

亚硝酸盐对冷藏过程中低温蒸煮香肠质构的影响

董庆利, 郭黎洋, 屠康*, 杨佳丽, 王海, 陈育彦

(南京农业大学食品科学技术学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 为探讨亚硝酸盐对腌腊肉制品质构的作用, 研究了不同亚硝酸盐添加量 (0、50、100 和 150 mg · kg⁻¹) 对低温蒸煮猪肉香肠在 0~4 °C、0~21 d 冷藏时间内质构的影响。试验结果表明, 在冷藏过程中, 香肠水分、脂肪、蛋白质、胶原蛋白和亚硝酸盐都有降低趋势。质构剖面分析 (TPA) 显示, 随着冷藏时间的增加, 香肠硬度和胶黏性增加, 弹性、黏聚性和回复性减小, 咀嚼性先增加后减小。相关分析表明, 香肠亚硝酸盐残留含量与其硬度和胶黏性显著负相关 ($P < 0.01$), 与黏聚性 ($P < 0.01$)、弹性和回复性 ($P < 0.005$) 显著正相关。基于亚硝酸盐残留含量和 TPA 指标相关分析进行的主成分分析表明, 主成分 1 (PC 1) 和主成分 2 (PC 2) 的方差贡献率分别为 65.09% 和 16.46%, 硬度、弹性、黏聚性、胶黏性和回复性在 PC 1 中起决定作用, 咀嚼性在 PC 2 中起主要作用。PC 1 和 PC 2 构成了亚硝酸盐影响蒸煮香肠冷藏期内的主要质构因素。

关键词: 亚硝酸盐; 蒸煮香肠; 质构剖面分析; 主成分分析

中图分类号: TS251.65 文献标识码: A 文章编号: 1000-2030 (2007) 03-0129-06

Effect of nitrite on the texture of cooked sausage during cold storage

DONG Qing-li, GUO Li-yang, TU Kang*, YANG Jia-li, WANG Hai, CHEN Yu-yan

(College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: In order to study the effect of nitrite on the texture of cured meat products, the effect of nitrite on the texture of cooked pork sausage during 0–21 days at 0–4 °C storage was studied. Cooked sausages like frankfurter-type were prepared at 4 levels of sodium nitrite (0, 50, 100, 150 mg · kg⁻¹) added during curing. The results indicated that moisture, fat, protein, collagen and nitrite residue contents decreased during cold storage of cooked sausage. Texture profile analysis (TPA) attributes of cooked sausage changed due to different nitrite additions, and nitrite residue content was negatively correlated significantly with hardness and adhesiveness ($P < 0.01$), positively correlated with cohesiveness ($P < 0.01$), springiness and resilience ($P < 0.05$). Furthermore, a principal component analysis (PCA) based on the correlation of nitrite residues and TPA parameters were applied for reducing variables. It demonstrated that principal component 1 (PC 1) accounted for 65.09% represented by hardness, springiness, cohesiveness, adhesiveness and resilience; and principal component 2 (PC 2) accounted for 16.46% related mainly to chewiness. These two factors can explain the instrumental TPA attributes affected by nitrite during 21 days cold storage.

Key words: nitrite; cooked sausage; texture profile analysis (TPA); principal component analysis (PCA)

蒸煮香肠属于中低温西式肉制品, 在其生产过程中, 硝酸盐和 (或) 亚硝酸盐是最常用的食品添加剂, 具有发色、抑菌、抗氧化、改善风味和质构等作用^[1]。由于亚硝酸盐具有毒性, 同时作为前提物生成的 *N*-亚硝基化合物具有致突变和致癌性^[2-4], 过量使用存在安全性问题, 我国国家标准规定腌制畜禽肉类罐头和肉制品的最大使用量为硝酸钠 (钾) 500 mg · kg⁻¹ 和亚硝酸钠 (钾) 150 mg · kg⁻¹^[5]。国内外许多学者开展了亚硝酸盐替代物及 *N*-亚硝基化合物抑制剂的研究; 同时, 亚硝酸盐对食品品质特别是香肠类产品的影响也有许多报道。这些都为解决“亚硝酸盐问题”提供了理论参考。

