

发酵驴肉肠的工艺优化

王 晗¹, 朱颖男¹, 高 远², 张志胜^{1,*}

(1.河北农业大学食品科技学院, 河北 保定 071001; 2.承德市农产品加工服务中心, 河北 承德 067000)

摘 要: 淀粉、水和蔗糖是发酵驴肉香肠的主要配料, 但目前加工过程中三者的添加量一直没有明确的指标限制, 均以适量添加。本研究在现有加工条件下, 以戊糖片球菌和干酪乳杆菌2种乳酸菌作为混合发酵剂, 研究不同添加量马铃薯淀粉、水和蔗糖对发酵驴肉肠的硬度、弹性、水分活度等特性的影响, 对适宜添加量进行3因素3水平的正交试验。结果表明: 在淀粉添加量6%、蔗糖添加量2.0%、水添加量10%的优化条件下制备的发酵驴肉肠呈枣红色, 外形饱满、结构紧密、切面平整、有丰富的发酵风味和良好的食用品质, 感官品评优。

关键词: 驴肉肠; 发酵; 马铃薯淀粉; 水; 蔗糖

Optimization of Main Ingredients for the Manufacture of Fermented Donkey Sausage

WANG Han¹, ZHU Yingnan¹, GAO Yuan², ZHANG Zhisheng^{1,*}

(1.College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China;

2.Chengde Agricultural Products Processing Service Center, Chengde 067000, China)

Abstract: Starch, water and sucrose are the main ingredients of fermented donkey meat sausage. However, in the current process, there are no clear limits to the amount of these three ingredients, and they are all added in an appropriate amount. Under the existing processing conditions, a mixed starter culture of *Lactobacillus casei* and *Pediococcus pentosaceus* was used. The effect of adding different amounts of potato starch, water and sucrose on the hardness, springiness and water activity of fermented donkey meat sausage was investigated. The levels of these three variables were optimized using a three-level orthogonal array design. The results showed that the product prepared with 6% potato starch, 2% sucrose and 10% water had a jujube red-like color with a plump shape, dense structure and flat cross-section, and it had a rich fermented flavor and good eating quality and was highly accepted by sensory panelists.

Keywords: donkey meat sausage; fermentation; potato starch; water; sucrose

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190320-062

中图分类号: TS251.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2019) 05-0043-07

引文格式:

王晗, 朱颖男, 高远, 等. 发酵驴肉肠的工艺优化[J]. 肉类研究, 2019, 33(5): 43-49. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190320-062. <http://www.rlyj.net.cn>

WANG Han, ZHU Yingnan, GAO Yuan, et al. Optimization of main ingredients for the manufacture of fermented donkey sausage[J]. Meat Research, 2019, 33(5): 43-49. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190320-062. <http://www.rlyj.net.cn>

肉类是我国饮食中的重要元素^[1-2], 其中包括很多种类。驴肉营养极其丰富, 虽然在西方国家食用驴肉十分少见^[3-4], 但我国自古有食用驴肉的习惯, 加工驴皮制成的阿胶也可以防止皮肤老化^[5]。Lorenzo^[6]、Polidori^[7]等研究显示, 驴肉中脂肪含量高达5.0%, 蛋白质含量23.5%, 灰分含量1.1%, 胆固醇含量65 mg/100 g, 亚油酸含量高达10.1%, 与其他几种畜产肉类相比较, 驴肉的蛋白质、

多不饱和脂肪酸含量高, 脂肪和胆固醇含量低, 亚油酸和亚麻酸含量丰富, 是一种高蛋白、低脂肪、低胆固醇的食品。

发酵香肠是我国的传统食物^[8], 将肉发酵制成香肠提升了肉的风味和口感, 同时提高其贮藏性^[9-10]。发酵驴肉香肠的制作中适当比例淀粉的添加可以改进香肠制品的保水性、提高出品率、改良产品感官及质构特性^[11]。

收稿日期: 2019-03-20

第一作者简介: 王晗 (1994—) (ORCID: 0000-0001-7303-9983), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品工程。

E-mail: wanghanws@163.com

*通信作者简介: 张志胜 (1970—) (ORCID: 0000-0002-0481-2589), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品科学。

E-mail: zzs324@126.com

周亚军等^[12]在加工过程中用马铃薯淀粉代替原来使用的玉米淀粉,使得淀粉的用量大幅减少,灌肠品质得到提升。贲宁^[13]在加工鸡肉火腿肠时使用马铃薯淀粉,得到具有较好弹性和切片性的火腿肠。因此,利用马铃薯淀粉优良的凝胶质构性质、较高的膨胀率和吸水性可以提高发酵驴肉肠的品质。水分的添加量不同会影响肉制品的感官性状和产品品质。水作为溶剂将不同的配料充分溶解后均匀分布于肉制品中,丰富肉制品的特殊风味,改善其品质结构,是肉制品加工过程中必不可少的添加剂。在加工香肠过程中加入葡萄糖不仅有利于发酵乳酸菌的生长代谢产酸,还会加大肉结合水的能力,提高出品率,且葡萄糖作为肉制品的发色助剂能在一定程度上促进香肠发色和香肠肉质的改变,提高香肠品质。

