

Nisin及纳他霉素生物保鲜剂对干豆腐保鲜效果的研究

杨立娜^{1,2}, 赵亚凡¹, 马丹丹¹, 朱丹实¹, 朱力杰¹, 王胜男¹, 马涛¹, 何余堂¹, 刘贺^{1*}

(1. 渤海大学食品科学与工程学院, 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 辽宁锦州 121013; 2. 北京工商大学, 中加食品营养与健康联合实验室, 北京 100048)

摘要:以干豆腐为原料, 研究 Nisin、纳他霉素和 Nisin-纳他霉素复配对干豆腐的保鲜效果, 通过感官评定、挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)、菌落总数、pH 值、电子鼻和色差值对干豆腐的新鲜程度进行评价。结果表明, 在贮藏过程中, 其他试验组相比, Nisin-纳他霉素复配处理的干豆腐 TVB-N 值、菌落总数均最小; 颜色没有明显变化, 并有效减缓干豆腐的风味腐败。因此, Nisin-纳他霉素复配可在 37 °C 条件下有效延长干豆腐保鲜期, 其保鲜效果明显优于 Nisin 和纳他霉素单独保鲜。

关键词:干豆腐; Nisin; 纳他霉素; 复配; 保鲜

Effect of Nisin and Natamycin Biological Preservative on Fresh-keeping of Dried Tofu

YANG Li-na^{1,2}, ZHAO Ya-fan¹, MA Dan-dan¹, ZHU Dan-shi¹, ZHU Li-jie¹,
WANG Sheng-nan¹, MA Tao¹, HE Yu-tang¹, LIU He^{1*}

(1. College of Food Science and Technology, Bohai University, National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, Liaoning, China; 2. Beijing Technology & Business University, China-Canada Joint Laboratory of Food Nutrition and Health, Beijing 100048, China)

Abstract: In order to study the effect of Nisin, natamycin, and Nisin-natamycin on the preservation of dried tofu, different indicators were measured, including volatile base nitrogen (total volatile basic nitrogen, TVB-N), aerobic bacterial count, pH, color difference, electronic nose and sensory evaluation. The results showed, during storage period, compared with other treatment group, the dried tofu of Nisin-natamycin treatment had the lowest TVB-N value and the total number of colonies, without obvious effect on the color change, and effectively slow down the flavor and spoilage of dried tofu. Therefore, preservation period of dried tofu was significantly prolonged by Nisin-natamycin mixed preservatives at 37 °C. And its preservation effect was obviously best than Nisin and natamycin alone.

Key words: dried tofu; Nisin; natamycin; mix; fresh-keeping

引文格式:

杨立娜, 赵亚凡, 马丹丹, 等. Nisin及纳他霉素生物保鲜剂对干豆腐保鲜效果的研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(10): 21-27

YANG Lina, ZHAO Yafan, MA Dandan, et al. Effect of Nisin and Natamycin Biological Preservative on Fresh-keeping of Dried Tofu[J]. Food Research and Development, 2020, 41(10): 21-27

基金项目: 中加食品营养与健康联合实验室开放课题(KFKT-ZJ-201806); 辽宁省科技厅重点研发计划指导计划项目(2017205005)

作者简介: 杨立娜(1987—), 女(汉), 副教授, 博士, 研究方向: 粮油食品营养与疾病预防。

* 通信作者: 刘贺(1979—), 教授, 研究方向: 食品大分子、粮油科学与技术。

豆制品是我国非常重要的一类传统食物,含有丰富的蛋白质、维生素以及铁、钙、磷、镁等多种微量元素^[1],深受广大消费者的喜爱。干豆腐作为豆制品种类之一,含有人体必需的8种氨基酸,其含有的卵磷脂可以降低血液中胆固醇含量,减少动脉粥样硬化的发生,有效预防心血管疾病,保护心脏^[2];干豆腐中的多种矿物质可以有效预防因缺钙引起的骨质疏松,促进骨骼发育^[3]。从我国目前豆制品生产与贮藏的发展现状来看,依然存在一些问题,干豆腐含水量高、易粘连,极易被金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、沙门氏菌等食源性病原菌污染^[4],使得豆制品存在着严重的安全隐患,大大缩短了产品的货架期。在夏季干豆腐更容易变质,给消费者带来了许多不便。因此,干豆腐的保鲜尤为重要。