在过去的十几年里, 亚硝酸盐对香肠品质影响的研究包括: 抑菌^[6-8]、发色^[9-10]、抗氧化^[9,11]和风味^[12-13]。但是, 未见亚硝酸盐对腌腊肉制品特别是蒸煮香肠质构影响的相关报道。质构是肉制品品质的重要指标, 也是消费者评价食品的重要依据之一, 其是否受亚硝酸盐的影响有待进一步明确。

收稿日期: 2006-10-18

基金项目: 国家 863 项目 (2002AA248051); 教育部“新世纪优秀人才支持计划” (2005)

作者简介: 董庆利, 博士研究生。* 通讯作者: 屠康, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品检测、贮藏和加工方面的研究,

E-mail: kangtu@njau.edu.cn.

本试验通过蒸煮香肠腌制过程中添加不同量的亚硝酸盐 (0、50、100 和 150 mg · kg⁻¹), 研究冷藏过程中亚硝酸盐残留含量与蒸煮香肠质构的相关关系, 在此基础上应用主成分分析减少亚硝酸盐影响的质构指标变量, 以期明确亚硝酸盐影响质构的主要因素, 为深入研究亚硝酸盐影响蒸煮香肠的质构机理, 减少其使用量, 以及腌腊肉制品的实际生产加工和改善品质提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 蒸煮香肠原辅料与工艺流程

原料: 猪背脂和后腿肉取自屠宰 24 h 的三元杂交猪 (淮南猪 × 长白 × 约克夏), 原料来源于江苏淮安苏食肉品有限公司。

辅料 (质量分数): 食盐 3%, 复合磷酸盐 0.4%, 淀粉 5%, 大豆分离蛋白 2%, 香料 0.2%, 味精 0.15%, 冰水 10%, 抗坏血酸钠 0.05%。亚硝酸钠分别为 0、50、100 和 150 mg · kg⁻¹。

工艺流程: 修整 → 腌制 (0 ~ 4 °C, 48 h) → 斩拌 → 灌制 → 煮制 (80 °C, 40 min) → 喷淋冷却 → 冷藏。

1.2 化学成分测定

蒸煮香肠 0 ~ 21 d 冷藏期间, 每 3 d 每组的约取 200 g 样品绞碎, 应用丹麦 FOSS 公司 Food Scan Lab 型近红外光谱食品快速分析仪, 分别测定水分、脂肪、蛋白质、胶原蛋白含量。每组 3 次重复。

亚硝酸盐残留量按照 ISO 2918: 1975 盐酸萘乙二胺法测定^[14], 应用 752 型分光光度计测定 538 nm 处的吸光值, 亚硝酸盐残留量通过标准曲线确定。每组 3 次重复。

1.3 pH 值测定

参照 ISO 2917: 1999 肉和肉制品 pH 测定方法^[15], 在蒸煮香肠 0 ~ 21 d 冷藏期间, 每 3 d 测定其 pH 值, 每组 3 次重复。

1.4 质构剖面分析

应用英国 Stable Micro System 公司生产的 TA - XT2i 质构分析仪, 并通过 Texture Expert V1.22 软件来加以控制。蒸煮香肠 0 ~ 21 d 冷藏期间每 3 d 取样, 应用质构剖面分析 (texture profile analysis, TPA)。测定参数参照董庆利等^[16]的方法, 测前速度 (pre-test speed): 2.0 mm · s⁻¹, 测中速度 (test speed): 1.0 mm · s⁻¹, 测后速度 (post-test speed): 5.0 mm · s⁻¹, 压缩比 (ratio): 50%, 2 次下压间隔时间 (time between two compressions): 5.0 s, 负载类型 (trigger type): Auto - 20 g, 探头类型 (probe): P5 (5 mm CYLINDER STAINLESS), 数据收集率 (data acquisition rate): 200 s⁻¹ (point per second, PPS)。样品规格为直径 1.5 cm、高 2 cm 的圆柱体。TPA 特征值参照 Bourne^[17]的定义方法, 包括硬度 (hardness)、弹性 (springiness)、黏聚性 (cohesiveness)、胶黏性 (adhesiveness)、回复性 (resilience) 和咀嚼性 (chewiness)。每组 10 次重复。