本研究以戊糖片球菌(*Pediococcus pentosaceus*, *P. pentosaceus*)和干酪乳杆菌(*Lactobacillus casei*, *L. casei*) 2种乳酸菌作为混合发酵剂,菌种配比为1:1,菌种菌液浓度 1×10^6 CFU/mL,发酵剂添加量1%,发酵温度35℃,发酵时间20 h,在此基础上通过对发酵驴肉肠中马铃薯淀粉、水和蔗糖的不同添加量对发酵驴肉肠的影响进行分析,得到优化配方,丰富驴肉制品的多样性,提高产品附加值,延长驴肉产业链,为发酵驴肉肠投入市场提供理论基础和科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

驴肉(2~3岁健康粉驴,卧宰,选用符合卫生检疫要求并解僵完成的新鲜驴肉) 河北河间朴康源驴肉制品有限公司;大豆分离蛋白(纯度98%) 天津市光复精细化工研究所;复合磷酸盐(焦磷酸钠、三聚磷酸钠、六偏磷酸钠) 河南隆霄生物科技有限公司;干酪乳杆菌、戊糖片球菌 河北农业大学菌种保藏实验室;乳酸细菌培养基(MRS) 北京奥博星生物技术有限责任公司;革兰氏染色液试剂盒 北京陆桥试剂有限公司;其他配料(如马铃薯淀粉、五香粉等)(均为食品级) 本地大型超市;所用溶剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

MGB绞肉灌肠机 上海知信实验仪器技术有限公司;TMS-Pro食品物性分析仪 美国Food Technology Corporation公司;UV-2800紫外分光光度计 尤尼柯(上海)仪器有限公司;CR400色差计 日本柯尼卡-美能达公司;DZ400鼎业真空封口机 浙江鼎业机械设备有限公司;101-2鼓风干燥箱 天津市达北实验仪器厂;LabSwift-aw水分活度计 瑞士Novasina公司。

1.3 方法

1.3.1 发酵驴肉肠的制作工艺流程

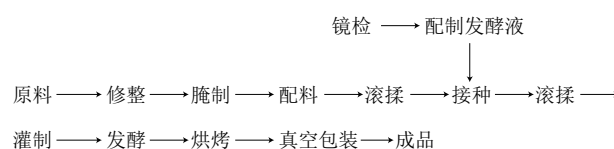


图1 发酵驴肉肠的制作工艺流程

Table 1 Flow chart of fermented donkey sausage production

操作要点:将驴后腿、臀部肥瘦肉分离,去除瘦肉中可见筋膜、脂肪,将处理好的瘦肉和肥膘分别过6 mm孔板绞碎;将食盐、复合磷酸盐拌匀,加入瘦肉、肥膘质量比9:1的肉中,混匀搅拌后于-4℃条件下腌制24 h,再加入其他配料,注意配料添加过程中大豆分离蛋白需复水后再加入;肉馅滚揉8 min后送入灌肠机中灌制,每节肠15 cm左右;烘烤温度控制在 (65 ± 1) ℃,烘烤480 min,然后将其放入温度为105℃的烤箱中焙烤10 min结束;将香肠自然冷却至室温后用经过紫外杀菌15 min的真空袋进行真空包装。

1.3.2 发酵驴肉肠的基础配方

瘦肉、肥膘质量比9:1、食盐2%、葡萄糖1%、大豆分离蛋白1.5%、亚硝酸钠0.01%、大蒜末0.1%、五香粉0.2%、味精0.05%、复合磷酸盐0.2%、姜粉0.5%、菌液添加量1%(浓度 1×10^6 CFU/mL),蔗糖、马铃薯淀粉、水添加量根据研究结果确定。

1.3.3 发酵驴肉肠配方优化试验设计

1.3.3.1 单因素试验设计

分别添加2%、4%、6%、8%、10%、12%(以肉质量计)水制备驴肉肠,其他配料按照基本配方添加;分别添加2%、4%、6%、8%、10%、12%马铃薯淀粉制备驴肉肠,其他配料按照基本配方添加;以1.0%葡萄糖为基础,分别添加0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%蔗糖,其他配料按照基本配方添加制备驴肉肠,研究不同添加量的水、马铃薯淀粉和蔗糖对发酵驴肉肠品质的影响。

1.3.3.2 正交试验设计

以香肠的基础配料马铃薯淀粉、水和蔗糖添加量为因素,采用 $L_9(3^4)$ 正交表,以产品硬度、弹性和感官评价结合为指标,筛选出最佳加工工艺参数。正交试验的因素水平如表1所示。

表1 正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels used for orthogonal array design

水平	因素			
	A蔗糖添加量/%	B马铃薯淀粉添加量/%	C A×B	D水添加量/%
1	1.0	6		6
2	1.5	8		8
3	2.0	10		10



1.3.4 总糖含量测定

参照GB/T 9695.31—2008《肉制品 总糖含量测定》^[14]。

1.3.5 质构测定

对发酵驴肉肠的品质测定主要采用质地多面剖析法(texture profile analysis, TPA), 将制作好的驴肉肠修整成厚度约为1 cm、直径不变的肉块, 然后进行测定。以硬度、弹性为指标, 对样品连续压缩2次来进行测定, 而后通过力量-时间曲线获得TPA参数, 使用圆柱挤压检测探头直径50 mm, 具体测定条件为^[15-17]: 最大力量感应量程999 N; 最小起始力0.5 N; 形变百分率50%; 探头回升到样品表面的高度30 mm; 检测前速率120 mm/min; 检测速率30 mm/min; 检测后速率30 mm/min。