山梨酸钾、苯甲酸钠、乳酸链球菌素以及纳他霉素均为食品中常用的保鲜剂^[5],山梨酸钾能有效地抑制霉菌、酵母菌以及一些好氧性细菌的活性,但对于嗜酸乳杆菌等一些微生物基本无效,具有一定的局限性^[6];而苯甲酸钠的防腐综合效果不及山梨酸钾且使用过程中同样存在局限性。相比来说,乳酸链球菌素(Nisin),是乳酸链球菌产生的一种多肽物质,由34个氨基酸残基组成^[7],通过干扰细胞膜的正常功能,造成细胞膜的渗透,养分流失和膜电位下降,从而导致致病菌和腐败菌细胞的死亡,并且食用后在人体内很快会水解成氨基酸,不会造成人体肠道内正常菌群的紊乱^[8],可广泛应用于肉制品、乳制品、方便食品等领域中^[9]。纳他霉素作为一种多烯烃大环内酯类抗真菌剂^[10],能有效抑制酵母菌和霉菌的生长^[11],可用其对食品表面进行处理以延长食品的保质期^[12],同时并不影响食品的风味和口味。同时赵春燕^[13]等研究不同浓度的Nisin、纳他霉素以及二者复配保鲜剂对冷却肉的保鲜效果表明Nisin和纳他霉素同时使用时,其保鲜效果要优于单独使用,二者之间存在协同作用。

本文主要采用Nisin和纳他霉素作为保鲜剂,探究Nisin、纳他霉素和Nisin-纳他霉素复配保鲜剂对干豆腐贮藏的保鲜效果^[14],通过分析干豆腐贮藏期间理化指标、微生物指标及风味成分的变化,明晰Nisin-纳他霉素复配生物保鲜剂对干豆腐贮藏品质的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

干豆腐:市售;Nisin、纳他霉素:广州硕洋食品科技有限公司;其它试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

生化培养箱(LRH):上海一恒科技有限公司;电子天平(PL602-L)、酸度计(pHC-3):梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;超净工作台(SW-CJ-2FD):苏景集团苏州安泰技术有限公司;立式高压灭菌锅(MLS-3030CH):三洋电机(广州)有限公司;电子鼻(PEN3):德国AIRSENSE公司;色彩色差计(CR-400):杭州祥盛科技有限公司。

1.3 样品处理与分组

称取新鲜的干豆腐4份,每份100g。每份喷涂不同的保鲜剂进行保鲜处理,对照组:喷洒5mL无菌水;Nisin组:喷洒5mL Nisin保鲜剂;纳他霉素组:喷洒5mL纳他霉素保鲜剂;Nisin-纳他霉素组:喷洒5mL Nisin-纳他霉素复配保鲜剂。

1.4 工艺流程

干豆腐→称重→保鲜剂喷涂→沥干→封口包装→37℃贮藏

1.5 操作要点

1.5.1 保鲜液的配置

分别称取0.01g的Nisin和0.0075g的纳他霉素,使用无菌水定容到10mL,配制Nisin保鲜剂和纳他霉素保鲜剂,再按浓度比例为4:3配成Nisin与纳他霉素复配保鲜剂。

1.5.2 保鲜液喷涂

将干豆腐展开摊在操作台上,将干豆腐正反两面均匀喷涂保鲜剂,每100g干豆腐喷涂5mL保鲜剂。

1.5.3 包装

将喷涂好的干豆腐沥干后装于食品袋中,用封口机封口。

1.5.4 成品

将包装好的干豆腐置于37℃恒温培养箱中,用于后续指标的检测。

1.6 各项指标测定方法

1.6.1 感官评价

聘请食品科学与工程专业学生10名组成评价小组进行评分,含色泽、滋味、气味和组织状态^[15],具体评分标准如表1。

表1 感官指标评价标准

Table 1 Sensory index evaluation criteria

指标	评价标准	得分
色泽	呈均匀淡黄色	17~20
	色泽变深直至深黄色	13~16
	呈现黄褐色	≤12

续表 1 感官指标评价标准

Continue table 1 Sensory index evaluation criteria

指标	评价标准	得分
滋味	口感细腻鲜嫩,味道纯正清香	25~30
	口感粗糙,滋味平淡	19~24
	有酸味,涩味,等其他不良口感	≤18
气味	具有干豆腐特有的清香	25~30
	干豆腐特有的香气平淡	19~24
	有馊味,臭味等不良气味	≤18
组织	形状完整,软硬适度,有弹性,质地细嫩,无杂质	17~20
状态	形状基本完整,质地不细嫩,弹性变差	13~16
	形状不完整,触之易碎,无弹性,表面发粘	≤12