1.5 统计分析

应用 SAS For Windows (V. 8.02) 统计软件, 计算化学成分、pH 值和 TPA 指标的平均值和标准差, 应用 Fisher's LSD 方法进行多重比较, 分析不同处理组间的差异显著性。基于亚硝酸盐残留含量和 TPA 指标相关分析, 应用主成分分析 (PCA) 减少受亚硝酸盐影响的 TPA 变量, 确定亚硝酸盐影响的主要质构因素。

2 结果与分析

2.1 香肠的水分、脂肪、蛋白质和胶原蛋白含量变化

由图 1 可见, 在蒸煮香肠 0 ~ 21 d 冷藏过程中, 各处理组香肠水分、脂肪、蛋白质和胶原蛋白含量都有降低趋势, 其中水分和蛋白质含量显著降低 ($P < 0.05$), 脂肪和胶原蛋白含量降低不显著。不同亚硝酸盐添加量 (0、50、100 和 150 mg · kg⁻¹) 的蒸煮香肠, 脂肪和蛋白质含量在处理间差异显著 ($P < 0.05$), 水分和胶原蛋白含量在处理间差异不显著, 当亚硝酸盐添加量为 150 mg · kg⁻¹ 时蒸煮香肠的蛋白质含量极显著低于其他组 ($P < 0.01$)。另外, 蒸煮香肠的 pH 值范围在 6.3 ~ 6.8 之间, 不同处理组间差异不显著, 说明亚硝酸盐对肉制品中的酸碱环境影响不显著。