1.3.6 色差测定

选取L*a*b*型色彩空间。首先对色差计进行原色校准, 然后将加工完成的发酵驴肉肠切成厚度为1 cm的小圆柱体, 将色差计镜头垂直紧贴于肠体切面, 保证没有光线透入, 然后按下按钮取得色度值, 注意每个样品取不同部位进行6次重复测量^[18]。采用a*/b*值来代表香肠的红色, a*/b*值大, 红色就比较鲜艳^[19]。

1.3.7 水分含量测定

参照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[20]。

1.3.8 水分活度测定

参照GB 5009.238—2016《食品安全国家标准 食品水分活度的测定》^[21]。

1.3.9 感官评价

表2 发酵驴肉肠感官评分表

项目	评分标准	评分
形态 (20分)	形状饱满, 质地均匀, 富有弹性, 表面干爽, 有自然皱褶	16~20
	形状较完整, 质地均匀, 弹性一般, 表面干爽, 有自然皱褶	11~15
	外形较完整, 质地不均匀, 表面湿润/破裂	5~10
	外形不完整, 质地不均匀, 表面黏腻, 失去可食性	0~4
色泽 (30分)	外表呈枣红色, 有光泽, 切面呈玫瑰红色	21~30
	外表呈棕红色, 色泽暗淡, 切面呈暗红色	13~20
	外表呈棕色, 无光泽, 切面呈灰红色	5~12
	外表呈深棕色, 无光泽, 切面呈绿黄色	0~4
香气 (20分)	有发酵芳香味, 香肠固有风味充沛	16~20
	脂肪有轻微酸味, 香肠固有风味较弱	11~15
	脂肪味过重, 香肠固有风味消失	5~10
	无香味, 香肠气味恶变	0~4
滋味 (30分)	口味适中, 滋味丰富	21~30
	口味略酸, 滋味一般	13~20
	口味过酸, 滋味较差	5~12
	品质恶变, 不可入口	0~4

接受过食品感官评价培训学习的食品专业研究生8名(4男4女)和2名教师组成感官评定小组, 以形态、色泽、香气和滋味为指标, 对发酵驴肉肠进行评

分。选择下午3时进行评定实验, 每次实验之前将发酵驴肉肠置于20℃培养箱中30 min。驴肉发酵肠感官评分表如表2所示。

1.4 数据处理

采用IBM SPSS Statistics 22统计分析软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA)和Duncan's法显著性分析($P<0.05$); 用Microsoft Excel 2007软件绘制图表。重复测定3次, 取平均值。

2 结果与分析

2.1 不同添加量的马铃薯淀粉对发酵驴肉肠品质的影响

表3 不同添加量马铃薯淀粉对发酵驴肉肠品质的影响
Table 3 Influence of starch addition on quality of fermented donkey meat sausage

马铃薯淀粉添加量/%	硬度/N	弹性/mm	水分含量/%	水分活度
2	119.80±7.18 ^b	2.19±0.30 ^a	44.44±0.41 ^d	0.915±0.001 ^e
4	79.02±16.08 ^a	2.08±0.33 ^{ab}	47.23±0.40 ^c	0.919±0.001 ^d
6	104.83±20.89 ^{ab}	2.27±0.34 ^a	49.11±1.34 ^b	0.920±0.001 ^c
8	153.10±17.11 ^c	1.97±0.34 ^{ab}	50.84±0.57 ^a	0.921±0.001 ^c
10	181.03±18.30 ^c	1.83±0.25 ^{ab}	50.11±0.71 ^{ab}	0.924±0.001 ^b
12	220.90±13.95 ^d	1.53±0.12 ^b	50.57±0.18 ^a	0.927±0.001 ^a

注: 同列小写字母不同, 表示差异显著($P<0.05$)。表4~5同。

由表3可知: 当马铃薯淀粉添加量为12%时, 发酵驴肉肠硬度达到最大值, 与其他5个处理组之间有显著性差异($P<0.05$), 马铃薯淀粉添加量4%组和6%组差异不显著, 但与其他4组差异显著($P<0.05$); 马铃薯淀粉添加量2%组和6%组差异不显著, 但与其他4组差异显著($P<0.05$); 马铃薯淀粉添加量8%组和10%组差异不显著, 但与其他4组均差异显著($P<0.05$)。硬度代表食物在受到外界作用力时为保持自身形状而产生抵抗时所需食品内部结合力的大小^[22-23]。硬度适当的增大有助于发酵驴肉肠拥有饱满而富有弹性的外形、良好的感官品质, 硬度过大会影响香肠口感, 咀嚼力变大, 影响食用品质。

弹性表示物体在外力作用下发生形变、撤去外力后恢复原来状态的能力^[24]。随着马铃薯淀粉添加量的增加, 发酵驴肉肠的弹性不断减小, 马铃薯淀粉添加量2%组和12%组之间差异显著($P<0.05$)。