1.6.2 挥发性盐基氮 (total volatile basic nitrogen, TVB-N)的测定

根据 GB 5009.228-2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》的微量扩散法进行测定^[16]。

1.6.3 菌落总数的测定

根据 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》测定^[17]。

1.6.4 pH值的测定

根据 GB 5009.237-2016《食品安全国家标准 食品pH值的测定》对样品的 pH 值进行测定^[18]。

1.6.5 挥发性气味的测定

把干豆腐切碎,称取 5 g 置于 50 mL 小烧杯中,用保鲜膜封住,静置 30 min 后进行电子鼻检测,每组样品重复检测 3 次。电子鼻参数^[19]:传感器清洗时间 100 s,调零时间 10 s,进样准备时间 5 s,样品采集时间 100 s,进样流速为 350 mL/min。使用 PEN3 电子鼻自带 WinMuster 软件中的主成分分析法 (principal component analysis, PCA) 和线性判别法 (linear discriminant analysis, LDA) 对干豆腐挥发性气味的指标信息进行分析处理。将不同处理的 4 组样品进行比较,在当天 (即第 0 天),样品保持新鲜的状态下,用电子鼻吸附烧杯内部空间气味方法获取数据^[20],即为新鲜组,再用 PCA 和 LDA 分析法对 4 组样品进行分析。

1.6.6 色差的测定

利用色差计对干豆腐表面 L^* , a^* , b^* 进行测定, L^* 代表明亮度, a^* , b^* 分别代表赤色度和黄色度^[7]。

总色差值 ΔE 计算公式如下所示:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

1.6.7 数据统计

每组试验重复 3 次,采用 Origin9 与 SPSS19.0 软件对数据进行分析。

2 结果分析

2.1 不同保鲜剂处理对干豆腐感官评价的影响

贮藏过程中干豆腐的感官评价结果见表 2。

表 2 贮藏过程中干豆腐的感官评价结果

Table 2 Sensory evaluation results of dried tofu during storage

时间/d	Nisin+纳他霉素(分)	Nisin(分)	纳他霉素(分)	对照(分)
1	95	92	92	68
2	87	74	70	52
3	77	54	49	38
4	51	40	37	22
5	37	30	25	6

由表 2 可以看出,随着贮藏时间的延长,干豆腐的感官品质随之下降,感官评定值总体呈现下降趋势。这可能是由于细菌的滋生、营养物质被分解以及产生各种异味物质而导致的。在表中可以看出,贮藏时间为 2 d 时,此时的对照组样品已经呈现黄褐色,表面发黏,触之即碎,产生酸味、馊味等不良气味,此时的干豆腐已经失去食用价值;Nisin、纳他霉素组样品表面变为深黄色,干豆腐特有的香气变平淡,口感变粗糙,弹性变差;而 Nisin-纳他霉素组样品仍然呈现均匀淡黄色,口感细腻,形状完整且具有独特的清香气味;贮藏时间为 3 d 时,Nisin 和纳他霉素处理组样品表面均呈现黄褐色,发软发黏,产生馊味,有破损的现象,说明此时的干豆腐已经失去食用价值,而 Nisin-纳他霉素处理组虽然表面变为深黄色,但依然保持组织状态良好,有淡淡的干豆腐独有的香气,仍可继续食用;贮藏时间为 4 d 时,此时的 Nisin-纳他霉素处理组也出现了淡淡的酸味及馊味,表面变为黄褐色,轻微发粘,部分表面变硬的情况,说明此时的干豆腐已经无法食用;贮藏时间为 5 d 时,样品已彻底发黏,出现馊味酸味,表面变硬,彻底失去食用价值。由此可见,与对照组相比,Nisin-纳他霉素处理后将产品的保质期提高了 2 倍,有效的延长了干豆腐的货架期。

