

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2024.07.003

程成鹏, 贺稚非, 李洪军. 酶-碱联合嫩化过程中预制火锅肥肠品质特性的变化 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(7): 20-28.

酶-碱联合嫩化过程中预制火锅 肥肠品质特性的变化

程成鹏¹, 贺稚非^{1,2}, 李洪军^{1,2}

1. 西南大学 食品科学学院, 重庆 400715; 2. 川渝共建特色食品重庆市重点实验室, 重庆 400715

摘要: 利用酶-碱联合嫩化工艺处理猪大肠平滑肌样品, 通过测定水分、脂肪、氨基酸、蛋白质和灰分等指标分析评价其营养成分变化, 测定 pH 值、色差和水分分布等指标分析评价其食用品质变化, 以期酶-碱联合嫩化工艺在实际生产中的合理应用提供一定的理论依据。结果表明: 猪大肠平滑肌的氨基酸评分较高, 甜味氨基酸量最高, 占总氨基酸量的 31.00%。酶-碱联合嫩化工艺可以显著改善色泽、提高水分含量、改善猪大肠平滑肌嫩度和质构特性, 引起猪大肠平滑肌营养成分发生变化, 且不同嫩化工艺均会使猪大肠平滑肌中结合水和不易流动水增加, 自由水减少, 使得水分子与底物结合更紧密。

关键词: 猪大肠平滑肌; 嫩化; 营养成分; 食用品质

中图分类号: S879.5; TS251.51 **文献标志码:** A

文章编号: 1673-9868(2024)07-0020-09

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Changes in the Quality Characteristics of Porcine Large Intestine Smooth Muscle during Combined Enzyme-alkaline Tenderization

CHENG Chengpeng¹, HE Zhifei^{1,2}, LI Hongjun^{1,2}

1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Key Laboratory of Special Food Co-built by Sichuan and Chongqing, Chongqing 400715, China

Abstract: The combined enzyme-alkali tenderization process was used to treat porcine large intestine smooth muscle samples, and the changes in nutrients composition were analyzed by determining moisture,

收稿日期: 2023-06-15

基金项目: 重庆市技术创新与应用发展专项(CSTB2022TIAD-KPX0080); 川渝地区区兔产业协同创新与关键技术集成示范项目(2022YFQ0033); 重庆市特色食品工程技术研究中心能力提升项目(cstc2014pt-gc8001).

作者简介: 程成鹏, 博士研究生, 主要从事肉类科学与酶工程研究。

通信作者: 李洪军, 教授, 博士研究生导师。

fat, amino acids, protein and ash, and the changes of edible quality were analyzed and evaluated by measuring pH, colour difference and moisture distribution. The results are intended to provide a theoretical basis for the rational application of the combined enzyme-alkali tenderization process in practical production. The results showed that the amino acid score of porcine large intestine smooth muscle was high, with the highest sweet amino acid content, accounting for about 31.00% of the total amino acid content. The combined enzyme-alkali tenderisation process can significantly improve the colour, water content, tenderness and textural properties of porcine large intestine smooth muscle, and cause changes in the nutritional composition of porcine large intestine smooth muscle. The different tenderisation processes all resulted in an increase in bound and immobile water and a decrease in free water in porcine large intestine smooth muscle, resulting in tighter binding of water molecules to the substrate.

Key words: porcine large intestine smooth muscle; tenderization; nutrient composition; eating quality

猪大肠在我国食用历史悠久,因其独特的风味和口感深受消费者的喜爱,是中国饮食文化中不可缺少的特色食品原料,因此研究其加工工艺以及在加工过程中的品质变化十分重要^[1]。我国作为猪肉生产大国,以猪大肠为代表的含平滑肌内脏副产品的综合利用还存在诸多问题,如生产的产品质量参差不齐、对猪大肠加工工艺参数的优化以及加工前后的理化指标研究较少、缺乏数据支撑等,因此,有必要针对性地深入研究猪大肠等含平滑肌内脏副产物的嫩化工艺对于品质的影响。