由于不同添加量淀粉的加入, 使得发酵驴肉肠的物性指标发生变化, 弹性逐渐变小, 此变化趋势与孙京新等^[25]研究淀粉对鸡肉丸弹性影响的结果一致。这可能是由于在肉制品加工过程中, 由于高温加热使淀粉颗粒发生糊化反应, 淀粉分子结构改变, 大量吸水, 体积膨大数倍, 使得肉馅黏合地更紧密, 使香肠有良好的外形和细腻的切面; 随着淀粉添加量的增加, 内部结构更加致

密,肉制品的组织形态得到改善,从而硬度、弹性均有提高,而当淀粉添加量过多时,肉制品的切片性改变,导致肉制品的硬度增大、多汁性降低,口感变差。

随着马铃薯淀粉添加量的增加,发酵驴肉肠的水分含量逐渐升高,在马铃薯淀粉添加量为8%时水分含量达到峰值,此时与添加量10%、12%处理组之间差异不显著,与其他3组有显著性差异($P<0.05$);马铃薯淀粉添加量6%组和10%组间差异不显著,但与其他4组差异显著($P<0.05$);马铃薯淀粉添加量4%组与其他5组差异显著($P<0.05$);马铃薯淀粉添加量最小的2%组,与其他5组差异显著($P<0.05$)。水分含量低有助于香肠制品贮藏期间品质的保证,但并非水分含量越低越好,水分是保持香肠制品良好外观和食用品质的保证,必须在满足中式香肠国家标准的条件下保证香肠制品良好的食用品质,在当前加工条件下,马铃薯淀粉添加量为8%时香肠的品质最好。

随着马铃薯淀粉添加量的增加,发酵驴肉肠的水分活度不断增加,马铃薯淀粉添加量为12%时,水分活度最大,达到0.927,与其他5组差异显著($P<0.05$),马铃薯淀粉添加量为10%时,也与其他5组差异显著($P<0.05$),而马铃薯淀粉添加量8%组和6%组之间差异不显著,但与其他4组差异显著($P<0.05$),马铃薯淀粉添加量2%组和4%组之间差异显著($P<0.05$),且均与其他4组差异显著($P<0.05$)。

上述结果表明,在发酵驴肉香肠加工过程中适当使用淀粉可以增加香肠的保水率,可能的原因是淀粉的糊化温度高于蛋白质的变性温度,因此淀粉的糊化在蛋白质变性后才开始进行。在糊化过程中,淀粉分子吸水膨胀,可以吸收存在于香肠制品内部由于蛋白质变性而释放的水分子和原本存在于香肠制品内部网状结构中结合不够紧密的水分子,并将其固定于膨胀的淀粉颗粒中,增加香肠的水分含量^[26]。而当淀粉添加量过高时,在香肠制品内部水-淀粉-蛋白质体系形成稳定性后,仍可能有多余的未结合水分子的淀粉,其继续吸收香肠制品内部游离的水分,从而使得水分含量持续增高。发酵驴肉肠的水分活度不断增加是由于淀粉添加量的不断增加导致香肠保水率增加,淀粉不断吸附由于蛋白质变性而释放的水分子和香肠制品内部可自由移动的水分子,保证香肠制品内部网络结构的稳定,当水分的吸收达到饱和,便有自由水分子存在于香肠制品内部网络中,增加了自由水的含量,使水分活度增大。

结合以上指标和感官品评的结果,在马铃薯淀粉添加量为6%时,发酵驴肉肠在当下加工条件中有较好的品

质,将马铃薯淀粉添加量6%、8%、10%设为正交试验的3个水平。

2.2 不同添加量的水对发酵驴肉肠品质的影响

表4 不同添加量水对发酵驴肉肠品质的影响

Table 4 Influence of water addition on quality of fermented donkey meat sausage

水添加量/%	硬度/N	弹性/mm	水分含量/%	水分活度
2	166.00±20.19 ^a	1.70±0.16 ^b	44.16±0.62 ^c	0.905±0.001 ^d
4	133.08±18.15 ^b	1.92±0.41 ^b	45.23±0.37 ^d	0.914±0.001 ^c
6	123.68±18.88 ^{bc}	2.00±0.31 ^b	46.65±0.58 ^c	0.915±0.001 ^b
8	112.74±10.46 ^{bc}	2.28±0.16 ^a	47.66±0.17 ^b	0.914±0.001 ^{bc}
10	91.30±12.29 ^d	2.07±0.22 ^{ab}	48.20±0.36 ^b	0.916±0.000 ^{bc}
12	107.38±11.10 ^{cd}	1.85±0.19 ^b	50.98±0.71 ^a	0.919±0.001 ^a

