

休闲豆腐干贮藏过程中品质变化研究

Research on quality change of leisure dried Tofu during storage

卜宇芳¹ 李文强¹ 谢灵来¹ 赵良忠^{1,2}

BU Yu-fang¹ LI Wen-qiang¹ XIE Ling-lai¹ ZHAO Liang-zhong^{1,2}

(1. 邵阳学院生物与化学工程系, 湖南 邵阳 422000; 2. 豆制品加工技术湖南省应用基础研究基地, 湖南 邵阳 422000)

(1. Department of Biological and Chemical Engineering, Shaoyang University, Shaoyang, Hunan 422000, China; 2. Soybean Processing Techniques of The Application and Basic Research Base in Hunan Province, Shaoyang University, Shaoyang, Hunan 422000, China)

摘要:以休闲豆腐干为研究对象,在常温下贮藏 180 d,利用感官评价和热量成分检测仪、质构仪等快速检测手段研究休闲豆腐干货架期内品质变化。结果表明:随着贮藏时间的延长,豆腐干品质越来越差;60~90 d 是豆腐干品质微变时期,营养组分和质构特性变化小,90~180 d 是其品质显著变化时期,水分含量骤减,蛋白质、脂肪含量显著升高,碳水化合物含量持续下降;硬度、咀嚼性、粘聚性显著增大,回复性下降。主要营养物质含量变化是引起豆腐干质构特性变化的主要原因。并确定硬度和咀嚼性是贮藏过程中影响豆腐干品质变化的关键指标。建议豆制品企业将豆干保质期定为 120~150 d。

关键词:休闲豆腐干;贮藏过程;质构仪;品质变化

Abstract: The quality changes of leisure dried tofu was investigated during storage under room temperature. The results showed that: the quality of dried tofu was getting worse with duration of storage time. From 60 to 90 days, the component contents and texture of dried tofu changed slightly; As time was prolonged from 90 to 180 days, there was significant change in contents and texture. Moisture decreased sharply, protein and fat increased significantly, carbohydrate decline gradually; the hardness, chewiness, cohesiveness increased, and resilience decreased. It was concluded that the change of texture is mainly caused by component contents of dried tofu, the hardness and chewiness were the key indicators of quality of dried tofu during storage.

Keywords: leisure dried Tofu; storage; texture; quality change

休闲豆腐干是以大豆为原料制成的豆腐干,经熏制、卤制、调味等工艺加工而成的小包装食品,其味美可口,营养丰富,越来越受消费者喜爱^[1-2]。休闲豆腐干水分活度高、蛋白质和脂肪含量丰富,极易受到微生物污染或因复杂的理化变化而导致品质下降,缩短货架期^[3-5]。随着豆制品企业食品安全意识的加强和杀菌工艺的提高,货架期内由微生物引起的胀包、溶解等品质问题已得到改善。而豆腐干因流通时间的延长逐渐出现的质构变硬,弹性丧失,酸败等非微生物引起的品质劣变,成为阻碍豆制品行业发展的新难题。

食品的货架寿命(保质期)是指预包装食品在标签指明的贮存条件下,保持品质的期限,不仅包括卫生品质(主要指微生物限量),还包括感官要求和理化品质^[6-7]。随着消费者健康理念的提升以及品质要求的提高,贮藏过程中食品营养成分和质构等品质劣变逐渐成为人们关注的热点。王春叶^[8]和 张彩^[9]研究发现随着贮藏时间的延长,豆干硬度、咀嚼性和凝聚性对消费者的接受性影响最大。但二者研究周期短,不能反映休闲豆制品完整货架期内的品质变化。

本研究拟采用感官评价、热量成分检测仪和质构仪分析等方法,对常温下不同贮藏时间的休闲豆腐干进行感官评价,测定并分析其主要成分和质构特性。以期初步探索贮藏过程中非微生物因素引起的豆腐干品质变化机理,为保证货架期内豆腐干产品品质稳定、延长货架期等实际问题的解决提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

