

# 核磁共振法研究山梨糖醇对发酵香肠的保水性和质构的影响

郇延军<sup>1</sup>, 闫晓蕾<sup>1</sup>, 孙冬梅<sup>1</sup>, 赵亚娟<sup>1</sup>, 许伟<sup>1</sup>, 赵杰<sup>2</sup>

(1.江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2.南通寿星食品有限公司, 江苏 南通 226531)

**摘要:** 利用低场核磁共振技术, 研究发酵香肠加工过程中自由水、不易流动水及结合水的变化, 并研究山梨糖醇对发酵香肠加工过程中3种水分变化的影响。结果表明: 随着发酵和干燥过程的进行, 发酵香肠中3种水分的活度逐渐下降。在发酵香肠的加工时间相同时, 山梨糖醇的加入能够降低不易流动水和自由水的活度, 当添加量较大(10%)时, 也能够降低结合水的活度。当保持发酵香肠的最终 $a_w$ 为0.87时, 添加12%的山梨糖醇能够使发酵香肠的加工时间由25.8h降低到8.8h, 有效缩短发酵香肠的生产周期, 并且能够改善发酵香肠的质构, 有效改善发酵香肠口感硬、难咀嚼的特点。

**关键词:** 核磁共振; 发酵香肠; 山梨糖醇; 保水性

Effect of Sorbitol on Water Holding Capacity and Texture of Fermented Sausages as Determined by NMR

HUAN Yan-jun<sup>1</sup>, YAN Xiao-lei<sup>1</sup>, SUN Dong-mei<sup>1</sup>, ZHAO Ya-juan<sup>1</sup>, XU Wei<sup>1</sup>, ZHAO Jie<sup>2</sup>

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Nantong Shouxing Co. Ltd., Nantong 226531, China)

**Abstract:** Low-field NMR was used to study the distribution and changes of constitutional water, immobilized water and free water during the production of fermented sausages and the effect of sorbitol on the three types of water. The activity of the three kinds of water descended gradually during fermentation and drying. Addition of sorbitol reduced the activity of immobilized water and free water. The activity of constitutional water also declined in the presence of a high level of sorbitol (10%). Addition of 12% sorbitol shortened the drying time from 25.8 h to 8.8 h when final water activity was controlled to be 0.87. The TPA results showed that sorbitol effectively improved the quality and taste of fermented sausages.

**Key words:** nuclear magnetic resonance (NMR); fermented sausages; sorbitol; water holding capacity

中图分类号: TS251

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)01-0022-05

核磁共振是应用于食品领域的一项新技术, 它可以从微观上研究食品内部水分的分布和迁移情况, 具有快速、无损、准确的特点<sup>[1]</sup>。水分作为食品的重要组成部分, 其在食品中的含量、分布和存在状态的差异对食品的品质和保藏性等有明显的影响<sup>[2]</sup>。因此, 多年以来,  $a_w$ 被作为微生物生存和成长的一个指示条件。但是, 食品体系是不均一的, 水分存在于食品内部的不同区域内, 而在不同部位内的水分由于其结合程度等的不同会具有不同的 $a_w$ , 因此, 区分并研究不同部位水分的性质也是非常重要的<sup>[3]</sup>。研究食品在加工及保藏过程中水分分布, 准确、快速地测量和控制食品的含水量具有重要意义。

发酵香肠是指将绞碎的肉(通常是猪肉或牛肉)和动物脂肪同盐、糖、香辛料等混合后灌进肠衣, 经过微生物发酵和成熟干燥(或不经成熟干燥)而制成的具有稳定的

微生物特性和典型发酵香味的肉制品<sup>[4]</sup>。目前, 我国发酵香肠在生产中存在一定的弊端和不足。大致可以分为3个方面: 1)生产周期长; 2)发酵香肠得率低(通常在70%左右); 3)发酵香肠的水分含量低, 造成发酵香肠干硬、难咀嚼、口感差。多羟基醇类物质, 不仅能够改善肉制品的口感和质构, 还具有一定的保水、降低发酵香肠 $a_w$ 的作用<sup>[5-7]</sup>。由于发酵香肠在发酵和干燥成熟阶段, 是一个水分不断丢失、 $a_w$ 不断下降的过程, 可以通过一些水分含量及活度的测定从宏观上来表述这个过程, 但是要想从微观上对3种水分进行分析, 需要借助核磁共振的方法。