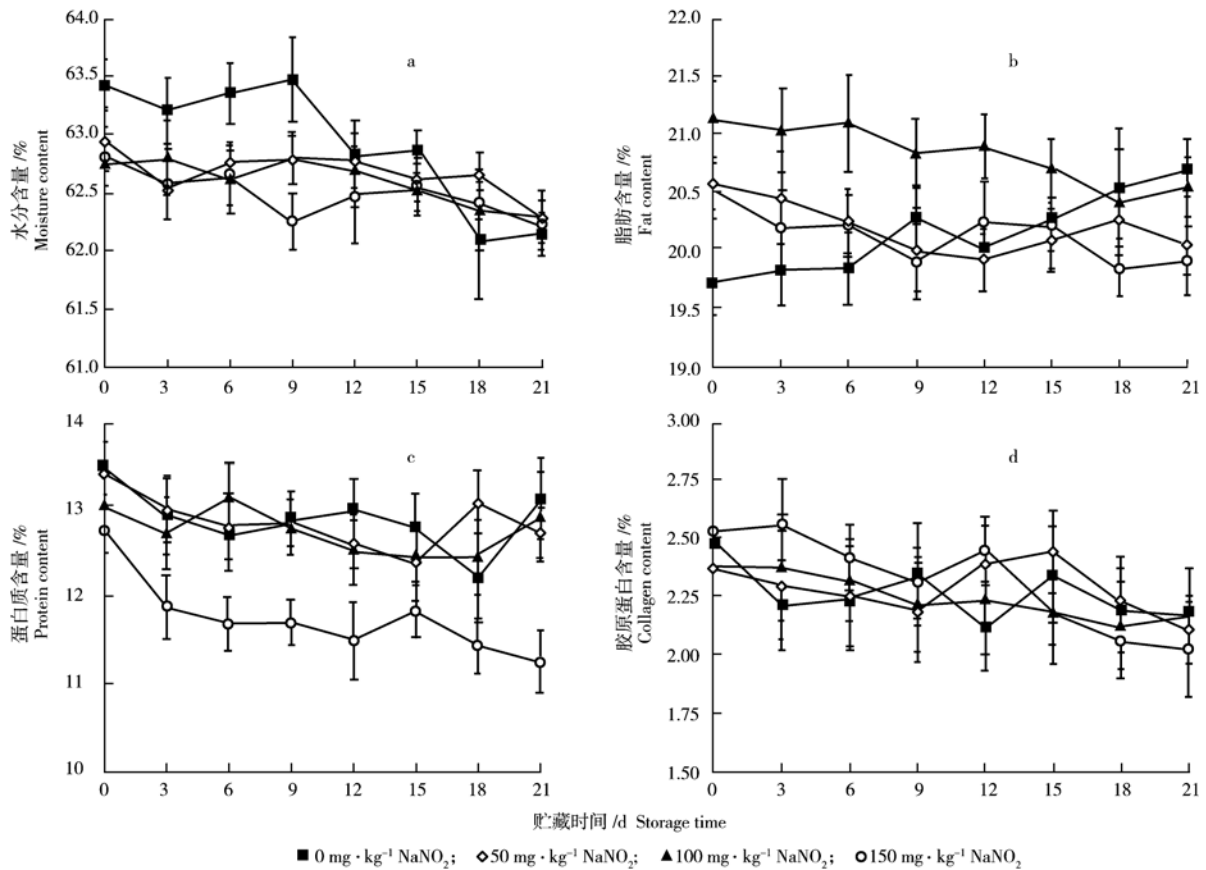


图1 蒸煮香肠冷藏过程中水分 (a)、脂肪 (b)、蛋白质 (c) 和胶原蛋白含量 (d) 的变化

Fig.1 Variations of moisture (a), fat (b), protein (c) and collagen (d) content of cooked sausages during cold storage

2.2 香肠的亚硝酸盐残留含量变化

图2表明,不同亚硝酸盐添加量的蒸煮香肠在冷藏过程中亚硝酸盐残留含量明显降低,添加量为50、100和150 mg·kg⁻¹的蒸煮香肠在冷藏期间的残留含量均低于3、10和12 mg·kg⁻¹,符合国标残留量低于30 mg·kg⁻¹的规定^[5]。有研究认为,亚硝酸盐与肉中成分的反应主要发生在腌制初期,亚硝酸盐残留含量在腌制末期已经降到了很低^[18],在冷藏期间继续保持降低趋势。也有研究发现,不同亚硝酸盐添加量(75、125和250 mg·kg⁻¹)的法兰克福香肠,其亚硝酸盐残留量在冷藏18 d内仍然维持较高含量,18 d后明显降低^[19]。

2.3 亚硝酸盐对蒸煮香肠质构的影响

2.3.1 TPA 指标变化 由图3可见,在冷藏过程中,各处理组蒸煮香肠的硬度和胶黏性增加,弹性、黏聚性和回复性减小,咀嚼性先增加后减小。其中,添加亚硝酸盐后,硬度、胶黏性和咀嚼性变化显著 ($P < 0.05$),而弹性、黏聚性和回复性减小不显著 ($P > 0.05$)。从表1可以看出,亚硝酸盐与硬度和胶黏性显著负相关 ($P < 0.01$),与黏聚性 ($P < 0.01$)、弹性和回复性 ($P < 0.05$)显著正相关,表明冷藏过程中亚硝酸盐残留含量变化对蒸煮香肠质构的变化影响显著。

TPA 测试的参数设置对结果影响较大,因此研究亚硝酸盐对蒸煮香肠 TPA 指标的影响时,只在同一参数设置上具有比较意义。由图3可知,亚硝酸盐添加后,对香肠质构特性影响较大的硬度、胶黏性