肉品的营养、色泽和质构等品质特性与肉的可消费性息息相关。目前关于猪大肠平滑肌的嫩化工艺的研究以及嫩化工艺对猪大肠平滑肌品质的影响研究鲜有报道。本课题组前期筛选出了酶-碱联合嫩化的最佳工艺参数,证明该方法能有效提高猪大肠平滑肌的嫩度和保水性,而研究猪大肠平滑肌酶-碱联合嫩化过程中的品质变化规律对于其合理应用更具现实意义。本研究利用酶-碱联合嫩化工艺处理猪大肠平滑肌样品,通过测定水分、脂肪、氨基酸、蛋白质和灰分等指标分析评价其营养成分变化,测定 pH 值、色差和水分分布等指标分析评价其食用品质变化,以期酶-碱联合嫩化工艺在实际生产中的合理应用提供一定的理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验原料

三元猪的猪大肠由四川高金实业集团股份有限公司提供,置于-18℃的环境下贮藏。试验时将猪大肠置于4℃恒温恒湿试验箱中解冻12h,去除表面可见脂肪,清洗干净即可获得猪大肠平滑肌,将其切分为质量约3.5g的肉块。

1.1.2 试验药品与试剂

试验主要药品与试剂见表1。

表1 试验主要药品与试剂

药品与试剂	级别	生产厂家	药品与试剂	级别	生产厂家
氢氧化钠	食品级	河北拓海生物科技有限公司	硫酸铜	分析纯	重庆金喜鹊科技发展有限责任公司
木瓜蛋白酶	食品级	河北万邦实业有限公司	硫酸钾	分析纯	重庆跃翔化工有限公司
乙酸镁	分析纯	重庆市钛新化工有限公司	硫酸	分析纯	重庆跃翔化工有限公司
浓盐酸	分析纯	重庆市钛新化工有限公司			

1.1.3 试验仪器与设备

试验所用主要仪器与设备见表 2.

表 2 试验所用主要仪器与设备

仪器与设备名称	型号	生产公司
全自动凯氏定氮仪	K9860	山东海能科学仪器有限公司
箱式电阻炉	SX2-8-10N	上海一恒科学仪器有限公司
全自动氨基酸分析仪	L-8900	日本日立公司
紫外-可见分光光度计	UV-16001 型	日本岛津仪器有限公司
测色仪	Ultra Scan PRO 型	美国 Hunter Lab 公司
酶标仪	biotek/H1MG	美国 BioTek 公司
纯水机	Elix10	美国密理博公司

1.2 试验方法

1.2.1 样品嫩化方法

将清洗干净的猪大肠切分均匀,每块质量约 3.5 g,每 10 g 猪大肠为 1 组;之后按照 1:10(g/mL)的料液比先放入盛有 2%的木瓜蛋白酶(50 000 u/g)的烧杯中,36 °C 恒温水浴 55 min,随后在质量浓度为 1.4 g/L 的食品级 NaOH 中 41 °C 恒温水浴 26 min^[1].

1.2.2 水分含量的测定

按《食品安全国家标准 食品中水分的测定:GB 5009.3—2016》^[2]方法测定.

1.2.3 灰分含量的测定

按《食品安全国家标准 食品中灰分的测定:GB5009.4—2016》^[3]方法测定.

1.2.4 蛋白质含量的测定

按《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB5009.5—2016》^[4]方法测定.

1.2.5 脂肪含量的测定

按《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定:GB5009.6—2016》^[5]方法测定.

1.2.6 胆固醇含量的测定

称取 4.0 g 组织样本,加入 40 mL 无水乙醇进行冰浴匀浆,再在 10 000 r/min,4 °C 条件下离心 15 min,取上清液用总胆固醇含量试剂盒和酶标仪测定猪大肠中总胆固醇含量.

1.2.7 氨基酸含量的测定

按《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定:GB5009.124—2016》^[6]方法测定.

1.2.8 氨基酸评分(Amino Acid Score,用 S_{AA} 表示)

氨基酸评分是指样品中蛋白质的必需氨基酸质量分数与理想模式中相应必需氨基酸质量分数的比例,其中理想氨基酸模式参考 FAO(Food and Agriculture Organization)模式.

$$S_{AA} = C_{\text{样品}} / C_{\text{模式}}$$

式中: $C_{\text{样品}}$ 为样品中蛋白质的必需氨基酸质量分数(mg/g); $C_{\text{模式}}$ 为 FAO/WHO 评分标准模式中相应必需氨基酸质量分数(mg/g).