休闲豆腐干:湖南某食品有限公司,25 g 铝箔真空独立包装,包装上注明保质期为常温下 180 d。

1.2 仪器与设备

组织捣碎匀浆机:JJ-2 型,金坛市中大仪器厂;
质构仪:LS 型,美国阿美特克有限公司;

基金项目:湖南省重点实验室建设项目(编号:2013TP4068);2014 年湖南省研究生科研项目(编号:CX2014B440)

作者简介:卜宇芳,女,邵阳学院在读硕士研究生。

通讯作者:赵良忠(1963—),男,邵阳学院教授,硕士。

E-mail:syl169@163.com

收稿日期:2015-12-13

热量成分检测仪:CA-HM,日本JWP公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品处理 将样品置于常温下6个月(2014年9月~2015年3月,模拟样品家中放置的情况,避光),分别于0,30,60,90,120,150,180 d进行感官评价、主要成分含量和质构特性的测定。

表 1 贮藏室月平均温度							
Table 1 Monthly mean temperature							
月份	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
温度/℃	28	19	13	8	8	9	11

1.3.2 感官评价 感官评价小组由20人组成,男女各10人,均为邵阳学院食品工程研究生,具备食品感官评价专业技能,采用评分检验法^[10]对不同贮藏时间的豆腐干样品进行5点标度评分: +2表示非常喜欢; +1表示喜欢; 0表示一般; -1表示不喜欢; -2表示很不喜欢。判断不同贮藏时间样品间的感官质量是否存在差异。

1.3.3 主要成分含量测定 样品经组织捣碎匀浆机捣碎后,铺满反射盘,采用热量成分检测仪 Prepared foods 模式快速测定豆腐干水分、蛋白质、脂肪和碳水化合物含量^[11]。

1.3.4 质构特性指标测定 称取5.00 g豆腐干放置于质构仪托盘上,测试豆腐干中心点,对其进行硬度、弹性、粘聚性、咀嚼性和回复性5个指标的测定。TPA测试参数: P5探头为直径5 mm的圆底探头,下压样品速度: 10.0 mm/min,探头离开样品回到测定前位置的速度: 30.0 mm/min,下压程度: 20%,预载应力: 0.05 N,两次咬合中间停顿时间: 3 s。

1.4 数据处理方法

数据采用SPSS 20.0数据处理软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 豆腐干贮藏过程感官评定结果

随贮藏时间的延长,豆腐干口感品质越来越差,见表2。0~60 d的豆腐干感官评分远远高于其他贮藏时间的豆腐干,方差分析表明0~60 d内豆腐干口感上无显著差异($P<0.05$),而与其他贮藏时间的豆腐干存在显著性差异。0~60 d内的豆腐干豆香、卤香浓郁,弹性好,有嚼劲,口感优质,80%

表 2 豆腐干接受性检验结果统计表 [†]						
Table 2 The results of acceptance test						
贮藏天数/d	+2	+1	0	-1	-2	平均分
0	14	4	2	0	0	1.60 ^a
30	12	7	1	0	0	1.55 ^a
60	12	6	2	0	0	1.50 ^a
90	0	3	12	5	0	-0.10 ^b
120	0	0	17	3	0	-0.15 ^b
150	0	0	2	11	7	-1.25 ^c
180	0	0	0	14	6	-1.30 ^c

† 平均分一列肩部不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

的品评员表示喜欢或非常喜欢。贮藏90~120 d的豆腐干分别与贮藏0~60 d和150~180 d的豆腐干存在显著差异,这段时间的豆腐干豆香、卤香降低,咀嚼性一般。贮藏150~180 d的豆腐干,表层硬,略有一定酸味,无嚼劲,质构松散,有颗粒感,口感差,100%的品评人员不喜欢这类豆腐干,说明此时的豆干对消费者而言已经不具有市场竞争力。