由于传统的中式香肠生产周期长, 因此, 缩短发酵香肠成熟时间的研究仍是目前的一个重要的研究方向。近年来, 国外有许多研究人员致力于研究酶制剂对发酵香肠发酵和成熟的作用, 主要目的是试图用酶取代发

收稿日期: 2011-09-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(31071569)

作者简介: 郇延军(1963—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为肉品科学与品质控制。E-mail: yanjunhuan@yahoo.com.cn

酵剂添加于发酵香肠中,以求达到微生物作用的效果,缩短成熟时间<sup>[8]</sup>。例如:Hagen等<sup>[9]</sup>分别对类干酪乳杆菌来源的蛋白酶制剂、脂肪酶和一些来自副干酪乳芽孢杆菌属歧菌株NCDO中得到的细菌蛋白酶应用于发酵香肠中,加速干香肠的后熟进行了研究。

它们的评价标准是一致的,即在不影响发酵香肠风味的条件下,缩短成熟的时间。但却忽略了发酵香肠的安全性和保藏性问题(成熟时间短、水分丢失少,有利于微生物的生存)。因此,缩短生产时间同时又兼顾安全性问题显得尤为重要。

本实验结合低场核磁共振的方法,研究发酵香肠在发酵和干燥过程中水分的迁移和分布,验证多羟基醇类物质(以山梨糖醇为例)的保水和降低 $a_w$ 的作用,旨在为山梨糖醇应用于发酵香肠的生产提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 原辅材料

猪肉购于超市冷鲜肉。

山梨糖醇(食品级) 迈潮(上海)进出口贸易有限公司; L-抗坏血酸钠(分析纯) 中国医药集团上海化学试剂公司; 亚硝酸盐(分析纯) 国药集团化学试剂有限公司。

食盐、蔗糖、红曲粉、胡椒粉、五香粉、姜粉、味精、冰水、淀粉等。

### 1.2 仪器与设备

NMI20型核磁共振仪 上海纽曼电子科技有限公司; Win-MRIXP程序软件 华东师范大学; TA-XT plus型质构分析仪 英国Stable Micro Systems公司; Novasina Ms1-aw便携式水分活度仪 瑞士华嘉香港有限公司; CE22型绞肉机、C/710型手动灌肠机 意大利LaMinerva公司; BYXX-50型烟熏炉 杭州艾博科技工程有限公司; SPX型智能生化培养箱 南京实验仪器厂。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 发酵香肠的制作

##### 1.3.1.1 发酵香肠配方

肥肉、瘦肉质量比3:7,按照肉的质量分数加入食盐3%、蔗糖1%、味精1%、L-抗坏血酸钠0.1%、亚硝酸钠0.015%、红曲粉0.1%、调味料(胡椒粉、五香粉、姜粉质量比1:1:1)0.2%。

##### 1.3.1.2 工艺流程

原料肉清洗→修整→切块→绞肉(用孔径为5mm的绞肉机进行绞肉)→灌制成型→37℃发酵24h→55℃烘烤24h→室温保藏

#### 1.3.2 核磁共振实验

分别在37℃发酵0、10、17、24h及55℃烘烤10、17、24h取一定量的香肠样品,绞碎后用生料带包好,进行核磁共振实验,每个实验平行3次。

实验参数为:磁场强度为0.5T,共振频率为22MHz,采样点数TD=160128,重复扫描个数NS=16,过采样倍数10,重复时间5s,回波链长度1.6s。扫描实验结束后,利用反演软件拟合出 $T_2$ 值。

#### 1.3.3 水分含量、 $a_w$ 、发酵香肠得率的测定

水分含量的测定参照GB/T 5009.3—2010《食品安全国家标准 食品中水分的测定》,  $a_w$ 直接采用水分活度仪测定。具体方法为:在55℃烘烤阶段,每隔6h和1h取样,测定发酵香肠的 $a_w$ 。计算发酵香肠得率。

$$\text{发酵香肠得率}/\% = \frac{\text{最终样品的质量}}{\text{原料肉的质量}} \times 100$$

#### 1.3.4 质构分析

将烟熏香肠切成15mm长的圆柱,进行TPA全质构<sup>[10-11]</sup>分析。探头使用P/25铝制探头,压缩比设为40%。数值设定:测前速率2.0mm/s,测试速率1.5mm/s,测后速率5.0mm/s。