1.2.9 色泽的测定

采用测色仪测定色泽,测色仪需先用校正板校正,再将猪大肠样品紧扣在镜口,测定样品的亮度值(L^*)、红度值(a^*)、黄度值(b^*),每个样品选择 3 个位置测定,每个位置重复测定 3 次,取平均值.

1.2.10 pH 值的测定

准确称取 2 g 样品剪碎,再加入 20 mL 7.5%氯化钾溶液,在 10 000 r/min 的条件下均质处理,之后将

pH 计电极插入, 稳定后读数, 每个肉样重复测定 3 次, 取平均值^[7]。

1.2.11 水分分布分析

猪大肠平滑肌水分状态的测定参考 Zheng 等^[8]的处理方法并稍作修改, 用 LF-NMR 分析仪测定不同嫩化工艺处理的猪大肠平滑肌样品的水分状态。磁体强度、磁体温度和质子共振频率分别为 0.5 T, 32 °C 和 22.4 MHz, 其余 NMR 参数包括: SF 为 21 MHz, RG₁ 为 10.0 db, P₂ 为 12.48 uS, SW 为 100 KHz, P₁ 为 6.00 μs, RFD 为 0.020 ms, DRG₁ 为 4, PRG-2, TW 为 3 000.000 ms, NECH 为 2 000, NS 为 8, TE 为 1.500 ms, TD 为 300 048, 测量猪大肠平滑肌水分的横向弛豫时间 T₂ 与峰面积。

1.3 数据处理

采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析, 采用 Origin 2018 绘图, 采用 Excel 2016 绘制表格。

2 结果与分析

2.1 酶-碱联合嫩化工艺对猪大肠平滑肌营养成分的影响

表 3 显示, 新鲜猪大肠平滑肌中水分量为 72.48%。本研究中, 酶-碱联合处理组的猪大肠平滑肌中的水分量显著高于酶处理组或碱处理组 ($p < 0.05$), 其中酶处理组的猪大肠平滑肌平均水分量为 71.74%, 碱处理组的猪大肠平滑肌平均水分量为 80.19%; 新鲜猪大肠平滑肌中脂肪量为 14.26%, 酶-碱联合处理组中脂肪量为 9.60%, 这与 Metzger 等^[9]的研究结果类似。Hoffman 等^[10]研究表明肉中的脂肪量和水分量一般存在着一定程度的负相关, 蛋白质作为平滑肌和骨骼肌的主要组成成分, 其含量和存在方式与肉的品质密切相关, 在宰后老化过程中影响肉的嫩度和持水性^[11], 从而影响消费者对肉制品的接受度^[12]。从表 3 中可以看出, 酶-碱联合处理组的猪大肠平滑肌中蛋白质量显著低于其余组 ($p < 0.05$), 这可能是不同嫩化工艺处理组中水分量的差异造成的, 水分在总营养成分中所占比例的变化会间接影响其营养成分的比例^[9]。不同嫩化处理工艺也会对猪大肠平滑肌中的灰分量产生影响, 酶-碱联合处理组猪大肠平滑肌中的灰分量为 0.50%, 与碱处理组比较, 差异无统计学意义, 与酶处理组和空白组比较显著降低 ($p < 0.05$)。酶处理组灰分变化与空白组比较差异无统计学意义。胆固醇是食物中最常见的甾醇, 这种类固醇由于 B 环不饱和, 容易氧化。食物中的胆固醇主要以游离或酯化的形式存在, 在热处理和储存过程中, 胆固醇和其他甾醇会发生降解、氧化和聚合等变化^[13]。胆固醇的氧化产物已被证明对人体有不良影响, 例如具有细胞毒性、凋亡和促炎作用。一些研究还表明, 胆固醇参与了动脉粥样硬化和神经退行性病变过程^[14]。从表 3 中可以看出, 与空白组对比, 酶处理组、碱处理组以及酶-碱联合处理组均能显著降低总胆固醇量 ($p < 0.05$), 但碱处理组和酶-碱联合处理组降总胆固醇能力差异无统计学意义, 其中酶-碱联合处理组降总胆固醇能力最强, 可使猪大肠平滑肌中胆固醇量从 0.28% 降低到 0.14%。