2.2 不同保鲜剂处理对干豆腐挥发性盐基氮的影响

挥发性盐基氮是指食品在贮存至腐败过程中,由于霉菌和细菌的作用,使蛋白质分解而产生的氨以及胺类等碱性含氮物质^[21],这个指标通常被用来作为评判蛋白质产品的新鲜度,干豆腐在贮藏过程中 TVB-N 值的变化见图 1。

由图 1 可以看出,随着贮藏时间的增长,4 组样品的 TVB-N 值均呈现上升趋势,但 Nisin-纳他霉素组、Nisin、纳他霉素组始终低于对照组的 TVB-N 值,且其中 Nisin-纳他霉素组的 TVB-N 始终最低。而非发酵豆制品挥发性盐基氮卫生指标临界值 24 mg/100 g^[4]。由

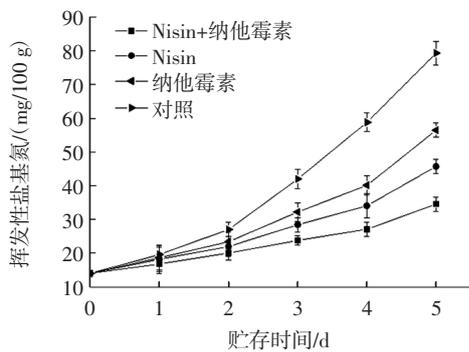


图1 干豆腐在贮藏过程中 TVB-N 值的变化

Fig.1 Changes of TVB-N value during storage of dried tofu

此可见,与对照组相比,Nisin-纳他霉素处理后有效的减少干豆腐在贮藏过程中的腐败变质,将产品在 37 ℃ 包装条件下的保质期从 1 d 延长至 3 d。

2.3 不同保鲜剂处理对干豆腐菌落总数的影响

干豆腐在贮藏过程中菌落总数的变化见图 2。

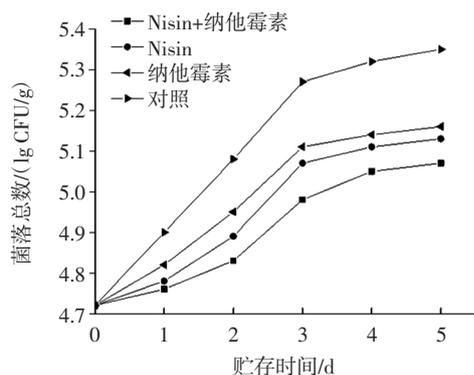


图2 干豆腐在贮藏过程中菌落总数的变化

Fig.2 Changes in the total number of colonies of dried tofu during storage

图 2 所示,在贮藏过程中微生物不断的生长繁殖,4 组样品中的菌落总数呈先上升后平缓的趋势,其中 Nisin-纳他霉素组的菌落总数始终最低。国家非发酵性豆制品菌落总数卫生标准的临界值为 5.0 lgCFU/g^[4],贮藏 2 d 时的对照组已经超过国家标准临界值;当贮藏 3 d 时,除 Nisin-纳他霉素处理组以外的 Nisin 处理组,纳他霉素处理组及对照组都已超过国家卫生标准临界值,失去食用价值;贮藏 4 d 时,复配处理组的菌落总数此时已经上升为 5.05 lgCFU/g,也已超过了国家卫生标准临界值。由此可见,从菌落总数来看,对照的保质期仅 1 d,复合处理组可延长至 3 d,说明 Nisin-纳他霉素复配保鲜剂能够有效的抑制微生物的生长繁殖,使细菌细胞溶解,破坏细菌细胞质中的基质使其失去活性^[2],且二者共同使用具有协同作用,能更加高效地杀死干豆腐中的细菌微生物,提高食品品质,减