2.2 豆腐干贮藏过程主要成分含量变化

豆腐干富含丰富的水分、蛋白质、脂肪和碳水化合物等营养物质,随贮藏时间的延长发生了一系列变化。表3显示,水分含量先上升再下降后回升,90 d时达到最高值(61.033%),除30~60 d内比较稳定外,一直处于显著变化中($P<0.05$)。水分含量的上升,可能是水分与有机物的结合强度减弱^[12];随着贮藏时间的延长,理化反应加剧需要水的参与^{[13]3-12},加上自由水逃逸能力加强,扩散蒸发,导致豆腐干内水分含量显著降低^[14]。180 d时因脂肪氧化产生过氧化物和自由基加速蛋白质氧化变性,持水力下降,促使凝胶网状结构中的水向自由水转化导致水分含量又回升。

蛋白质和脂肪含量变化趋势主要受水分变化趋势的影响,相关性分析结果表明水分与蛋白质、脂肪呈极显著负相关, r 分别为-0.924,-0.860,因此,水分含量的上升导致蛋白质和脂肪含量的显著下降。90 d后蛋白质间的相互作用增强,变化增大,会形成聚集体^[15-16],可能导致口感上颗粒感增强。脂肪含量变化相对蛋白质更复杂,主要是因为植物油脂含较多的不饱和双键更易氧化酸败^[17-18]。碳水化合物含量变化小,60 d后一直缓慢下降,且变化程度小。从豆腐干

表 3 豆腐干贮藏过程水分、蛋白质、脂肪、碳水化合物含量变化 [†]					
Table 3 The main component contents of dried tofu during storage (n=9)					
贮藏天数/d	水分/%	蛋白质/%	脂肪/%	碳水化合物/%	
0	57.567±0.480 ^c	18.300±0.424 ^{ab}	14.500±0.510 ^c	8.633±0.602 ^a	
30	59.033±0.618 ^d	18.900±0.327 ^{bc}	15.300±0.294 ^d	8.267±0.741 ^{ab}	
60	59.133±1.250 ^d	17.300±0.796 ^a	13.833±0.579 ^c	8.733±0.563 ^a	
90	61.033±1.144 ^e	17.400±0.257 ^a	12.933±0.776 ^a	7.633±0.899 ^{bc}	
120	55.600±0.865 ^b	21.320±0.561 ^d	15.160±0.206 ^d	6.920±0.371 ^{cd}	
150	52.350±1.016 ^a	24.383±0.218 ^e	16.083±0.845 ^e	6.200±0.324 ^d	
180	59.550±0.637 ^d	19.400±0.521 ^c	13.767±0.335 ^b	6.267±0.850 ^d	

† 同列数据尾部无相同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

营养成分显著变化的时间来看,变化速度:脂肪>水分>蛋白质>碳水化合物。脂肪的氧化和水分的迁移,会诱导蛋白质发生变性、化学键破坏、结构伸展^[19]等一系列连锁反应,因此豆腐干主要成分之间除脂肪与碳水化合物外均存在良好的相关性(见表 4)。

表 4 豆腐干主要成分之间相关性分析[†]

Table 4 Correlation analysis between the components of dried tofu			
营养组分	水分	蛋白质	脂肪
蛋白质	−0.924 * *		
脂肪	−0.860 * *	0.811 * *	
碳水化合物	0.474 *	−0.743 * *	−0.280

† * . 在 0.05 水平(双侧)上显著相关; * *. 在 0.01 水平(双侧)上极显著相关。

2.3 豆腐干贮藏过程质构特性变化

质构特性是食品重要的物理特性^[20],包括硬度、咀嚼性、回复性、粘聚性和弹性等指标,是评判产品质量的重要依据。硬度是指使食品达到一定变形所需要的力^[21],即将豆腐干咬断的力。咀嚼性只用于描述固态样品,指咀嚼到样品能够吞咽的工作量^[22]。表 5 中,随着贮藏时间的增加,豆腐干硬度和咀嚼性变化趋势一致,0~150 d 一直在增大(仅 60 d 时出现下降),且 90 d 后变化幅度增大,180 d 时略有下降。豆腐干是高蛋白质凝胶食品^[23],水分含量下降^[24-25],