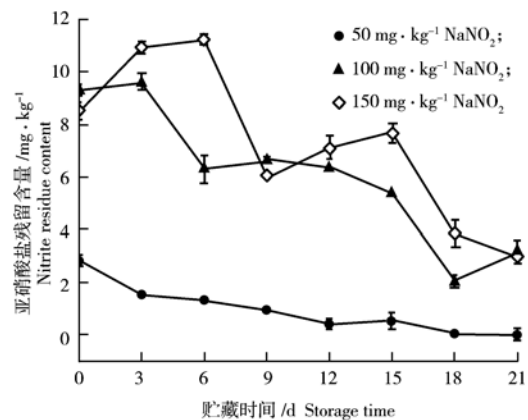


图2 蒸煮香肠冷藏过程中亚硝酸盐残留含量的变化

Fig.2 Variation of nitrite residue content of cooked sausage during cold storage

和咀嚼性变化明显, 从而影响香肠的口感、多汁性等感官品质, 这些品质的变化和控制有利于改善蒸煮香肠的整体品质。

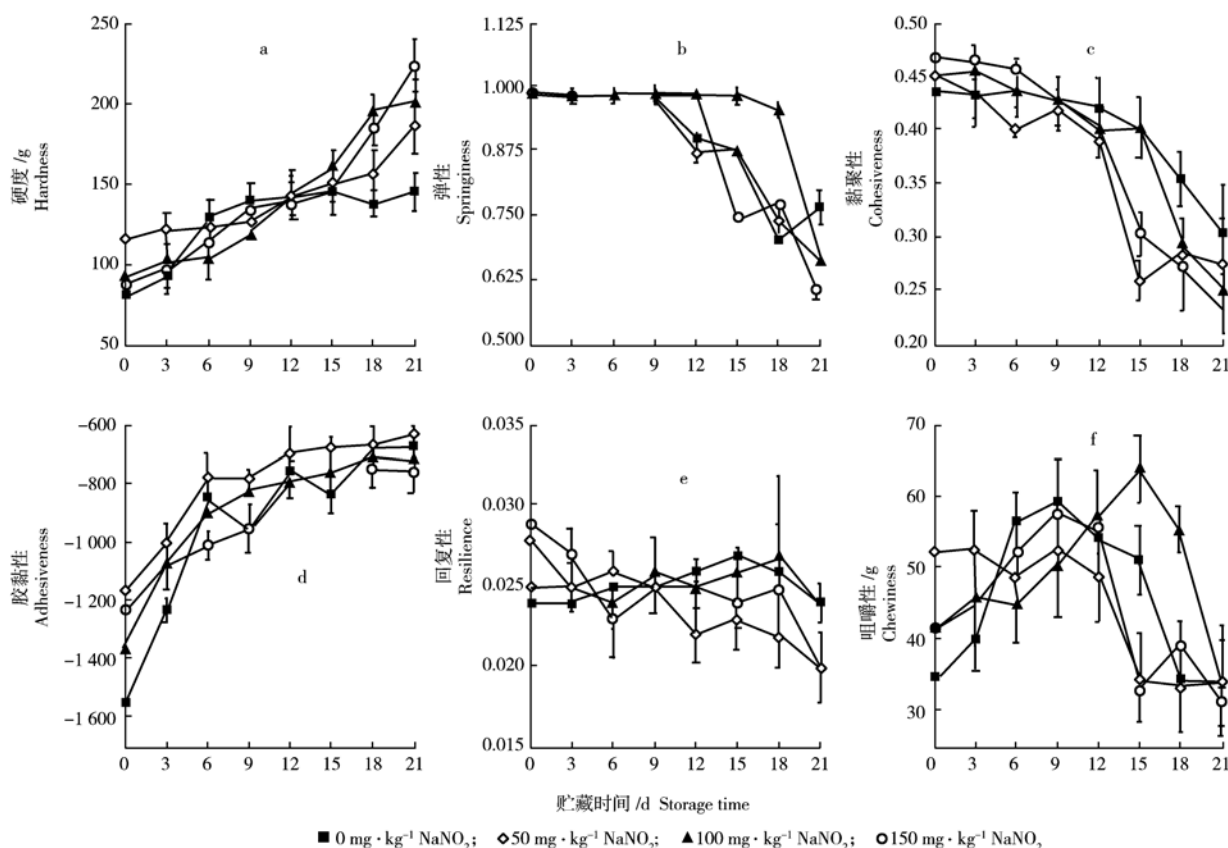


图 3 蒸煮香肠冷藏过程中硬度 (a)、弹性 (b)、黏聚性 (c)、胶黏性 (d)、回复性 (e) 和咀嚼性 (f) 的变化
 Fig. 3 Variations of hardness (a), springiness (b), cohesiveness (c), adhesiveness (d), resilience (e) and chewiness (f) of cooked sausage during cold storage

表 1 亚硝酸盐残留含量与 TPA 指标的相关系数

Table 1 Correlation parameters between nitrite residue contents and TPA attributes

	亚硝酸盐 Nitrite	硬度 Hardness	弹性 Springiness	黏聚性 Cohesiveness	胶黏性 Adhesiveness	回复性 Resilience	咀嚼性 Chewiness
亚硝酸盐 Nitrite	1.000						
硬度 Hardness	-0.549 **	1.000					
弹性 Springiness	0.411 *	-0.774 ***	1.000				
黏聚性 Cohesiveness	0.573 **	-0.089	0.861 ***	1.000			
胶黏性 Adhesiveness	-0.639 **	0.741 ***	-0.541 **	-0.738 ***	1.000		
回复性 Resilience	0.479 *	-0.564 **	0.705 ***	0.581 **	-0.601 **	1.000	
咀嚼性 Chewiness	0.178	-0.311	0.783 ***	0.625 **	-0.162	0.434 *	1.000