表 3 酶-碱联合嫩化过程中猪大肠平滑肌的营养成分

组别/%	空白	酶	碱	酶-碱联合
水分	72.48±0.21c	71.74±0.12d	80.19±0.16b	81.43±0.26a
蛋白质	8.94±0.07a	7.80±0.05b	5.40±0.02c	4.85±0.05d
脂肪	14.26±0.1b	14.59±0.07a	10.21±0.08c	9.60±0.10d
灰分	0.65±0.01a	0.66±0.04a	0.51±0.01b	0.50±0.03b
总胆固醇	0.28±0.007a	0.20±0.008b	0.15±0.008c	0.14±0.01c

注: 小写字母不同表示差异有统计学意义 ($p < 0.05$)。

2.2 酶-碱联合嫩化过程中猪大肠平滑肌氨基酸组成的变化

作为构成蛋白质分子的基本单位, 氨基酸是人体内最基本的物质之一。根据氨基酸的含量和种类, 可判断该蛋白质是否优质, 或者营养健康以及口感方面的品质^[15-17]。表 4 显示, 酶处理、碱处理、

酶-碱联合处理对猪大肠平滑肌中大部分氨基酸的含量都有显著影响($p < 0.05$). 与空白组相比, 酶处理组的猪大肠平滑肌中含有较高的 Asp(天门冬氨酸)、Thr(苏氨酸)、Ser(丝氨酸)、Glu(谷氨酸)、Gly(甘氨酸)、Ala(丙氨酸)、Val(缬氨酸)、Ile(异亮氨酸)、Leu(亮氨酸)、Tyr(酪氨酸)、Phe(苯丙氨酸)、Lys(赖氨酸)、His(组氨酸)和 Arg(精氨酸), 较低的 Cys(半胱氨酸)和 Met(甲硫氨酸). 碱处理组和酶-碱联合处理组的猪大肠平滑肌中的所有氨基酸含量都降低. 猪大肠平滑肌中氨基酸含量较为丰富, 不同样品中均检出了 16 种氨基酸, 其中 Asp, Glu, Gly, Leu 为主要的氨基酸. 经过碱处理和酶-碱联合处理的猪大肠平滑肌中的人体必需氨基酸(*)含量、药用氨基酸(#)含量均有不同程度的降低, 而酶处理的氨基酸含量大都上升. 导致这种变化的原因一方面是因为碱处理和酶-碱联合处理会较大程度地增加猪大肠平滑肌的水分含量, 从而间接地导致其他组分含量降低; 另一方面说明相较于酶处理, 碱处理可以分解猪大肠平滑肌中的蛋白质, 氨基酸溶于碱中, 导致氨基酸含量降低, 这与李敬等^[17]的研究结果一致.

表 4 酶-碱联合嫩化过程中猪大肠平滑肌的氨基酸组成

/g

氨基酸种类	空白	酶	碱	酶-碱联合
Asp [#]	0.74±0.02b	0.83±0.04a	0.43±0.05c	0.33±0.02d
Thr [*]	0.38±0.01b	0.42±0.02a	0.22±0.01c	0.17±0.02d
Ser	0.40±0.02b	0.45±0.03a	0.23±0.02c	0.18±0.03d
Glu ^{*#}	1.11±0.13b	1.24±0.06a	0.64±0.05c	0.50±0.08d
Gly [#]	0.78±0.03b	0.87±0.09a	0.45±0.04c	0.35±0.03d
Ala	0.55±0.03b	0.62±0.05a	0.31±0.03c	0.24±0.04d
Cys	0.05±0.01a	0.04±0.01ab	0.03±0.01bc	0.02±0.01c
Val [*]	0.41±0.03b	0.46±0.04a	0.24±0.03c	0.19±0.04d
Met ^{*#}	0.18±0.05a	0.17±0.01a	0.10±0.02b	0.07±0.02c
Ile [*]	0.33±0.05b	0.37±0.02a	0.19±0.01c	0.14±0.04d
Leu ^{*#}	0.71±0.11b	0.78±0.08a	0.40±0.06c	0.31±0.08d
Tyr [#]	0.32±0.03b	0.38±0.02a	0.17±0.02c	0.14±0.04d
Phe ^{*#}	0.35±0.05b	0.40±0.01a	0.19±0.01c	0.15±0.04d
Lys ^{*#}	0.54±0.1b	0.61±0.01a	0.31±0.04c	0.24±0.05d
His [#]	0.23±0.04a	0.24±0.02a	0.12±0.02b	0.10±0.01c
Arg [#]	0.63±0.11b	0.70±0.03a	0.37±0.03c	0.29±0.01d