蛋白凝胶强度增大^[26],引起豆腐干的硬度和咀嚼性增大,因此表 6 相关性分析显示蛋白质和硬度、咀嚼性都高度相关, r 分别为 0.802,0.848,碳水化合物与硬度、咀嚼性的相关性更高, r 分别为−0.960,−0.948,因为碳水化合物能够与其他物质形成紧密的线团^{[13]47-49},大大提高食品的硬度和粘聚性。随着硬度和咀嚼性增大,咀嚼豆腐干更费力,超过一定程度,口感上不可接受。

回复性反映了食品快速恢复形变的能力^[27]。付军杰^[28]研究认为胶凝系统对产品的回复性有很大影响,蛋白质和碳水化合物都能够促进食品凝胶网络结构的形成,增大粘性和延展性,从而适当增加产品的回复性。豆腐干中的回复性主要是受碳水化合物的影响, $r=0.753$ 。粘聚性是消费者咀嚼时,样品抵抗受损并紧密连接使其保持完整的性质^[29],它反映了豆腐内部结合力的大小。60 d 内回复性和粘聚性均较稳定,90 d 时分别出现最大值和最小值。其中粘聚性总体变化不显著,最小值的出现可能是水分含量增高暂时性地导致其与蛋白质间的内部结合力下降。但回复性和粘聚性变化趋势恰好相反的原因还有待研究。弹性在贮存过程中出现波动性变化但显著性差异小($P<0.05$),对豆腐干口感品质影响不大,与王春叶^{[8]3-5}研究结果一致。综合感官、主要成分含量和质构变化结果,推测 60~90 d 是豆腐干内部品质变化初期,90~180 d 为品质变化显著时期,豆腐干质构特性的改变与主要组分含量的变化有着密切的关系。

表 5 豆腐干贮藏过程中硬度、咀嚼性、回复性、粘聚性、弹性变化

Table 5 The TPA result of dried tofu during storage					
贮藏天数/d	硬度/N	咀嚼性/N	回复性	粘聚性	弹性
0	1.87±0.16 ^a	1.60±0.31 ^a	0.632 5±0.007 0 ^b	1.263 1±0.034 7 ^{ab}	0.969 5±0.021 4 ^{ab}
30	2.53±0.36 ^b	2.27±0.23 ^b	0.609 6±0.028 3 ^{bcd}	1.270 7±0.032 8 ^a	0.972 9±0.017 0 ^b
60	2.39±0.22 ^{ab}	2.10±0.14 ^{ab}	0.626 0±0.002 5 ^{bc}	1.268 3±0.024 8 ^a	0.960 0±0.018 7 ^{ab}
90	2.59±0.41 ^b	2.33±0.27 ^b	0.654 6±0.008 4 ^a	1.191 2±0.024 8 ^b	0.964 1±0.015 4 ^{ab}
120	4.27±0.37 ^c	3.72±0.23 ^c	0.602 3±0.020 9 ^{cd}	1.227 9±0.014 3 ^{ab}	0.954 6±0.003 2 ^a
150	4.80±0.30 ^c	4.26±0.34 ^d	0.575 3±0.018 0 ^e	1.230 4±0.032 4 ^{ab}	0.959 4±0.013 0 ^{ab}
180	465.00±45.00 ^e	374.00±37.00 ^e	0.532 3±0.027 2 ^f	1.428 0±0.065 6 ^c	0.967 2±0.017 1 ^{ab}

† 同列数据尾部无相同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

2.4 贮藏过程中豆腐干品质变化关键指标的确定

通过主成分分析(principal components analysis,PCA)提取出 3 个主成分见表 7。第一主成分能解释样品整体劣变

信息的 59.799%,第二主成分解释样品劣变信息的 23.465%,第三主成分解释样品劣变信息的 12.058%,反映了豆腐干劣变的绝大部分信息 95.322%。