少食品中营养破坏。因此,Nisin-纳他霉素复配保鲜剂可有效减缓干豆腐的腐败变质过程,并可延长其货架期。

2.4 不同保鲜剂处理对干豆腐 pH 值的影响

干豆腐在贮藏过程中 pH 值的变化见图 3。

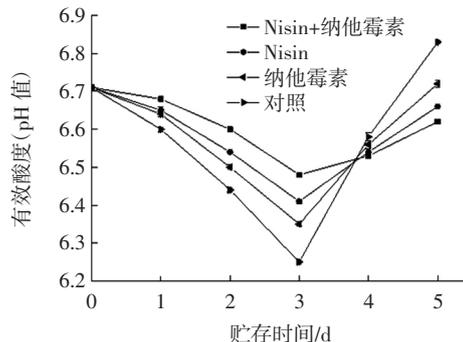


图3 干豆腐在贮藏过程中 pH 值的变化

Fig.3 Changes of pH of during storage dried tofu

由图 3 所示,4 组样品的 pH 值随着贮藏时间的延长均呈现先下降后上升的趋势,在贮藏第 3 天时出现了转折点。从图中可以看到,在贮藏 0~3 d 时,处理组和对照组的 pH 值都呈下降趋势,其中,对照组的 pH 值均最低处理组。豆制品的有效酸度为 6.45^[4],显然 37 ℃ 条件下贮藏 2 d 的对照组 pH 值已低于有效酸度值;而 Nisin 处理组和纳他霉素处理组贮藏 3 d 时,pH 值低于有效酸度值;在贮藏 3 d~5 d 时,处理组和对照组的 pH 值总体又均呈现上升趋势,此期间对照组的 pH 值始终高于其它 3 个处理组,而其中 Nisin-纳他霉素处理组始终处于最低值。此时的 pH 值越大,表明食品的腐败变质程度越大。由此可见,与对照组相比,Nisin-纳他霉素处理后将产品的保质期提高了 2 倍。而 pH 值的变化趋势为先下降后上升是因为微生物先利用豆腐中的碳水化合物产酸^[23],因此样品 pH 值下降;然后再分解样品中的蛋白质及一些含氮物质而产生碱性物质^[24],使其 pH 值又上升。Nisin-纳他霉素复配保鲜剂在前期可以有效地抑制微生物的产酸过程,使其样品 pH 值始终高于其他处理组,而在后期可以抑制蛋白质等含氮物质的分解,保证 pH 值始终为最低值。由此可见,Nisin-纳他霉素复配保鲜剂对干豆腐具有高效的防腐保鲜效果。