注: # 为药用氨基酸, * 为人体必需氨基酸; 小写字母不同表示差异有统计学意义($p < 0.05$); 氨基酸含量以每 100 g 肉计.

蛋白质中产生的各种肽类和游离氨基酸是肉类产生特色风味的前体物质, 同时这些物质还具有呈味作用. 风味氨基酸可分为鲜味氨基酸(Glu, Asp, Lys)、苦味氨基酸(Val, Ile, Met, Leu, Arg)、芳香族氨基酸(Tyr, Cys, Phe)和甜味氨基酸(Thr, Ala, Ser, His, Pro) 4 类^[18]. 表 5 为酶-碱联合嫩化过程中猪大肠平滑肌不同风味氨基酸的变化. 经过酶处理、碱处理和酶-碱联合处理后, 猪大肠平滑肌中除了甜味氨基酸以外的其余 3 种风味氨基酸占总氨基酸的比例大都呈降低趋势. 空白组猪大肠平滑肌中甜味氨基酸量最高, 占总氨基酸量的 31.00%, 其次为苦味氨基酸、鲜味氨基酸和芳香族氨基酸, 分别占总氨基酸量的 29.31%, 20.23% 和 9.34%. 甜味氨基酸和苦味氨基酸量约占总氨基酸量的 60%, 这与猪大肠平滑肌的风味直接相关^[19].

表5 酶-碱联合嫩化过程中猪大肠平滑肌不同风味氨基酸的变化

/%

氨基酸种类	空白组	酶	碱	酶-碱联合
甜味氨基酸	31.00±0.11a	31.24±0.09a	31.36±0.02a	31.29±0.07a
鲜味氨基酸	20.23±0.05a	20.16±0.04a	20.00±0.04a	20.18±0.04a
苦味氨基酸	29.31±0.08a	28.90±0.06a	29.55±0.05a	29.24±0.03a
芳香族氨基酸	9.34±0.05a	9.56±0.04a	8.86±0.06a	9.06±0.11a

注:小写字母不同表示差异有统计学意义($p < 0.05$).

作为生物体的必需物质,必需氨基酸经常被用来评价食物蛋白质的营养价值^[20].本研究中,将样品中蛋白质的必需氨基酸含量与理想模式中相应必需氨基酸含量进行对比,从而得出氨基酸的评分.表6显示,猪大肠平滑肌中的必需氨基酸评分较高,在空白组中,亮氨酸(Leu)评分最高,达到113.47.经过酶-碱联合处理之后,氨基酸评分有所下降.这与甜甜等^[15]的研究结果类似.基于此,可根据蛋白质的互补理论,将经碱-酶联合处理后的猪大肠食品与其他肉类的蛋白质进行相互补充,从而提高各种食品的营养价值.