Note: *** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$

2.3.2 TPA 指标的主成分分析 对各主成分的特征值分析可知, 主成分 1 (PC 1) 与主成分 2 (PC 2) 的特征值分别为 4.556 和 1.152, 其他主成分的特征值均小于 1.0, 根据 Kaiser 标准, 特征值大于 1.0 的 PC 1 和 PC 2 能够解释变量的大部分信息。从 PC 1 和 PC 2 的方差贡献率 (表 2) 也可以看出, 在 100% 的变量信息中, PC 1 和 PC 2 分别贡献 65.09% 和 16.46%, 两者的累计贡献率达到 81.55%, 因此只选取这两个主成分解释结果。

从图 4-a 可见, 咀嚼性的指向偏于 PC 2, 亚硝酸盐残留含量、硬度、弹性、黏聚性、胶黏性和回复性指向偏于 PC 1, 其中硬度和胶黏性的指向与其他相反。由图 4-b 可见, 亚硝酸盐残留含量与 TPA 指标都指向了 PC 1, 也说明 2 个主成分 PC 1 和 PC 2 能够解释变量的基本信息。

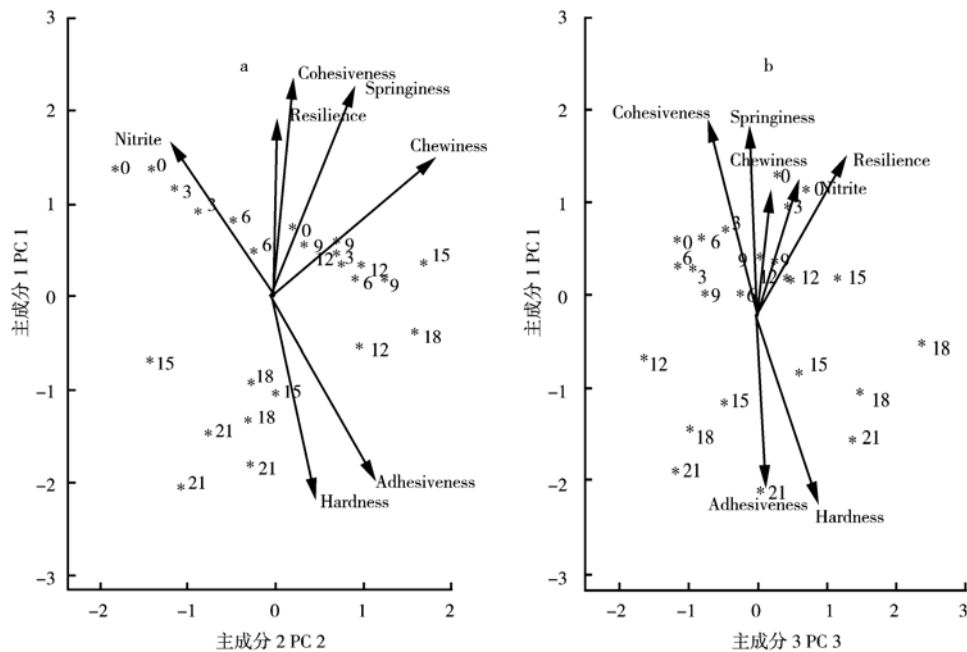


图 4 主成分分析中亚硝酸盐残留含量与 TPA 指标的二维图

Fig. 4 Nitrite residue contents and TPA attributes in the bi-plot of PCA

* 不同贮藏时间 (d) Different storage time (d)

从亚硝酸盐残留含量与 TPA 指标在 PC 1 和 PC 2 的权重 (表 2) 可以看出, 硬度、弹性、黏聚性、胶黏性和回复性在 PC 1 中起决定作用, 咀嚼性在 PC 2 中起主要作用。因此, TPA 指标中硬度、弹性、黏聚性、胶黏性和回复性在本质上可以归为受亚硝酸盐影响的同一主要成分; 咀嚼性作为次要成分, 受亚硝酸盐影响不显著。

