粉颗粒的交互作用, 进而减小的面筋蛋白的断裂现象的发生, 延长馒头的贮存期。

2.5 贮存过程中馒头的黏度特性比较

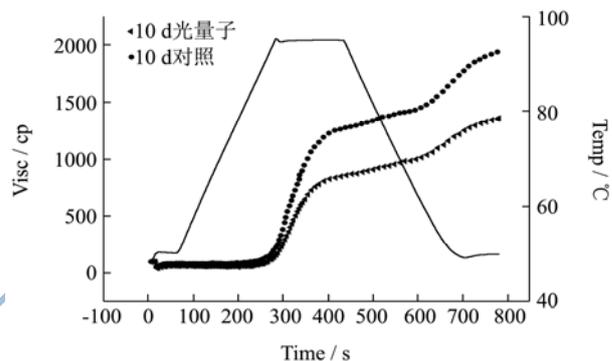


图 5 不同贮存条件的 RVA 特性曲线

Fig.5 RVA characteristic curve of different storage conditions

图 5 为 4 °C 条件下贮存 10 d 馒头的黏度曲线, 加热初始, 对照组和光量子组馒头的黏度很低且基本保持不变, 加热到 6 min 左右时黏度突然升高, 这可能是由于达到一定温度馒头所含的淀粉成分的晶体结构开始熔融, 淀粉颗粒溶胀, 分子流动阻力增大。随着温度升高, 淀粉颗粒结构破坏, 成黏糊状态, 黏度达到最大。然后, 95 °C 保持 2.5 min 后, 淀粉颗粒极度溶胀破裂, 在剪切力的作用下, 直链淀粉与淀粉颗粒脱离, 黏度应该出现下降趋势。由于馒头含有多种组分, 不是单一的纯淀粉成分, 可能受到淀粉与蛋白质等其它组分的影响图 5 中下降趋势不明显, 随着温度下降, 分子热运动能力减弱, 导致分子流动阻力增大, 样品黏度上升。从图中可以看出, 贮存 10 d, 光量子组峰值黏度高于对照组。

表 4 馒头贮存过程中 RVA 特征值

Table 4 RVA profile characteristics of steamed bread during storage

时间/d	组别	峰值黏度	谷值黏度	崩解值	最终黏度	回生值
2	D	811±2.17 ^a	723±3.61 ^a	88±1.13 ^a	1310±3.25 ^a	587±7.17 ^a
	G	797±3.23 ^b	734±3.52 ^a	63±0.91 ^b	1305±2.56 ^a	571±5.47 ^a
6	D	826±4.01 ^a	732±2.59 ^a	94±2.15 ^a	1359±4.22 ^a	627±6.68 ^a
	G	798±2.79 ^b	732±4.14 ^a	66±1.47 ^b	1354±38.9 ^a	622±3.24 ^a

转下页

接上页

14	D	917±3.19 ^a	822±2.42 ^a	95±1.89 ^a	1540±1.32 ^a	718±5.67 ^a
	G	854±2.73 ^a	777±3.17 ^b	77±2.14 ^b	1425±4.79 ^b	648±4.11 ^b
20	D	946±5.23 ^a	849±2.91 ^a	97±2.35 ^a	1617±4.34 ^a	768±6.33 ^a
	G	899±1.86 ^b	803±1.98 ^b	96±1.67 ^b	1357±2.56 ^b	734±4.48 ^b

注: D表示对照组; G表示光量子组, 同一指标, 同天相比, 角标字母不同的表示差异显著 ($p<0.05$)。

由图 5 和表 4 的结果可知, 贮存过程中, 对照组和光量子组峰值黏度在 750~950 之间, 且光量子组峰值黏度低于对照组, 光量子组的崩解值和回生值均低于对照组。缪铭等^[13]研究中提到淀粉的崩解值越小, 说明其溶胀后的淀粉颗粒强度越大, 不易破裂, 其稳定性好, 老化程度越小。上述结果表明, 光量子可能通过影响淀粉颗粒的结构延缓了馒头老化现象的发生。