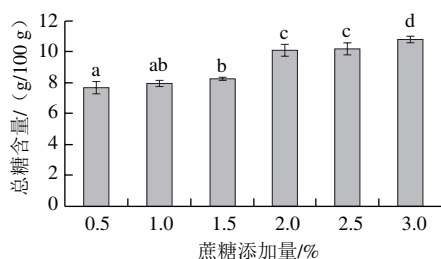
由表4可知:随着水添加量的增加,发酵驴肉肠的硬度呈现逐渐下降的趋势,在水添加量为10%时硬度最小,显著低于其他添加水平;随着水添加量的增加,发酵驴肉肠的弹性逐渐上升然后下降,在水添加量为8%时弹性达到最大值,然后逐渐下降,当水添加量为8%时,发酵驴肉肠的弹性和水添加量10%时差异不显著,但显著高于其他添加水平;随着水添加量的增加,发酵驴肉肠中的水分含量逐渐增加,当水添加量为12%时有最大值(50.98%),与其他5组均有显著差异($P<0.05$);随着水添加量的增加,发酵驴肉肠的水分活度缓慢升高,当水添加量增加至12%时,水分活度增加至0.919。随着水的增加,发酵驴肉肠的水分含量不断升高,水分活度缓慢增加,这可能是由于在当前加工配方条件下,随着水添加量不断增加,发酵驴肉肠内部分子基团吸水力增强,直至饱和,因此水分活度刚开始增加,然后在水添加量为4%、6%、8%时基本不变,直至水添加量增加到10%才开始增高,表明此时水分过饱和,水分子之间对结合键的竞争能力增强,水分活度升高。水分含量的持续增高可能是由于除去参与发酵驴肉肠内部生化反应和结构调节中的水,自由水的含量随着水添加量的增大而增多,导致水分含量持续升高。

结合以上指标和感官品评的结果,在水添加量为10%时,发酵驴肉肠在当下加工条件中有较好的品质,选择6%、8%、10%为正交试验中的3个水平。

2.3 不同添加量的蔗糖对发酵驴肉肠品质的影响

2.3.1 发酵驴肉肠总糖含量的变化

结果表明,标准曲线为 $y=167.63x-1.09$ ($R^2=0.999$),将不同蔗糖添加量的发酵驴肉肠经处理后测得吸光度,代入公式得出不同处理水平发酵驴肉肠的还原糖含量。



小写字母不同, 表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图2 蔗糖添加量对发酵驴肉肠总糖含量的影响

Fig. 2 Effect of sucrose addition on total sugar content of fermented donkey meat sausage

由图2可知, 随着蔗糖添加量的增加, 发酵驴肉肠中总糖含量一直增加, 当蔗糖添加量为3%时, 总糖含量最高, 为10.81 g/100 g, 低于GB/T 23493—2009《中式香肠》^[27]中规定的22 g/100 g。

2.3.2 不同添加量的蔗糖对发酵驴肉肠硬度、弹性等的影响

表5 不同添加量蔗糖对发酵驴肉肠品质的影响
Table 5 Influence of sucrose addition on quality of fermented donkey meat sausage

蔗糖添加量/%	硬度/N	弹性/mm	水分含量/%	水分活度	色泽 (a^*/b^*)
0.5	183.32±21.98 ^a	2.14±0.14 ^b	48.35±0.33 ^a	0.917±0.001 ^a	1.66±0.05 ^b
1.0	195.70±20.02 ^a	2.17±0.35 ^b	46.84±0.72 ^c	0.904±0.001 ^c	1.65±0.14 ^b
1.5	198.30±11.20 ^a	2.88±0.14 ^a	45.51±0.67 ^d	0.903±0.001 ^c	1.66±0.10 ^b
2.0	200.52±16.35 ^a	2.42±0.16 ^b	44.81±0.32 ^d	0.902±0.001 ^d	1.86±0.10 ^a
2.5	184.76±11.09 ^{ab}	2.34±0.24 ^b	47.29±0.27 ^{bc}	0.914±0.001 ^b	1.80±0.08 ^b
3.0	156.96±10.90 ^b	2.33±0.38 ^b	48.00±0.23 ^{ab}	0.915±0.001 ^b	1.84±0.05 ^b

由表5可知: 随着蔗糖添加量的增加, 发酵驴肉肠硬度先增大后减小, 当蔗糖添加量为2.0%时, 硬度最大, 此时和蔗糖添加量为3.0%处理组有显著性差异 ($P < 0.05$), 与其他处理组差异不显著; 随着蔗糖添加量的增加, 发酵驴肉肠弹性的变化趋势为先升高后降低然后保持基本不变, 当蔗糖添加量为1.5%时, 发酵驴肉肠的弹性达到最大值, 显著高于其他处理组 ($P < 0.05$)。

随着蔗糖添加量的增加, 发酵驴肉肠的硬度先小幅增加然后又下降, 弹性显著增加, 可能是由于糖可以显著增强淀粉的凝胶性, 利于凝胶状态的保持^[28], 并提高淀粉的凝胶冻融稳定性^[29], 且陶锦鸿等^[30]的研究表明, 这种凝胶性的增强主要取决于糖的添加量并非是糖的种类。随着发酵驴肉肠中蔗糖添加量的增加, 蔗糖分子在分散体系中不断扩散, 部分进入到淀粉颗粒内部与淀粉结合, 于发酵驴肉肠内部形成水-糖-淀粉的稳定结构, 导致发酵驴肉肠内部可以自由移动的水分数量减少, 形成较低的水分活度, 有利于发酵驴肉肠的贮存, 而稳定的三相系统也使得发酵驴肉肠在此时拥有良好的胶黏度、细腻的切面及富有弹性的外形等较好的感官品质; 但随