#### 1.3.5 数据处理

采用SPSS11.5数据分析软件对数据进行处理

## 2 结果与分析

### 2.1 发酵0h香肠的核磁共振图谱

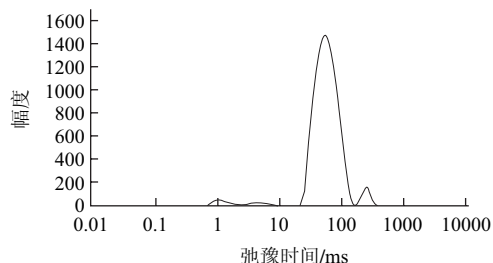


图1 发酵0h香肠的核磁共振图谱

Fig.1 NMR profile of non-fermented sausages

图1为发酵0h的核磁共振的图谱,实验中发现样品一般会出现3~4个峰<sup>[12]</sup>,大致可以把发酵香肠的横向弛豫时间 $T_2$ 分为3个部分: $T_{21}$ (0~10ms)、 $T_{22}$ (10~100ms)、 $T_{23}$ (100~1000ms)。其中 $T_{21}$ 可能表示蛋白质分子表面的极性基团与水分子紧密结合的水分子层,即结合水; $T_{22}$ 表示存在于肌纤维、肌原纤维及膜之间,占总积分面积的90%左右,即不易流动水; $T_{23}$ 表示存在于细胞外的间隙中能自由流动的水,即自由水<sup>[13-15]</sup>。实际上,除肉中存在的可以完全自由移动的那部分水分外,其他的水分都是以不同的程度被束缚着<sup>[16]</sup>。弛豫时间 $T_2$ 的大小代表水分流动性的强弱,水分结合得越紧密弛豫时间越短,质子密度代表相应水分的信号强度<sup>[17]</sup>。

## 2.2 发酵香肠加工过程中水分的变化与迁移

分别在37℃发酵前、发酵10、17、24h及55℃烘烤10、17、24h,取一定质量的发酵香肠,用生料带包好,进行核磁共振实验。

**表1 发酵香肠加工过程中弛豫时间及相对面积的变化( $\bar{x} \pm s, n=3$ )**  
**Table 1 Changes in relaxation time and relative area during the production of fermented sausages ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )**

| 加工过程  | $T_{21}$               |                        | $T_{22}$                |                         | $T_{23}$               |                           |
|-------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
|       | 相对面积/%                 | 弛豫时间/ms                | 相对面积/%                  | 弛豫时间/ms                 | 相对面积/%                 | 弛豫时间/ms                   |
| 发酵0h  | 3.09±0.54 <sup>a</sup> | 4.64±0.34 <sup>a</sup> | 93.47±1.44 <sup>a</sup> | 57.22±2.64 <sup>a</sup> | 3.43±0.66 <sup>a</sup> | 265.61±0.00 <sup>a</sup>  |
| 发酵10h | 2.57±0.47 <sup>b</sup> | 4.64±0.34 <sup>a</sup> | 93.11±1.27 <sup>a</sup> | 49.77±2.52 <sup>b</sup> | 4.31±0.74 <sup>a</sup> | 231.01±0.00 <sup>b</sup>  |
| 发酵17h | 1.81±0.36 <sup>c</sup> | 4.03±0.40 <sup>a</sup> | 92.19±1.18 <sup>a</sup> | 43.28±0.00 <sup>c</sup> | 5.99±0.78 <sup>b</sup> | 200.92±0.00 <sup>c</sup>  |
| 发酵24h | 1.99±0.25 <sup>a</sup> | 4.64±0.33 <sup>a</sup> | 88.52±1.02 <sup>b</sup> | 32.74±0.00 <sup>d</sup> | 9.48±1.04 <sup>b</sup> | 200.92±0.00 <sup>c</sup>  |
| 烘烤10h | 2.44±0.42 <sup>b</sup> | 5.34±0.72 <sup>a</sup> | 88.56±1.14 <sup>b</sup> | 32.74±0.00 <sup>d</sup> | 9.00±0.92 <sup>b</sup> | 200.92±0.00 <sup>c</sup>  |
| 烘烤17h | 2.47±0.44 <sup>b</sup> | 2.01±0.29 <sup>b</sup> | 91.99±1.26 <sup>a</sup> | 24.77±0.00 <sup>e</sup> | 5.53±0.60 <sup>b</sup> | 114.98±10.20 <sup>d</sup> |
| 烘烤24h | 4.63±0.60 <sup>c</sup> | 2.66±0.46 <sup>b</sup> | 90.38±1.09 <sup>a</sup> | 21.54±0.00 <sup>e</sup> | 4.98±0.64 <sup>a</sup> | 114.98±10.20 <sup>d</sup> |