2.6 贮存过程中馒头的 DSC 测定

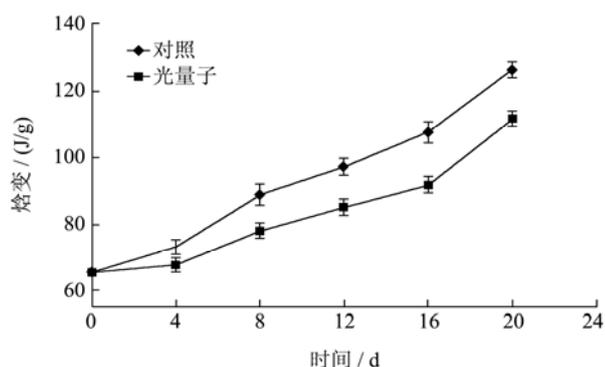


图 6 贮存过程中馒头热焓值变化

Fig.6 Variation of the heat enthalpy of steamed bread during storage

支链淀粉重结晶^[14]是引起馒头硬化的重要因素, 由图 6 可以看出, 随着贮存时间的延长, 热焓值也越来越大, 表明馒头所含淀粉的支链淀粉成分重结晶程度增大, 馒头的硬化程度随之增加, 这与质构测定的结果一致。光量子组淀粉重新熔融所需热量明显低于对照组, 且差异显著, 说明光量子组馒头老化程度低于对照组。在一定程度上说明光量子抑制的淀粉重结晶现象的发生。

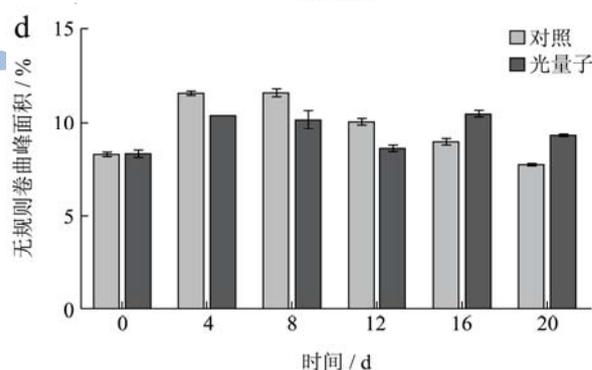
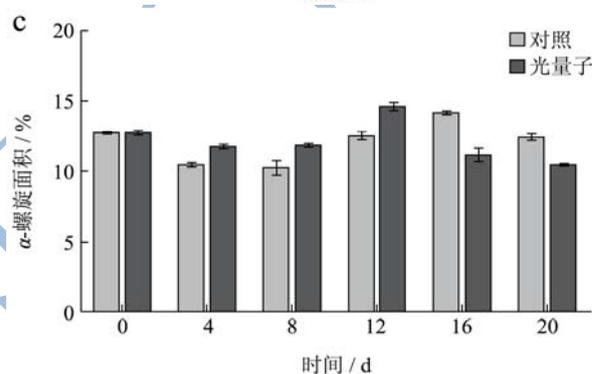
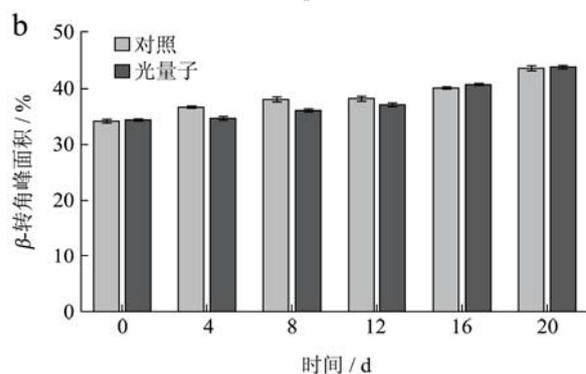
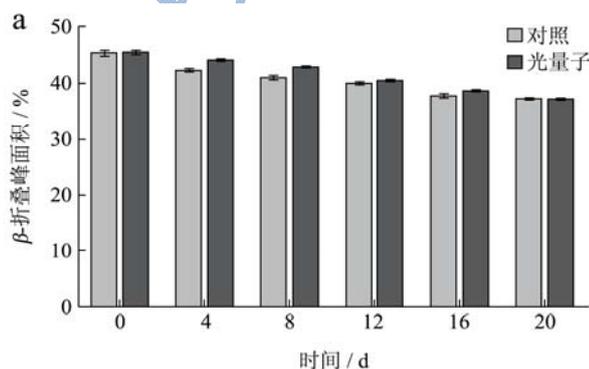


图 7 光量子对蛋白质二级结构的影响

Fig.7 Effects of photons on the secondary protein structure

2.7 红外光谱分析

2.7.1 光量子对蛋白质二级结构的影响

酰胺 I 区 (1700~1600 cm^{-1}) 所对应的红外光谱谱峰^[15]可定性的反映蛋白质二级结构上的变化。通常 1600~1640 cm^{-1} 所对应的红外谱峰可归属为 β -折叠; 1640~1650 cm^{-1} 区域为无规则卷曲; 1650~1660 cm^{-1} 和 1600~1700 cm^{-1} 区域归属为 α -螺旋和 β -转角。馒头中的面筋蛋白在很大程度上影响着馒头的口感以及货架期, 而面筋蛋白的功能特性主要取决于其内部的氢