3 讨论

蒸煮香肠属于凝胶态食品, 在仪器探头的作用下, 发生非线性和破坏性的变形, 反映到力-时间曲线上即可对 TPA 的相关指标进行定义^[17]。本试验中蒸煮香肠在冷藏过程中失水导致硬度增加, 是 TPA 指标中变化最显著的指标, 这与 Virgili 等^[20]和 Monin 等^[21]的研究结果相似。弹性是指样品本身在第 1 次受力过程中变形后第 2 次测定的“弹回”程度, 本试验中不同处理组在冷藏前期差别不大, 冷藏后期显著降低。有研究表明亚硝酸盐加入食品组织后约有 5% ~ 10% 与肌红蛋白发生反应, 1% ~ 5% 与脂类反应, 5% ~ 15% 与巯基反应^[1], 这些复杂反应能够显著影响蒸煮香肠的内部组织结构, 同时影响 TPA 指标的变化。黏聚性是指样品抵御第 2 次受力变形而相对于第 1 次探头作用的程度。亚硝酸盐对蒸煮香肠黏聚性影响不显著, Cáceres 等^[22]在研究呋喃低聚糖对蒸煮香肠感官特性的影响时认为, 肉制品中香料发挥了平衡肉制品中各种组分的作用, 从而使肉制品呈现稳定和连续的凝胶状态, 对黏聚性有显著影响。

胶黏性是衡量仪器下压一次后将探头于试样中拔出所需的能量, 回复性是衡量样品受压后快速恢复变形的能力并以弹性变形保存的能量^[23], 二者受 TPA 测定参数 (尤其是压缩比) 影响显著, 文献中一般对肉制品采用 50% ~ 80% 的压缩比, 而对香肠类产品, 因其凝胶结构的相似性, 常采用 50% 压缩比^[16], 本试验结果也表明这个参数在研究蒸煮香肠质构中是可行的。咀嚼性是固体状食品 TPA 测定中的二级指标, 与香肠的口感、多汁性等感官指标相关性较大, 由硬度、弹性和黏聚性计算而得, 一般与

表 2 主成分分析中主成分 1 与主成分 2 的权重、方差贡献率及累计方差贡献率

Table 2 Factor loading, explained variance and communality of PC 1 and PC 2 in PCA

特征值 Attributes	主成分 1 PC 1	主成分 2 PC 2
亚硝酸盐 Nitrite	0.315	-0.442
硬度 Hardness	-0.413	0.171
弹性 Springiness	0.425	0.338
黏聚性 Cohesiveness	0.444	0.054
胶黏性 Adhesiveness	-0.374	0.429
回复性 Resilience	0.363	0.017
咀嚼性 Chewiness	0.285	0.688
方差贡献率 Percent of variance	0.650 9	0.164 6
累计贡献率 Cumulative percentage	0.650 9	0.815 5

硬度的变化趋势相同,但在本试验中由于弹性和黏聚性的减小,导致了咀嚼性先增大后减小的结果。

主成分分析有助于减少影响变量的因素,本试验结果表明硬度、弹性、黏聚性、胶黏性和回复性归入亚硝酸盐影响的主要成分,而咀嚼性归入次要成分。二者分别构成了亚硝酸盐导致蒸煮香肠弹性和塑性变形的主要因素。Rahman 等^[24]用相似的方法研究水分含量对鲜肉(date flesh) TPA 影响时,将硬度、胶黏性和咀嚼性归入影响的主要成分,而弹性、黏聚性和回复性归入次要成分。

4 结论

低温蒸煮香肠在冷藏过程中,水分、脂肪、蛋白质、胶原蛋白含量及亚硝酸盐残留含量逐渐降低。亚硝酸盐对蒸煮香肠的质构影响显著,特别是硬度、弹性、黏聚性、胶黏性和回复性,属于主成分分析中的主要成分;对咀嚼性影响不显著,属于主成分分析中的次要成分。

参考文献:

- [1] Cassens R G. Composition and safety of cured meats in the USA [J]. Food Chemistry, 1997, 59: 561-566
- [2] Fennema O R. Food Chemistry [M]. 2nd ed. New York: Mercel Dekker, Inc., 1985: 645-646
- [3] 丁之恩. 亚硝酸盐和亚硝酸胺在食品中的作用及其机理 [J]. 安徽农业大学学报, 1994, 21(2): 199-205
- [4] Cassens R G. Use of sodium nitrite in cured meats today [J]. Food Technology, 1995, 49: 72-80
- [5] GB 2760—1996 食品添加剂使用卫生标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1996
- [6] González B, Díez V. The effect of nitrite and starter culture on microbiological quality of “chorizo” —a Spanish dry cured sausage [J]. Meat Science, 2002, 60: 295-298
- [7] Leroy F, de Vuyst L. Simulation of the effect of sausage ingredients and technology on the functionality of the bacteriocin-producing *Lactobacillus sakei* CTC 494 strain [J]. International Journal of Food Microbiology, 2005, 100: 141-152
- [8] Yetim H, Kayacier A, Kesmen Z, et al. The effects of nitrite on the survival of *Clostridium sporogenes* and the autoxidation properties of the Kavurma [J]. Meat Science, 2006, 72: 206-210
- [9] Astiasarán I, Redin R, Cid C, et al. Comparison of dry sausages produced by different methods: addition of nitrite/nitrate salts and sodium chloride at different phases [J]. Meat Science, 1993, 34: 255-264
- [10] Bloukas J G, Arvanitoyannis I S, Siopi A A. Effect of natural colourants and nitrites on colour attributes of frankfurters [J]. Meat Science, 1999, 52: 257-265
- [11] Freybler L A, Gray J I, Asghar A, et al. Nitrite stabilization of lipids in cured pork [J]. Meat Science, 1993, 33: 85-96
- [12] Noel P, Briand E, Dumont J P. Role of nitrite in flavour development in uncooked cured meat products: sensory assessment [J]. Meat Science, 1990, 28: 1-8
- [13] Olesen P T, Stahnke L H, Talon R. Effect of ascorbate, nitrate and nitrite on the amount of flavour compounds produced from leucine by *Staphylococcus xylosum* and *Staphylococcus carnosus* [J]. Meat Science, 2004, 68: 193-200
- [14] ISO 2918: 1975 Meat and Meat Products—Determination of Nitrite Content(Reference Method) [S]. International Organization for Standardisation
- [15] ISO 2917: 1999 Meat and Meat Products—Measurement of pH—Reference Method [S]. International Organization for Standardisation
- [16] 董庆利, 罗欣. 熏煮香肠质构的感官评定与机械测定之间的相关分析研究 [J]. 食品科学, 2004, 25(9): 49-55
- [17] Bourne M C. Texture profile analysis [J]. Food Technology, 1978, 32: 62-66, 72
- [18] 董庆利, 屠康. 猪肉腌制过程中亚硝酸钠添加量对其质构的影响 [J]. 食品科学, 2006, 27(4): 62-66
- [19] Pérez-Rodríguez M L, Bosch-Bosch N, Garcíá-Mata M. Monitoring nitrite and nitrate residues in frankfurters during processing and storage [J]. Meat Science, 1996, 44: 65-73
- [20] Virgili R, Parolari G, Schivazappa C, et al. Sensory and texture quality of dry-cured ham as affected by endogenous cathepsin B activity and muscle composition [J]. Journal of Food Science, 1995, 60: 1183-1186
- [21] Monin G, Marinova P, Talmant A, et al. Chemical and structural changes in dry-cured hams(Bayonne Hams) during processing and effects of dehairing technique [J]. Meat Science, 1997, 47: 29-47
- [22] Cúceres E, García M L, Toro J, et al. The effect of fructooligosaccharides on the sensory characteristics of cooked sausages [J]. Meat Science, 2004, 68: 87-96
- [23] 程巧芬, 徐幸莲, 周光宏. 转谷氨酰胺酶及非肉蛋白对糜状肉制品质构性能的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2003, 26(2): 88-92
- [24] Rahman M S, Al-Farsi S A. Instrumental texture profile analysis(TPA) of date flesh as a function of moisture content [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 66: 505-511

责任编辑: 沈 波