表 6 豆腐干质构特性与主要成分相关性分析

Table 6 Multivariate correlations between TPA and the main component content of dried tofu				
质构特性	水分	蛋白质	脂肪	碳水化合物
硬度	−0.578 * *	0.802 * *	0.409	−0.960 * *
咀嚼性	−0.636 * *	0.848 * *	0.468 *	−0.948 * *
回复性	0.320	−0.536 *	−0.317	0.753 * *
粘聚性	0.247	−0.094	−0.164	−0.283
弹性	0.501 *	−0.450 *	−0.153	0.381

† * . 在 0.05 水平(双侧)上显著相关; * *. 在 0.01 水平(双侧)上极显著相关。

表 7 方差分解主成分提取分析表

Table 7 Eigenvalues and cumulative of all principal components						
成分	初始特征值			提取平方和		
	合计	方差/%	累积/%	合计	方差/%	累积/%
1	5.382	59.799 0	59.799	5.382	59.799	59.799
2	2.112	23.465 0	83.263	2.112	23.465	83.263
3	1.085	12.085 0	95.322	1.085	12.058	95.322
4	0.332	3.685 0	99.007			
5	0.084	0.293 5	100.000			
6	0.005	0.059 0				

第一主成分主要受蛋白质、硬度和咀嚼性等指标的影响见表8,第二主成分以粘聚性的影响为主,因此豆腐干的特征变化主要是以质地特征指标较显著。由于第1主成分可以解释最多的劣变信息,其中又以硬度和咀嚼性与第一主成分显著相关, r 分别达到0.954和0.968。再者,质构指标可以快速检测,更适合在产品产销过程中控制感官质量,保持品质的稳定性。确定硬度和咀嚼性是豆腐干贮藏过程中品质变化的关键指标。

表8 主成分矩阵

Table 8 Eigenvector for principal components for all the parameters of dried tofu			
成分	第一主成分	第二主成分	第三主成分
水分	-0.789	0.505	-0.260
蛋白质	0.937	-0.278	0.178
脂肪	0.642	-0.425	0.611
碳水化合物	-0.886	-0.270	0.236
硬度	0.954	0.209	-0.199
咀嚼性	0.968	0.098	-0.196
回复性	-0.742	-0.637	-0.164
粘聚性	0.165	0.931	0.184
弹性	-0.508	0.448	0.646

3 结论

本研究利用多种手段探究了常温贮藏过程中豆腐干主要成分含量和质构特性的变化。随着贮藏时间的延长,豆腐干品质越来越差。60~90 d是豆腐干品质微变时期,营养组分和质构特性变化幅度小;90~180 d是其品质变化显著时期,消费者可接受度下降,水分含量骤减,蛋白质、脂肪含量显著升高,碳水化合物含量持续下降,质构方面硬度、咀嚼性、粘聚性显著增大,回复性下降。主要营养物质含量变化是引起豆腐干质构特性变化的主要原因。确定硬度和咀嚼性是豆腐干贮藏过程中品质变化的关键指标。

市场上多数休闲豆干产品保质期约为6~9个月,保质期的确定没有实际的试验支撑。而本试验结果表明,6~9个月的产品早已不能满足消费者对豆干感官等方面的需求。根据感官评价和营养组分变化,建议豆制品企业将豆干保质期定为120~150 d。如何在较短的货架期内合理控制和延缓豆腐干品质下降将是接下来的研究重点。

参考文献

[1] 杨倩. 调味豆腐干加工及保藏的研究[D]. 无锡:江南大学,2012: 3-15.

[2] Meera K, In-sook S, Jin-sook H. Evaluation of microbiological, physicochemical and sensory qualities of chitosan tofu during storage[J]. Journal of Food Quality, 2007, 27(1): 27-40.

[3] 张友峰, 赵玲艳. 豆腐干类熟食工艺优化及防腐研究进展[J]. 农产品加工(学刊), 2013, 13(7): 55-57.

[4] 郭佳婧. 非发酵豆制品中耐热细菌的分离鉴定及耐热性能研究[D]. 长沙:湖南农业大学, 2012: 5-23.