注:同列字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。下同。

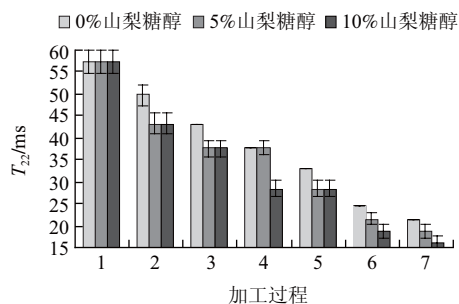
由表1可知,随着加工时间的进行, $T_{22}$ 和 $T_{23}$ 的弛豫时间逐渐降低,即自由水与不易流动水的活度逐渐降低,发酵香肠的加工过程即为一个水分逐渐丢失,水分活度逐渐降低的过程。相对面积是指每部分水的峰面积与总峰面积的比值,从不同部分水的相对面积来看,发酵初始阶段,结合水和不易流动水的相对面积逐渐降低,自由水的相对面积逐渐升高,这是因为,发酵过程是微生物分解糖类产酸,大分子物质(蛋白质、脂肪)降解,产生风味物质的过程,这些大分子的降解,使得它们结合的水分的量减少,随着发酵的进行,这部分水分逐层向外扩散,但是由于发酵的温度较低,水分散失的速率较慢,就造成了自由水的相对面积升高。而在烘烤过程中,温度较高,自由水分的散失速率较快,因此在烘烤过程中自由水所占比例逐渐降低,其他两部分水的相对比例升高。

## 2.3 山梨糖醇对发酵香肠加工过程中水分的变化与迁移的影响

在发酵香肠的基本配方的基础上,分别加入0%、5%、10%的山梨糖醇,在发酵0、10、17、24h及烘烤10、17、24h分别取样进行核磁共振实验。

由图2、3可知,添加山梨糖醇能够显著降低发酵香肠加工过程中的弛豫时间值,即在相同的加工时间时,加山梨糖醇的样品具有比空白样品更低的 $a_w$ <sup>[18]</sup>,有利于发酵香肠的保藏。空白样品、5%山梨糖醇样品及10%山梨糖醇的样品 $T_{22}$ 值分别由57.22、57.22、57.22ms降低到21.54、18.74、16.30ms,同样山梨糖醇的添加也能使这部分不易流动水的活度降低。在烘烤24h时,加5%与10%山梨糖醇样品的 $T_{23}$ 值分别由265.61、265.61ms降低到86.97ms和75.65ms,二者都小于100ms,已经进入不易

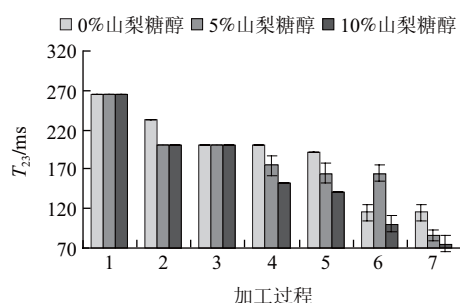
流动水的范围内,可以认为体系内的自由水已经蒸发完全。而空白样品 $T_{23}$ 值由265.61ms降低到114.98ms,其值还大于100ms,说明这部分水还具有自由水的性质,其 $a_w$ 还是相对较高的。而由表2可知, $T_{21}$ 的值会出现一定的波动,但从总的趋势上来看:山梨糖醇的加入也能在一定程度上降低 $T_{21}$ 的值,且在添加量较大(10%)时,效果尤为明显。