2.5 不同保鲜剂处理对干豆腐挥发性气味的影响

干豆腐在贮藏过程中的 PCA 分析见图 4,干豆腐在贮藏过程中 LDA 分析见图 5。

由图 4 和 5 可知,各组样品分析数据点分布在各自区域,能明显的被区分开。图 4 PCA 分析数据图可以看出,当处理第 1 天时,Nisin-纳他霉素复配处理

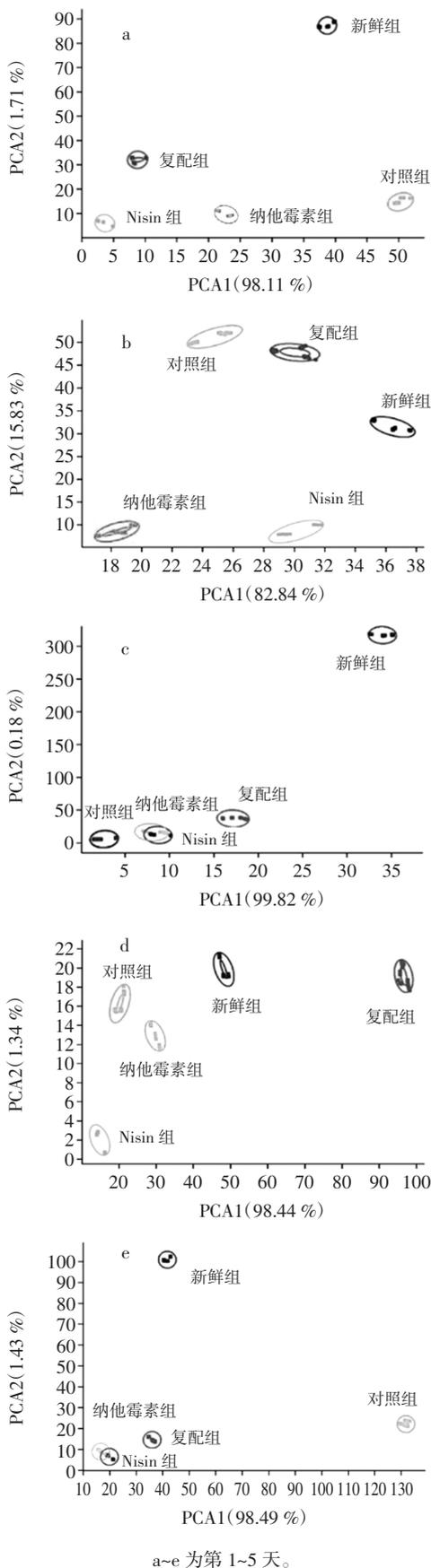


图4 干豆腐在贮藏过程中的PCA分析

Fig.4 PCA analysis of dried tofu during storage

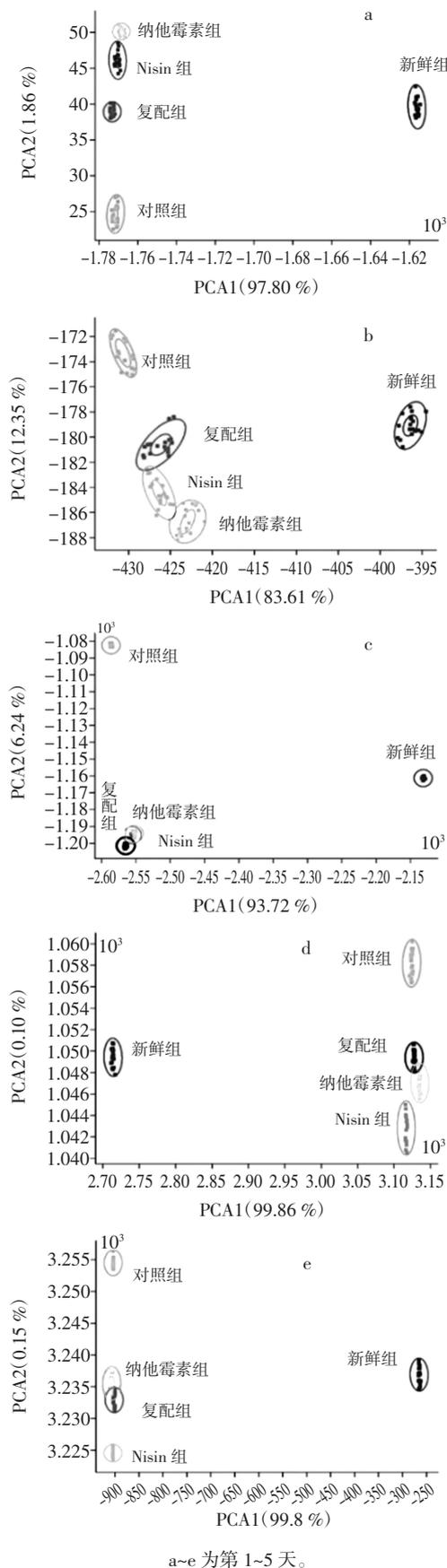


图5 干豆腐在贮藏过程中LDA分析

Fig.5 LDA analysis of dried tofu during storage

组、Nisin 处理组及纳他霉素处理组均分布在图的左下侧,对照组在图的右下侧,彼此之间距离较大。用 LDA 方法进行分析,如图 5 所示,可以看出各处理组之间均可被明显区分开来,新鲜组与处理组分布于图两侧,且 Nisin-纳他霉素处理组距离新鲜组最近,对照组距离新鲜组最远。用电子鼻检测第 2 天的不同保鲜处理组的干豆腐,由 PCA 和 LDA 分析图可得出与以上相同的结论。

当贮藏 3 d 时,干豆腐变得发黏,由图 4 PCA 分析图中可以看出,Nisin 处理组和纳他霉素处理组发生重叠,复配处理组距离新鲜组最近,而对照组距离新鲜组最远;由图 5 LDA 分析图可知,复配处理组、Nisin 处理组与纳他霉素处理组均发生重叠,这可能是由于保鲜剂自身原因所导致的结果,由此可见,此时的干豆腐内部已经发生了腐败变质,但复配保鲜组仍然最接

近于新鲜组,这与以上的贮藏第 3 天是转折点结论一致。当贮藏为第 4 天和第 5 天时,PCA 和 LDA 分析图得已无明显规律,这可能是由于样品品质变坏产生其他气体所影响,说明此时的干豆腐已经失去食用价值。由此可见,电子鼻检测结果表明,从主成分分析(PCA)和线性判别式分析(LDA)中可以得到,电子鼻可以较好的评价贮藏过程中干豆腐的挥发性气味的变化,并且可以明显的区分出复配处理组、Nisin 处理组、纳他霉素处理组以及对照组。