[5] 刘秀兰. 传统非发酵豆制品中污染物调查及安全监管对策研究[D]. 长沙:湖南农业大学, 2008: 1-18.

[6] Durga S B, Alok J, Ankur M, et al. Kinetics of changes in shelf life parameters during storage of pearl millet based kheer mix and development of a shelf life prediction model[J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(12): 3 740-3 748.

[7] 曹悦, 陆利霞, 熊晓辉. 食品货架期预测新技术进展[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(5): 165-168.

[8] 王春叶. 豆干感官品质研究[D]. 重庆:西南大学, 2008.

[9] 张彩. 预包装豆干货架寿命的研究[D]. 重庆:西南大学, 2007: 1-3.

[10] 韩北忠, 董华荣. 食品感官评价[M]. 北京:中国林业出版社, 2009: 168-170.

[11] 小野浩之. 一种食品热量方法及测定装置: 日本, 4747371[P]. 2007-03-10.

[12] 余瑞鑫. 水分迁移变化对米制食品品质的影响[D]. 杭州:浙江工商大学, 2010: 5-9.

[13] 阚建全. 食品化学[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2008.

[14] 蒋琼华, 赵良忠, 李化强, 等. 休闲豆制品贮藏期的品质变化及腐败机理研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 116-119, 211.

[15] Mahler H C, Friess W, Grauschopf U, et al. Protein aggregation: pathways, induction factors and analysis[J]. Journal of Pharmaceutical Sciences, 2009, 98(3): 2 909-2 934.

[16] Cromwell M E, Hilario E, Jacobson F. Protein aggregation and bioprocessing[J]. The Journal of American Association of Pharmaceutical Sciences, 2006, 8(1): 572-579.

[17] 杨春燕, 厉重先, 荣瑞芬. 植物油脂的氧化酸败机制及其预防研究[J]. 农产品加工(学刊), 2010, 4(12): 85-88.

[18] Li Hong-yan, Fan Ya-wei, Li Jing, et al. Evaluating and predicting the oxidative stability of vegetable oils with different fatty acid compositions[J]. Journal of Food Science, 2013, 78(4): 633-641.

[19] 章银良, 安巧云. 脂肪氧化诱导蛋白质变性的模拟体系研究[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(9): 11-14.

[20] 李苗云, 郝红涛, 赵改名, 等. 高温火腿肠在贮藏过程中质构稳定性研究[J]. 食品科学, 2010, 31(23): 473-476.

[21] Bourne M C. Food texture and viseosity[M]. 2nd Edition. England: Aeademie Press, 2002: 55-56.

[22] 夏杨毅. 毅昌烤乳猪加工过程品质特性变化研究[D]. 重庆:西南大学, 2012: 15-18.

[23] Li Teng, Rui Xin, Li Wei, et al. Water distribution in tofu and application of T₂ relaxation measurements in determination of Tofu's water-holding capacity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62: 8 594-8 600.

[24] 吴娜, 孙为正, 任娇艳, 等. 广式腊肠加工过程中质构与色泽变化的研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(3): 95-97.

[25] Jannie S V, Magni M, Pekka T. Analysis of sensory quality changes during storage of a modified atmosphere packaged meat product(pizza topping) by an electronic nose system[J]. LWT-Food Science and Technology, 2006, 40(6): 1 083-1 094.

[26] Ma Han-jun, Ledward D A. High pressure/thermal treatment effects on the texture of beef muscle[J]. Meat Science, 2004(68): 347-355.

[27] 姜松, 王海鸥. TPA 质构分析及测试条件对苹果 TPA 质构分析的影响[J]. 食品科学, 2004, 25(12): 68-71.

[28] 付军杰. 灌肠类低温肉制品品质变化研究[D]. 重庆:西南大学, 2012: 7-8.

[29] 潘秀娟. 苹果采后质地变化的破坏与非破坏检测研究[D]. 南京:南京农业大学, 2004: 13-14.