1.发酵0h; 2.发酵10h; 3.发酵17h; 4.发酵24h;  
5.烘烤10h; 6.烘烤17h; 7.烘烤24h。图3同。

**图2 山梨糖醇对发酵香肠加工过程中 $T_{22}$ 的影响**

**Fig.2 Effect of sorbitol on the  $T_{22}$  relaxation time of fermented sausages**



**图3 山梨糖醇对发酵香肠加工过程中 $T_{23}$ 的影响**

**Fig.3 Effect of sorbitol on the  $T_{23}$  relaxation time of fermented sausages**

**表2 山梨糖醇对发酵香肠加工过程中 $T_{21}$ 的影响( $\bar{x} \pm s, n=3$ )**  
**Table 2 Effect of sorbitol on the  $T_{21}$  relaxation time of fermented sausages ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )**

| 添加量/% | 发酵时间/h                 |                        |                        |                        | 烘烤时间/h                 |                        |                        |
|-------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|       | 0                      | 10                     | 17                     | 24                     | 10                     | 17                     | 24                     |
| 0     | 6.14±0.52 <sup>a</sup> | 4.64±0.48 <sup>a</sup> | 4.04±0.45 <sup>a</sup> | 4.64±0.48 <sup>a</sup> | 5.34±0.51 <sup>a</sup> | 2.01±0.15 <sup>a</sup> | 2.66±0.21 <sup>a</sup> |
| 5     | 6.14±0.52 <sup>a</sup> | 4.64±0.48 <sup>a</sup> | 4.04±0.45 <sup>a</sup> | 5.34±0.51 <sup>a</sup> | 1.75±0.27 <sup>b</sup> | 2.01±0.15 <sup>a</sup> | 2.01±0.15 <sup>b</sup> |
| 10    | 5.34±0.51 <sup>a</sup> | 1.53±0.29 <sup>b</sup> | 1.75±0.27 <sup>b</sup> | 1.52±0.29 <sup>b</sup> | 2.01±0.15 <sup>b</sup> | 1.75±0.11 <sup>b</sup> | 2.01±0.15 <sup>b</sup> |

综上所述,山梨糖醇的加入能够降低发酵香肠加工过程中不易流动水和自由水的活度,在添加量较大时也能够降低结合水的活度。这是因为山梨糖醇分子中含有六分子的羟基,这些羟基能够与水分子以氢键的形式结合<sup>[19]</sup>,使体系内水的流动性降低,活性也降低。除此之外,山梨糖醇还具有一定的螯合作用,它能够螯合体系内的金属离子<sup>[20]</sup>,这也是其保持水分的一个原因。山梨

糖醇对自由水及不易流动水有比较好的结合作用,在添加量较高,体系结构在一定程度被破坏时,山梨糖醇也能够结合体系中的原来的那部分结合水。因为随着食品加工过程的进行,一些大分子物质(蛋白质、脂肪等)会发生降解,体系的网状结构被破坏,从而使与大分子结合的结合水分被释放,当山梨糖醇添加量较大时,它也能够一定程度上结合这些水分。

2.4 山梨糖醇添加量对发酵香肠加工时间、水分含量及发酵香肠得率的影响

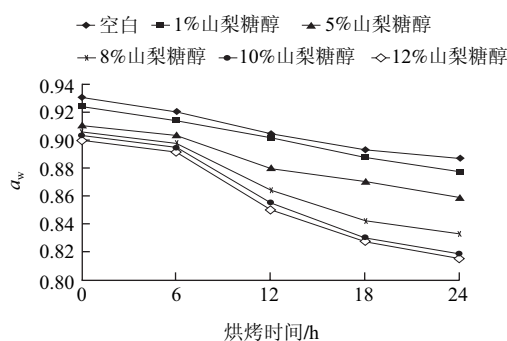


图4 山梨糖醇对发酵香肠干燥过程中 $a_w$ 的影响

Fig.4 Effect of sorbitol on the water activity of fermented sausages as a function of drying time

由图4可知,山梨糖醇添加0%、1%、5%、8%、10%、12%时,当 $a_w$ 达到0.87时,所需要的时间约为24、24、21、12、10、9h。当在一个较短的时间范围内时,发现发酵香肠的 $a_w$ 与时间成较好的线性关系,因此,继续逼近,在所确定的时间两端每隔1h取样一次,测定其 $a_w$ 的变化(图5~8)。由线性方程可以计算出,当 $a_w$ 达到0.87时,山梨糖醇添加量为0%、1%、5%、8%、10%、12%的样品所需要的时间为25.8、24.4、20.7、12.1、10.3、8.8h。由此可见,在保持最终 $a_w$ 一致时,山梨糖醇的加入能够有效的缩短发酵香肠的加工时间,缩短其生产周期,这对发酵香肠的工业化生产及降低生产成本是极其有效的。