2.6 不同保鲜剂处理对于豆腐色差的影响

色差值,一般用于评价颜色的差别。干豆腐在贮藏过程中其颜色、亮度、光泽等都会发生变化,但是一般情况下无法通过肉眼识别,因此利用色差计对于豆腐的颜色变化进行检测^[3]。总色差值 ΔE 可以用来表示颜色的变化。储藏过程中干豆腐的色差变化见表 3。

表 3 储藏过程中干豆腐的色差变化

Table 3 Variation of color difference of dried tofu during storage

组别	L^*	a^*	b^*	ΔE^*	
1 d	Nisin+纳他霉素	84.85±0.56 ^a	-7.69±0.13 ^b	29.89±1.25 ^b	84.95±0.41 ^a
	Nisin	81.91±0.19 ^b	-7.37±0.09 ^a	33.04±0.42 ^a	82.87±0.04 ^c
	纳他霉素	83.64±0.58 ^a	-7.74±0.11 ^b	30.9±0.57 ^{ab}	83.83±0.4 ^b
	对照	82.38±0.66 ^b	-7.68±0.09 ^b	32.96±1.43 ^a	83.31±0.13 ^{bc}
2 d	Nisin+纳他霉素	82.47±0.39 ^b	-7.37±0.05 ^a	32.91±0.2 ^a	83.46±0.34 ^b
	Nisin	83.94±0.29 ^a	-7.44±0.17 ^a	30.81±0.81 ^b	84.06±0.46 ^{ab}
	纳他霉素	84.12±0.26 ^a	-7.72±0.02 ^b	31.32±0.15 ^b	84.41±0.21 ^a
	对照	84.33±0.20 ^a	-7.75±0.02 ^b	31.43±0.23 ^b	84.66±0.18 ^a
3 d	Nisin+纳他霉素	80.7±0.16 ^c	-6.69±0.05 ^a	34.39±0.39 ^a	82.17±0.05 ^c
	Nisin	84.04±0.17 ^{ab}	-7.49±0.02 ^b	31.00±0.05 ^c	84.22±0.15 ^b
	纳他霉素	83.71±0.17 ^b	-7.76±0.04 ^c	31.14±0.38 ^c	84.16±0.03 ^b
	对照	84.44±0.29 ^a	-7.88±0.05 ^d	31.91±0.14 ^b	84.92±0.23 ^a
4 d	Nisin+纳他霉素	83.76±0.25 ^c	-7.29±0.04 ^a	30.34±1.32 ^a	83.74±0.2 ^c
	Nisin	84.47±0.35 ^b	-7.34±0.05 ^a	30.55±0.56 ^a	84.48±0.17 ^b
	纳他霉素	81.9±0.1 ^d	-7.34±0.04 ^a	31.23±0.27 ^a	82.26±0.13 ^d
	对照	85.23±0.36 ^a	-7.78±0.06 ^b	30.81±0.25 ^a	85.52±0.19 ^a
5 d	Nisin+纳他霉素	82.76±0.25 ^b	-7.16±0.14 ^a	32.26±0.18 ^a	83.39±0.23 ^c
	Nisin	84.07±0.19 ^a	-7.38±0.10 ^{ab}	30.45±0.51 ^b	84.18±0.13 ^b
	纳他霉素	84.47±0.24 ^a	-7.47±0.12 ^{ab}	30.48±0.69 ^b	84.58±0.16 ^a
	对照	84.30±0.29 ^a	-7.64±0.20 ^b	31.29±0.82 ^{ab}	84.57±0.09 ^a

注:同一列不同字母表示显著性差异($p<0.05$)。

由表 3 可以看出,随着贮藏时间的延长,处理组和对照组的 ΔE 值均发生变化,从数值上来看,各组干豆腐每天差异不大,没有明显的变化;但与同天对照组相比,保鲜剂保鲜程度排序为:Nisin 与纳他霉素复配保鲜剂>Nisin>纳他霉素。

3 结论

干豆腐中营养丰富,富含大量蛋白质,但其极易发生腐败变质,利用天然保鲜剂 Nisin-纳他霉素复配保鲜剂可以有效抑制腐败菌的生长,延长干豆腐的货架期。通过感官评定、挥发性盐基氮、菌落总数、pH 值、挥发性气味及色差值对于豆腐的新鲜程度进行检测,