键、共价键和疏水键的作用以及分子间的键合力的大小。蛋白质的二级结构改变影响着面筋蛋白网络结构的稳定性。

从上图 7a 和图 7b 可以看出,随着贮存时间的延长,无论是对照组还是光量子组,酰胺 I 带中 β -折叠结构的百分含量均呈现下降趋势,而 β -转角百分含量增多,可以推测,在一定范围内。面筋蛋白中 β -折叠的含量越高蛋白质的网络结构越完整,而 β -转角含量降低将有利于维持蛋白质的网络结构,结论与李曼等^[1]人的研究一致。同时可以得到,与对照组相比,在贮存过程中,光量子组 β -折叠百分含量均高于对照组, β -转角的百分含量低于对照组,尽管两种结构的百分含量变化量未达到显著性差异,但是所表现出来的感官品质差别很明显。酰胺 I 带中其它两种结构未发现明显的规律。光量子保藏条件下面筋蛋白的二级结构的改变可能在抑制面筋网络结构的破坏方面有一定的贡献。

2.7.2 光量子对淀粉回生度的影响

淀粉回生是淀粉分子结构有无序状态转变变成有序结构的现象。有研究表明^[15],在红外图谱中,1047 cm^{-1} 与 1020 cm^{-1} 波段下的峰高比值反映了淀粉分子的有序结构和无定形结构的相对比例关系,可以作为淀粉回生程度的指标,其比值越大,表明回生程度越大;而 980 cm^{-1} 与 1020 cm^{-1} 峰强比则表示淀粉分子的单链螺旋有序结构与无定形结构的比例关系,其比值越大,表明淀粉颗粒中有序化程度越高。在馒头红外分析中结果显示,可能由于淀粉和蛋白质等多种成分的影响,波数段整体发生了红移。

表 5 馒头回生度

Table 5 Retrogradation degree of steamed bread

样品	回生度		
	H1049/1022	H990/1022	
4 d	D	0.956±0.021 ^a	0.926±0.011 ^a
	G	0.875±0.009 ^b	0.862±0.061 ^a
8 d	D	0.985±0.030 ^a	0.965±0.005 ^a
	G	0.921±0.023 ^b	0.925±0.008 ^b
12 d	D	1.011±0.009 ^a	1.017±0.025 ^a
	G	0.978±0.003 ^b	0.987±0.011 ^b
16 d	D	1.099±0.019 ^a	1.085±0.017 ^a
	G	1.030±0.070 ^a	1.051±0.004 ^b

注: D 表示对照组; G 表示光量子组,同一指标,同天相比,角标字母不同的表示差异显著 ($p < 0.05$)。

通过对 1300~800 cm^{-1} 波段处的红外特征峰进行分析处理,得到了不同贮存时间的对照组与光量子组馒头中淀粉结构中 1049 cm^{-1} 、1022 cm^{-1} 和 990 cm^{-1}

波数段峰强度变化,并计算了 1049/1022 和 990/1022 峰强度的比值。表 5 表明,随着贮存时间的延长,1049 cm^{-1} 与 1022 cm^{-1} 波数段的峰强比和 990 cm^{-1} 与 1022 cm^{-1} 波数段的峰强比都呈现递增趋势,但相同贮存时间段内,光量子组的两组峰强比值均低于对照组,即光量子组馒头的回生程度低于对照组,此结果表明,光量子在一定程度上抑制了淀粉的老化现象的发生。

3 结论

3.1 在馒头贮存过程中,光量子可以延缓水分含量的散失,降低馒头的硬度的增加速率,维持馒头较高的弹性和回复性,保证了馒头的新鲜口感。通过差示热量扫描、快速粘度仪、扫描电镜观察和红外光谱综合分析可得,光量子可能通过影响蛋白质的二级结构和淀粉颗粒的晶体结构以及淀粉颗粒与蛋白质的相互作用,延缓的淀粉的回生,维持了蛋白网络结构的完整性,从而相对的提高馒头的质量,延长的馒头的保质期。

3.2 目前,对于光量子保鲜的研究仅在果蔬有所涉及,对于面制品等还是一片空白,本研究以馒头为原料研究了光量子对其保鲜作用,结果表明,光量子可以延缓馒头老化现象的发生,维持馒头质量,这为馒头保鲜提供了新的途径,为光量子对面制品保鲜机制研究提供了理论基础。