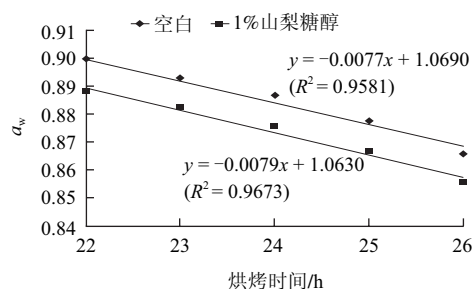


图5 添加0%和1%山梨糖醇对发酵香肠干燥过程中 $a_w$ 的影响

Fig.5 Linear relationship between water activity of fermented sausages with 0% or 1% added sorbitol and drying time

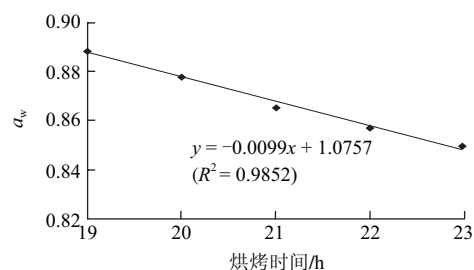


图6 添加5%山梨糖醇对发酵香肠干燥过程中 $a_w$ 的影响

Fig.6 Linear relationship between water activity of fermented sausages with 6% added sorbitol and drying time

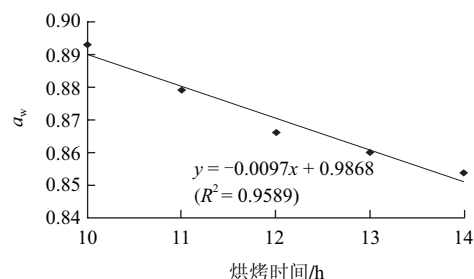


图7 添加8%山梨糖醇对发酵香肠干燥过程中 $a_w$ 的影响

Fig.7 Linear relationship between water activity of fermented sausages with 8% added sorbitol and drying time

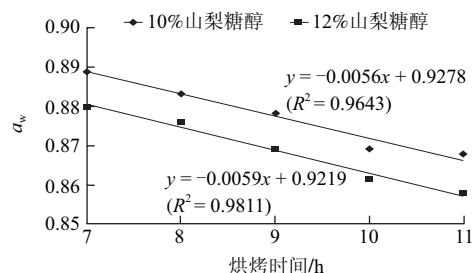


图8 添加10%、12%山梨糖醇对发酵香肠干燥过程中 $a_w$ 的影响

Fig.8 Linear relationship between water activity of fermented sausages with 10% or 12% added sorbitol and drying time

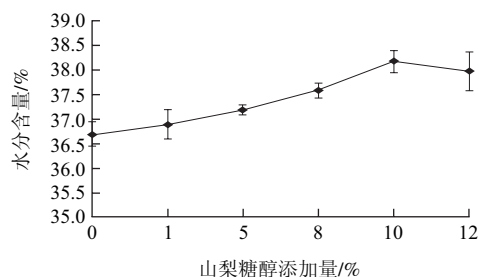


图9 山梨糖醇添加量对发酵香肠水分含量的影响

Fig.9 Effect of sorbitol on the moisture content of fermented sausages

图9、表3为保持发酵香肠的最终 $a_w$ 为0.87时,山梨糖醇添加量对发酵香肠水分含量及发酵香肠得率的影响,由于本身烘烤时间的降低,以及山梨糖醇本身的持水作用,使得发酵香肠的水分含量及发酵香肠得率都有很大的提

高。其中水分含量由36%提高到39%左右,而发酵香肠的得率提高显著,由75%提高到94%左右,由于发酵香肠得率的提高可以分为两部分的作用,如表3所示,其中一部分是由于持水剂的加入自身贡献,另一部分是持水剂山梨糖醇的加入促进了水分的保持,从而提高了发酵香肠的得率。