结果表明,干豆腐在 37 ℃保存时,Nisin-纳他霉素复配保鲜剂可有效抑制干豆腐的腐败变质,将产品的保鲜期从 1 d 延长至 3 d,有效的延长产品的货架期。因此,Nisin-纳他霉素复配保鲜剂可广泛应用于食品行业中。此外,Nisin 和纳他霉素作为经济实用型保鲜剂,既能节约成本又能高效保鲜,拥有广阔的市场空间和良好的发展前景。

参考文献:

- [1] 杨莹,尹乐斌,岳子坚,等. 休闲豆制品安全性及品质变化的研究进展[J]. 农产品加工, 2018(15): 77-79, 82
- [2] 陈泓宇. 榆树地区干豆腐的品质影响因素的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017:1-4
- [3] 李文俊. 一种玫瑰花香豆腐干的制造方法: CN201310106986.6[P]. 2014-10-01
- [4] 王敏. 非发酵性豆制品(豆腐丝)主要腐败细菌的分离鉴定及其防腐研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2004: 3-36
- [5] 谢纲忠,张全. 2013 年食品防腐剂的应用及发展趋势调研[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(11): 112-116
- [6] 任杰,邱春强,朱伟,等. 几种主要防腐抑菌性和肉类保鲜的作用研究[J]. 肉类工业, 2016(7): 52-56
- [7] 刘楠,李婷婷,仪淑敏,等. Nisin 生物保鲜剂对冷藏草鱼片的保鲜效果研究[J]. 食品科技, 2016, 41(9): 146-150
- [8] 何丽华. 豆制品防腐保鲜技术的研究进展[J]. 现代预防医学, 2007, 34(2): 294-296
- [9] 侯金丽,邢文会. Nisin 在食品工业防腐保鲜中的应用[J]. 河南科技, 2014(12): 63-64
- [10] 覃平. 纳他霉素在焙烤食品中抑菌防腐的研究[D]. 成都: 西华大学, 2015
- [11] 宋雪健,张东杰,王洪江,等. 天然生物抗菌剂纳他霉素在食品中的应用及研究进展[J]. 保鲜与加工, 2017, 17(5): 129-135
- [12] 李柯欣,江燕竹,覃平,等. 纳他霉素在月饼中抑菌防腐的研究[J]. 中国食品添加剂, 2016(3): 138-142
- [13] 赵春燕,王丹,张颖. Nisin 及纳他霉素在冷却肉中的应用研究[J]. 食品科技, 2009, 34(3): 140-143
- [14] 王亚东. 天然防腐剂对茶干致腐菌抑制作用及其机理的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2009
- [15] 何余堂,杨倩,赵丽红. 花粉多糖对酸奶贮藏中酸度及感官品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(10): 82-85
- [16] 中华人民共和国卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中挥发性盐基氮的测定:GB 5009.228-2016[S].北京: 中国标准出版社, 2016
- [17] 中华人民共和国卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定: GB 4789.2-2016[S].北京: 中国标准出版社, 2016
- [18] 中华人民共和国卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品 pH 值的测定:GB 5009.237-2016[S].北京: 中国标准出版社, 2016
- [19] 王勃,朱力杰,刘贺,等. 贮藏期间干豆腐微生物指标和感官品质的变化[J]. 食品工业, 2015, 36(10): 160-162
- [20] 徐亚丹,王俊,赵国军. 基于电子鼻的对掺假的“伊利”牛奶的检测[J]. 中国食品学报, 2006, 6(5): 111-118
- [21] 晋高伟,李婷婷,姜杨,等. 0 ℃冷藏温度下草鱼新鲜度评价[J]. 食品工业科技, 2014, 35(13): 312-316
- [22] LU H B, ZHANG F, Wang L X, et al. Study on Application of Natural Preservatives in Tofu[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2011, 26(9): 29-32
- [23] PAN M, LIU H J, GUO M X. Optimization of preservation technology to tofu by response surface method[J]. Food Research and Development, 2008, 29(11): 139-142
- [24] Riebroy S, Benjakul S, Visessanguan W, et al. Effect of iced storage of bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) on the chemical composition, properties and acceptability of Som-fug, a fermented Thai fish mince[J]. Food Chemistry, 2007, 102(1): 270-280

收稿日期:2019-05-23