着更高添加量蔗糖的加入, 过多的糖分子将淀粉颗粒包裹, 由于淀粉改性而析出的直链淀粉分子难以融入淀粉糊中, 由此阻碍可以增加弹性的反应, 也可能是由于糖分子对淀粉的包裹结合占用了直链淀粉分子之间的结合位点, 导致淀粉分子之间的作用力减弱, 弹性受到影响, 从而导致弹性降低后一直保持基本不变, 过多的糖分子聚集在淀粉周围, 还吸附了部分水分子, 糖分子吸附着部分水分子分布于淀粉分子内部和外部^[31], 导致淀粉分子之间的作用力减小, 淀粉与水分子的结合也受到抑制, 从而降低内部分子间的作用力, 表现为硬度和咀嚼性的减小。

随着蔗糖添加量的增加, 发酵驴肉肠的水分含量先逐渐下降后逐渐上升, 在添加量为2.0%时达到最低值, 此时与蔗糖添加量1.5%时的水分含量差异不显著, 但与其他4组均差异显著 ($P < 0.05$); 蔗糖添加量1.0%组和2.5%组之间差异不显著, 但与蔗糖添加量0.5%组和3.0%组差异显著 ($P < 0.05$); 蔗糖添加量0.5%组和3.0%组之间差异不显著。随着蔗糖添加量的增加, 发酵驴肉肠的水分活度先降低后升高, 在蔗糖添加量为2.0%时水分活度最低, 且与其他处理组差异显著 ($P < 0.05$); 蔗糖添加量为1.0%和1.5%时, 水分活度差异不显著, 但与其他4组显著 ($P < 0.05$), 蔗糖添加量为2.5%和3%时, 彼此之间差异不显著, 但均与其他4组差异显著 ($P < 0.05$); 蔗糖添加量为0.5%时, 与其他5组差异显著 ($P < 0.05$)。

在蔗糖添加量从0.5%增加到2.0%过程中, 水分含量和水分活度均逐渐降低直到最低值, 加入的蔗糖一部分在扩散体系进入到淀粉颗粒内部, 与淀粉形成稳定复合物, 一部分溶于水, 降低了体系中水的活性, 使得整个发酵体系中可自由游离的水分数量减少, 直到水-糖-淀粉3项体系达到最大稳定值, 这种减少才会停止, 因此当蔗糖添加量逐渐达到饱和 (蔗糖添加量2.0%), 正好与发酵驴肉肠中的水分子和淀粉形成完整、稳定的网络结构, 保证有足够结合水来维持发酵驴肉肠内部结构, 且较少地截留、吸附自由水, 保证在加工过程中自由水可以充分地蒸发, 保证发酵驴肉肠有较低的水分活度, 保证发酵驴肉肠的品质。当蔗糖添加量超过2.0%后, 发酵驴肉肠水分含量和水分活度的上升可能是由于当水-糖-淀粉稳定的3项体系建立完成, 随着蔗糖的加入, 多羟基物质增加了对自由水分的截留吸附, 而羟基和水分的结合力不足以使这部分自由水变为结合水, 因此相较于蔗糖添加量2.0%时的水分含量和水分活度呈上升趋势。

随着蔗糖添加量的增加, 发酵驴肉肠的 a^*/b^* 有明显的增加。蔗糖添加量为0.5%、1.0%、1.5%时, 发酵驴肉肠的 a^*/b^* 差异不显著, 蔗糖添加量为2.0%、2.5%、3.0%时, 3组处理之间差异也不显著, 但与前3组之间



形成显著差异 ($P < 0.05$)。蔗糖添加量为2.0%时发酵驴肉肠的色泽较好,糖在肉中没有发色作用,只是一种助色剂^[32]。刘辰麒^[33]对肉制品中常使用的发色剂及发色助剂的发色效果进行研究,发现糖作为发色助剂对肉色泽的影响显著。但本研究中添加了葡萄糖和蔗糖,究竟是某一种糖的单独作用还是2种糖的混合作用增加了发酵驴肉肠色泽的红色,还需要进一步研究。

结合以上指标和感官品评的结果,在蔗糖添加量为2.0%时,发酵驴肉肠在当下加工条件中有较好的品质,选择1.0%、1.5%、2.0%作为正交试验中蔗糖添加量的3个水平。

2.4 正交试验结果及分析

表6 $L_9(3^4)$ 正交试验表

Table 6 Orthogonal array design $L_9(3^4)$ with experimental results

试验组	A蔗糖添加量/%	B马铃薯淀粉添加量/%	C A×B	D水添加量/%	硬度/N	弹性/mm	感官评分
1	1 (1.0)	1 (6)	1	1 (6)	232.44	2.46	78.30
2	1	2 (8)	2	2 (8)	220.24	2.39	79.20
3	1	3 (10)	3	3 (10)	218.36	2.69	79.10
4	2 (1.5)	1	2	3	228.25	2.57	86.40
5	2	2	3	1	190.36	2.54	78.50
6	2	3	1	2	198.40	2.60	68.90
7	3 (2.0)	1	3	2	235.40	2.47	91.60
8	3	2	1	1	197.64	2.54	85.70
9	3	3	2	3	209.92	2.75	88.70
硬度	k_1	223.680	232.030	209.493	210.903		
	k_2	205.670	202.747	219.470	218.013		
	k_3	214.320	208.893	214.707	214.750		
	R	18.010	29.283	9.977	7.106		
弹性	k_1	2.513	2.500	2.533	2.583		
	k_2	2.570	2.490	2.570	2.487		
	k_3	2.587	2.680	2.567	2.600		
	R	0.074	0.190	0.037	0.113		
感官评分	k_1	78.867	85.433	77.633	81.833		
	k_2	77.933	81.133	84.767	79.900		
	k_3	88.667	78.900	83.067	83.733		
	R	4.330	6.533	7.134	3.833		