表3 山梨糖醇添加量对发酵香肠得率的影响  
Table 3 Effect of sorbitol on the yield of fermented sausages

| 指标         | 山梨糖醇添加量/% |      |      |      |      |      |
|------------|-----------|------|------|------|------|------|
|            | 0         | 1    | 5    | 8    | 10   | 12   |
| 发酵香肠得率     | 75.3      | 76.6 | 81.7 | 88.8 | 93.1 | 95.2 |
| 由持水剂自身贡献   | 0.0       | 1.0  | 5.0  | 8.0  | 10.0 | 12.0 |
| 持水剂保持的水分贡献 | 0.0       | 0.3  | 1.4  | 5.5  | 7.8  | 7.9  |

综上所述,山梨糖醇的添加对降低发酵香肠的生产周期,提高发酵香肠的水分含量及 $a_w$ 是有明显的作用的。

## 2.5 山梨糖醇对发酵香肠质构的影响

将熏煮香肠切成15mm长的圆柱,进行TPA全质构分析<sup>[21-22]</sup>。表4为发酵香肠的最终 $a_w$ 为0.87时,香肠的全质构测定的结果。

表4 山梨糖醇添加量对发酵香肠质构的影响( $\bar{x} \pm s, n=3$ )  
Table 4 Effect of sorbitol on the texture of fermented sausages( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

| 评价指标  | 山梨糖醇用量/%                 |                          |                          |                          |                          |                          |
|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|       | 0                        | 1                        | 5                        | 8                        | 10                       | 12                       |
| 硬度/g  | 4107±126 <sup>a</sup>    | 4131±113 <sup>a</sup>    | 3774±89 <sup>b</sup>     | 3516±75 <sup>b</sup>     | 3432±104 <sup>c</sup>    | 3390±112 <sup>c</sup>    |
| 弹性    | 0.784±0.011 <sup>a</sup> | 0.786±0.011 <sup>a</sup> | 0.787±0.009 <sup>a</sup> | 0.783±0.010 <sup>a</sup> | 0.792±0.012 <sup>a</sup> | 0.790±0.014 <sup>a</sup> |
| 咀嚼性/g | 1952±64 <sup>a</sup>     | 2016±59 <sup>a</sup>     | 1853±46 <sup>b</sup>     | 1748±79 <sup>b</sup>     | 1778±83 <sup>b</sup>     | 1764±85 <sup>b</sup>     |
| 回复性   | 0.221±0.004 <sup>a</sup> | 0.217±0.003 <sup>a</sup> | 0.222±0.003 <sup>a</sup> | 0.234±0.005 <sup>b</sup> | 0.243±0.004 <sup>b</sup> | 0.245±0.004 <sup>b</sup> |
| 内聚性   | 0.606±0.007 <sup>a</sup> | 0.621±0.006 <sup>b</sup> | 0.624±0.003 <sup>b</sup> | 0.635±0.006 <sup>b</sup> | 0.654±0.007 <sup>b</sup> | 0.659±0.009 <sup>b</sup> |

由表4可知,山梨糖醇的加入能够明显改善发酵香肠的质构,当山梨糖醇的添加量 $\geq 5\%$ 时,能够显著( $P<0.05$ )降低发酵香肠的硬度,这是因为山梨糖醇的加入能够提高发酵香肠的水分含量,即发酵香肠的固形物含量降低,发酵香肠的硬度降低。咀嚼性为硬度、弹性及内聚性的乘积,可以作为表示发酵香肠的口感和耐咀嚼程度的一个重要指标。而口感干硬,比较难咀嚼是目前发酵香肠生产中存在的一个重要问题。添加山梨糖醇能够有效( $P<0.05$ )降低发酵香肠的发酵香肠的咀嚼性,使得发酵香肠更易咀嚼,更易被消费者接受。同时,山梨糖醇的加入能够改善发酵香肠的回复性和内聚性,但对发酵香肠的弹性没有明显的改善作用。

## 3 结论

3.1 核磁共振法能够按照结合程度的不同,区分肉中的自由水、不易流动水和结合水。并且能够研究发酵香肠中加工这3种水分的迁移和变化。

3.2 利用核磁共振法研究发现,在发酵香肠的加工时间相同时,山梨糖醇的加入能够降低不易流动水和结合水的活度,当添加量较大(10%)时,也能够降低结合水的活度。

3.3 当保持发酵香肠的最终 $a_w$ 为0.87时,山梨糖醇的加入可以有效的缩短发酵香肠的干燥时间,当添加12%的山梨糖醇时,使发酵香肠的加工时间由25.8h降低到8.8h,缩短到1/3,有效的缩短了生产周期。