参考文献

- [1] 李曼. 生鲜面制品的品质劣变机制及调控研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014
LI Man. Deterioration mechanisms of fresh noodles and the regulation technology thereof [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014
- [2] 张国治, 张龙, 张先起. 速冻馒头生产工艺研究[J]. 郑州工程学院学报, 2002, 23(3): 56-59
ZHANG Guo-zhi, ZHANG Long, ZHANG Xian-qi. Technology study on frozen steamed bread [J]. Journal of Zhengzhou Engineering Institute, 2002, 23(3): 56-59
- [3] 何学勇, 刘长虹, 李志建. 馒头“涂膜”保鲜技术初步研究[J]. 粮食加工, 2014, 4: 45-47
HE Xue-yong, LIU Chang-hong, LI Zhi-jian. Coating preservation of steamed bread [J]. Grain Processing, 2014, 4: 45-47
- [4] 吴立根, 王岸娜, 屈凌波. 真空包装馒头常温储藏品质变化研究[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2015, 30(3): 11-14
WU Li-gen, WANG An-na, QU Ling-bo. Study on

- characteristics of steamed bread in vacuum package during the period of storage under indoor temperature [J]. Journal of Zhengzhou University of Light Industry (Nature Science Edition), 2015, 30(3): 11-14
- [5] 邱元武.光子学在农业和食品工业中的应用[J].激光与光电子学进展,2002,39(5):51-55
QIU Yuan-wu. The applications of photonics in agriculture and food industry [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2002, 39(5): 51-55
- [6] 段开敏,郭光灿.“光子论”诞生 110 周年[J].物理,2015, 44(8):489-496
DUAN Kai-min, GUO Guang-can. A hundred years of the photon [J]. Physics, 2015, 44(8): 489-496
- [7] Renzetti S, Dal Bello F, Arendt E K. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase [J]. Journal of Cereal Science, 2008, 48(1): 33-45
- [8] 赵冬倩,周庆礼,王昌禄,等.光子对草莓保鲜效果及草莓内部结构的影响[J].现代食品科技,2015,7:24
ZHAO Dong-qian, ZHOU Qing-li, WANG Chang-lu, et al. Effect of light quantum field on preservation and internal structure of strawberries [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 7: 24
- [9] 王明,刘建伟,张国栋,等.面包质构特性测定方法的研究(VI)-面包硬度与感官评价的关系及压缩速度对面包硬度测定值的影响[J].粮食储藏,2013,42(2):28-31
WANG Ming, LIU Jian-wei, ZHANG Guo-dong, et al. Study on testing method of texture characteristics of bread(VI)-the relationship between the bread hardness and sensory evaluation and the impact of bread compression speed on bread hardness measured value [J]. Grain Storage, 2013, 42(2): 28-31
- [10] Wang P, Tao H, Jin Z, et al. The final established physicochemical properties of steamed bread made from frozen dough: study of the combined effects of gluten polymerization, water content and starch crystallinity on bread firmness [J]. Journal of Cereal Science, 2015, 63: 116-121
- [11] 赵仁勇,王金水.馒头老化指标的初步研究[J].中国粮油学报,2002,17(5):14-17
ZHAO Ren-yong, WANG Jin-shui. Initial study on staling indexes of steamed bread [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2002, 17(5): 14-17
- [12] 陈宇飞,杨柳.蛋白面包贮藏期间理化指标的变化[J].粮油加工,2014,5:55-57
CHEN Yu-fei, YANG Liu. Changes of physicochemical indexes for protein bread during storage [J]. Grain Processing, 2014, 5: 55-57
- [13] 缪铭,江波,张涛,等.慢消化淀粉的研究与分析[J].食品与发酵工业 2007,33(3):85-90
MIAO Ming, JIANG Bo, ZHANG Tao, et al. A review of research and analysis of slowly digestible starch [J]. Food and Fermentation Industries, 2007, 33(3): 85-90
- [14] Besbes E, Le Bail A, Seetharaman K. Impact of local hydrothermal treatment during bread baking on soluble amylose, firmness, amylopectin retrogradation and water mobility during bread staling [J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(1): 304-314
- [15] 石振兴,熊捷,叶君.FT-IR 研究 CMC,MCC 对小麦淀粉的抗回生规律[J].现代食品科技,2014,30(3):33-37
SHI Zhen-xing, XIONG Jian, YE Jun. Effects of CMC and MCC on resisting retrogradation regularity and mechanism of wheat starch by FT-IR [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(3): 33-37