由表6可知,根据硬度指标来看,主次因素为马铃薯淀粉>蔗糖>淀粉-蔗糖交互作用>水;结合感官评分来看,硬度小、感官评分高的较优组合为 $A_2B_2D_1$;马铃薯淀粉添加量对弹性的影响最大,其次是水和蔗糖,淀粉-蔗糖交互作用影响最小,根据弹性得出较优组合为 $A_3B_3D_3$;根据感官评分选择的较优组合为 $A_3B_1D_3$;综合以上3个指标,得出正交试验较优组合为 $A_3B_1D_3$ 。

由表7可知,由于较优组合没有在正交表内,对感官评分最高组 $A_3B_1D_2$ 和 $A_3B_1D_3$ 采取相同加工步骤做验证性实验,得出 $A_3B_1D_3$ 组硬度为207.66 N、弹性2.62 mm、感官评分89分, $A_3B_1D_2$ 组硬度为212.64 N、弹性2.78 mm、感官评分85分, $A_3B_1D_3$ 组的各项指标均优于 $A_3B_1D_2$ 组,故

将配方定为 $A_3B_1D_3$,即马铃薯淀粉添加量6%、蔗糖添加量2.0%、水添加量10%。

表7 正交试验结果方差分析

Table 7 Analysis of variance of the experimental results of orthogonal array design

	因素	偏差平方和	自由度	方差	F值	P值
硬度	A	486.792	2	243.396	290.712	0.003
	B	1 383.000	2	691.702	826.169	0.001
	D	223.653	2	111.826	133.566	0.007
	误差	1.674	2	0.837		
	总变异	416 453.789	9			
弹性	A	0.008	2	0.004	20.361	0.047
	B	0.034	2	0.017	86.500	0.011
	D	0.025	2	0.013	62.250	0.016
	误差	0.000	2	0.000		
	总变异	58.941	9			
感官评分	A	212.116	2	106.058	20.589	0.046
	B	121.756	2	60.878	11.818	0.078
	D	95.036	2	47.518	9.225	0.098
	误差	10.302	2	5.151		
	总变异	60 637.500	9			

3 结论

将现有的发酵工艺条件应用到发酵驴肉肠品质改善实验中,对马铃薯淀粉、水、蔗糖的添加量进行研究。在添加基础配料的基础上,得到以下最优配方:马铃薯淀粉添加量6%、蔗糖添加量2.0%、水添加量10%。添加6%马铃薯淀粉使发酵驴肉肠有良好的保水性和感官质构特性;添加10%的水可以在糊化过程中被淀粉更好地吸收,使发酵驴肉肠有良好的凝胶结构、更好的硬度和弹性;添加2.0%的蔗糖使发酵驴肉肠有更好的色泽。在淀粉和蔗糖的糊化、凝胶过程中三者形成的稳定三相体系使发酵驴肉肠拥有良好的胶黏度、细腻的切面及富有弹性的外形。在此配比下发酵的驴肉肠呈枣红色,外形饱满、结构紧密、感官评分优。

参考文献:

- [1] ZENG Weicai, WEN Wenting, DENG Yue, et al. Chinese ethnic meat products: continuity and development[J]. Meat Science, 2016, 120(SI): 37-46. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.04.007.
- [2] TAUFIK D. Prospective “warm-glow” of reducing meat consumption in China: emotional associations with intentions for meat consumption curtailment and consumption of meat substitutes[J]. Journal of Environmental Psychology, 2018, 60: 48-54. DOI:10.1016/j.jenvp.2018.10.004.
- [3] CAMILLO F, ROTA A, BIAGINI L, et al. The current situation and trend of donkey industry in Europe[J]. Journal of Equine Veterinary Science, 2018, 65: 44-49. DOI:10.1016/j.jevs.2017.11.008.
- [4] CARNEIRO G F, CAVALCANTE LUCENA J E, BARROS L D O. The current situation and trend of the donkey industry in South America[J]. Journal of Equine Veterinary Science, 2018, 65: 106-110. DOI:10.1016/j.jevs.2018.03.007.