3.4 对发酵香肠全质构分析发现,添加山梨糖醇能够有效的改善发酵香肠口感硬、难咀嚼的特点。对发酵香肠的回复性和内聚性也有一定的改善作用。

## 参考文献:

- [1] 林向阳, 张宏, 林玲, 等. 利用核磁共振技术研究添加剂对面团持水性的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 353-356.
- [2] 陈卫江, 林向阳, 阮榕生, 等. 核磁共振技术无损快速评价食品水分的研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(4): 125-127.
- [3] MOLLER S M, GUNVIG A, BERTRAM H C. Effect of starter culture and fermentation temperature on water mobility and distribution in fermented sausages and correlation to microbial safety studied by nuclear magnetic resonance relaxometry[J]. Meat Science, 2010, 86: 462-467.
- [4] KRISHNA P R, XIA Wenshui, ZHANG Chunhui. Production and quality analysis of dry fermented Chinese-style sausage inoculated with mixed starter cultures[J]. Food Science, 2005, 26(4): 163-168.
- [5] 江昕, 何锦凤, 王锡昌. 应用栅栏技术开发耐贮藏调味IMF龙虾仁的研究[D]. 上海: 上海水产大学, 2006.
- [6] 郭虹, 胡小松, 何锦凤. 牛肉干质地剖面研究和耐贮藏中间水分牛肉干配方研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
- [7] 严维凌, 任莉萍, 沈菊泉, 等. 山梨糖醇添加量对牛肉干等温吸湿线的影响研究[J]. 食品科学, 2008, 29(8): 82-86.
- [8] 韦利军, 郭海, 车芙蓉. 发酵香肠及其生产工艺的研究进展[J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(5): 394-398.
- [9] HAGEN B F. Addition of a bacterial proteinase reduces the maturation time of dry fermented sausages, abstract, 5th Symposium on lactic acid bacteria[C]. Genetics, Metabolism and Application, Veldhoven, Holland, 1996-09.
- [10] LAI H M, HWAN G S C. Water status of cooked white salted noodles evaluated by MRI [J]. Food Research International, 2004, 37: 957-966.
- [11] 唐善虎, 许富荣, 陆璐, 等. 花生、脂肪和淀粉添加量对香肠感官评价和质构的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 273-276.
- [12] BERTRAM H C, KARLSSON A H, ANDERSEN H J. The significance of cooling rate on water dynamics in porcine muscle from heterozygote carriers and non-carriers of the halothane gene-a low-field NMR relaxation study[J]. Meat Science, 2003, 65(4): 1281-1291.
- [13] 姜晓文, 韩剑众. 肌肉水分分布、抗氧化性与生鲜猪肉持水性的关系[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2009.
- [14] HANNE C B, ANDERSEN H J, KARLSSON A H. Comparative study of low-field NMR relaxation measurements and two traditional methods in the determination of water holding capacity of pork[J]. Meat Science, 2001, 57: 125-132.
- [15] 韩敏义, 康明丽, 牟德华. 低温NMR研究肉与肉制品中水的状态中的应用[J]. 肉类研究, 2009, 23(10): 13-18.
- [16] 翁航萍, 徐雄新. 肉与肉制品的水分活度[J]. 肉类研究, 2009, 23(5): 67-70.
- [17] ZHANG Jinsheng, LIN Xiangyang, RUAN Rongsheng, et al. Mobility of water in binary system of bread and cheese as studied by magnetic resonance imaging[J]. Food Science, 2006, 27(11): 132-138.
- [18] 林晓岚, 田妍基. 响应曲面法降低清蛋糕水分活度的研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(1): 16-19.
- [19] 刘焱, 高群玉, 蔡丽明. 山梨醇制备、功能及其在食品工业中的应用[J]. 中国酿造, 2007(11): 1-3.
- [20] 潘道东. 功能性食品添加剂[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2006: 103-105.
- [21] 蓝海军, 刘成梅, 罗香生, 等. 米糠膳食纤维对熏煮香肠质构的影响[J]. 农发酵香肠加工: 学刊, 2009(8): 15-23.
- [22] 周伟伟, 刘毅, 陈霞, 等. 斩拌终温对乳化型香肠品质影响的研究[J]. 食品工业科技, 2008(3): 76-79.