- [5] KIM J S, KIM D, KIM H J, et al. Protection effect of donkey hide gelatin hydrolysates on UVB-induced photoaging of human skin fibroblasts[J]. *Process Biochemistry*, 2018, 67: 118-126. DOI:10.1016/j.procbio.2018.02.004.
- [6] LORENZO J M, SARRIÉS M V, TATEO A, et al. Carcass characteristics, meat quality and nutritional value of horsemeat: a review[J]. *Meat Science*, 2014, 96(4): 1478-1488. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.12.006.
- [7] POLIDORI P, PUCCIARELLI S, ARIANI A, et al. A comparison of the carcass and meat quality of Martina Franca donkey foals aged 8 or 12 months[J]. *Meat Science*, 2015, 106: 6-10. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.03.018.
- [8] HOLCK A, AXELSSON L, MCLEOD A, et al. Health and safety considerations of fermented sausages[J]. *Journal of Food Quality*, 2017(3): 1-25. DOI:10.1155/2017/9753894.
- [9] MUTAMED A, LIU S Q, AL MHEIRI A, et al. *In vitro* investigation of health-promoting benefits of fermented camel sausage by novel probiotic *Lactobacillus plantarum*: a comparative study with beef sausages[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 99: 346-354. DOI:10.1016/j.lwt.2018.09.084.
- [10] SIDIRA M, KANDYLIS P, KANELLAKI M, et al. Effect of immobilized *Lactobacillus casei* on the evolution of flavor compounds in probiotic dry-fermented sausages during ripening[J]. *Meat Science*, 2015, 100: 41-51. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.09.011.
- [11] 周光宏. 肉品加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 164-166.
- [12] 周亚军, 王淑杰, 石晶, 等. 不同种类变性淀粉在灌肠制品中的应用研究[J]. *食品科技*, 2003(10): 71-73. DOI:10.3969/j.issn.1005-9989.2003.10.024.
- [13] 贲宁. 鸡肉火腿的加工[J]. *肉类工业*, 2005(9): 8. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2005.09.003.
- [14] 深圳市计量质量检测研究院, 中国商业联合会商业标准中心. 肉制品 总糖含量测定: GB/T 9695.31—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [15] 敖冉, 赵雪聪, 田晨曦, 等. 驴肉在低温成熟过程中理化指标的变化[J]. *肉类研究*, 2016, 30(5): 11-14. DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.05.003.
- [16] 赵雪聪. 驴肉在低温成熟过程中品质变化研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2015: 13-14.
- [17] 敖冉, 赵雪聪, 王伟, 等. 驴肉在低温成熟过程中质构变化研究[J]. *食品工业*, 2016, 37(7): 126-128.
- [18] PAPAMANOLI E, TZANETAKIS N, LIPOPOULOU-TZANETAKI E, et al. Characterization of lactic acid bacteria isolated from a Greek dry-fermented sausage in respect of their technological and probiotic properties[J]. *Meat Science*, 2003, 65(2): 859-867. DOI:10.1016/s0309-1740(02)00292-9.
- [19] XU Yanshun, XIA Wenshui, YANG Fang, et al. Effect of fermentation temperature on the microbial and physicochemical properties of silver carp sausages inoculated with *Pediococcus pentosaceus*[J]. *Food Chemistry*, 2010, 118(3): 512-518. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.05.008.
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品水分活度的测定: GB 5009.238—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [22] CHEN J, KHANDELWAL N, LIU Z, et al. Influences of food hardness on the particle size distribution of food boluses[J]. *Archives of Oral Biology*, 2013, 58(3): 293-298. DOI:10.1016/j.archoralbio.2012.10.014.
- [23] SHAND P J. Textural, water holding, and sensory properties of low-fat pork bologna with normal or waxy starch hull-less barley[J]. *Journal of Food Science*, 2000, 65(1): 101-107. DOI:10.1111/j.1365-2621.2000.tb15963.x.
- [24] MARCHETTI L, MUZZIO B, CERRUTTI P, et al. Bacterial nanocellulose as novel additive in low-lipid low-sodium meat sausages: effect on quality and stability[J]. *Food Structure*, 2017, 14: 52-59. DOI:10.1016/j.foosr.2017.06.004.
- [25] 孙京新, 雷甜甜, 丁翠云, 等. 不同配方对鸡肉丸品质的影响[J]. *肉类研究*, 2009, 23(3): 30-33.
- [26] 李雨露, 刘丽萍. 提高肉制品保水性方法的研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(20): 398-400. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2012.20.095.
- [27] 中国商业联合会商业标准中心, 中山市黄圃食品腊味商会, 广州食品企业集团有限公司皇上皇肉食制品厂, 等. GB/T 23493—2009: 中式香肠[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [28] 杨玉玲, 张沫, 陈银基, 等. 绿豆淀粉凝胶的质构特性和超微结构研究[J]. *中国粮油学报*, 2014(4): 36-41. DOI:10.3969/j.issn.1003-0174.2014.04.008.
- [29] 杜先锋, 许时婴, 王璋. 食品成分对淀粉凝胶力学性能的影响[J]. *中国粮油学报*, 2002(2): 6-8. DOI:10.3321/j.issn:1003-0174.2002.02.002.
- [30] 陶锦鸿, 郑铁松, 胡月珍. 莲子淀粉凝胶力学性能影响因素的研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(21): 109-112. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2009.21.026.
- [31] 周大年. 不同寡糖对甘薯淀粉糊化和回生特性的影响[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017: 33-47.
- [32] 郭玉华, 李钰金. 发色剂及发色助剂在肉制品加工中的应用[J]. *肉类研究*, 2010, 24(10): 60-66.
- [33] 刘辰麒. 发色剂及发色助剂对肉类制品的发色效果的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2008: 7-14.