表6 猪大肠平滑肌中必需氨基酸评分

氨基酸种类	FAO/WHO(1985)/ (mg·g ⁻¹)	空白	酶	碱	酶-碱联合
Thr	40	106.28	134.72	101.87	87.63
Val	50	91.73	118.04	88.91	78.35
Met	35	57.53	62.32	52.92	41.24
Ile	40	92.29	118.68	87.98	72.16
Leu	70	113.47	142.97	105.84	91.31
Phe+Tyr	60	124.92	166.79	111.13	99.66
Lys	55	109.84	142.30	104.40	89.97

2.3 酶-碱联合嫩化过程中猪大肠平滑肌色差的变化

由表7可以看出,酶-碱联合嫩化前后的猪大肠平滑肌亮度值(L^*)、红度值(a^*)、黄度值(b^*)差异均有统计学意义($p < 0.05$),说明酶、碱以及酶-碱联合嫩化工艺对猪大肠平滑肌的色泽都有较大的影响.李洪军等^[21]研究发现,猪大肠平滑肌在加工和贮藏过程由于不当操作经常会引起猪大肠发生红变和黄变.常见的引起猪大肠平滑肌发生红变或黄变的原因有:贮藏时脂肪氧化发黄、肌肉组织内毛细血管中的肌红蛋白和血红蛋白使肠衣变红、微生物粪便胆汁污染等.酶-碱联合嫩化过程中,猪大肠平滑肌的 L^* 值呈显著增高, a^* 、 b^* 值均呈显著下降趋势($p < 0.05$),说明猪大肠平滑肌在处理过程中亮度增加,色泽逐渐变淡,红度和黄度减弱.由此可见,酶-碱联合嫩化可有效改善猪大肠平滑肌的色泽.

表7 酶-碱联合嫩化过程中猪大肠平滑肌色差的变化

嫩化工艺	处理前			处理后		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
空白	61.48±0.43a	4.73±0.08a	22.34±0.1a	61.91±0.21a	4.76±0.06a	22.36±0.24a
酶	60.09±0.1a	4.67±0.09a	23.30±0.13a	67.39±0.15b	1.74±0.12b	19.88±0.21b
碱	58.57±0.18a	3.21±0.05a	20.94±0.18a	62.96±0.25b	2.23±0.02b	18.11±0.26b
酶-碱联合	61.16±0.15a	3.24±0.06a	22.96±0.18a	63.83±0.35b	1.82±0.06b	19.88±0.11b

注:小写字母不同表示差异有统计学意义($p < 0.05$).

2.4 酶-碱联合嫩化过程中猪大肠平滑肌 pH 值的变化

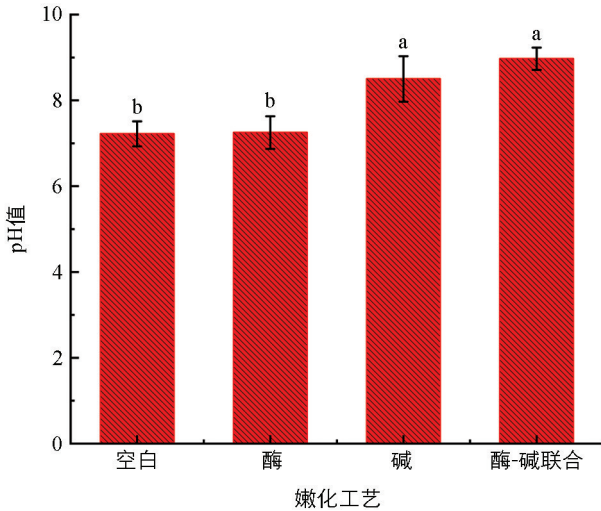
pH 值可以反映猪大肠平滑肌的酸碱度,是猪大肠平滑肌在加工及贮藏过程中变化较为明显的指标

之一,它与肉的色泽、嫩度以及风味都有密切的关系.由图 1 可知,单独用酶嫩化,对猪大肠 pH 值变化影响不明显,碱处理组和酶-碱联合处理组中,猪大肠平滑肌 pH 值均有升高($p < 0.05$).嫩化之后,猪大肠平滑肌 pH 值的升高主要是由食品级 NaOH 引起的.pH 值的变化会导致肌肉和结缔组织肿胀,这种肿胀与胶原蛋白的溶解有关^[22],因此可以通过提高肉的 pH 值,协助胶原蛋白溶解或通过提高肉的保水性来改善其嫩度^[23].

2.5 酶-碱联合嫩化过程中猪大肠平滑肌水分分布的变化

由图 2 可知,经不同嫩化工艺处理后的猪大肠平滑肌在 1~1 000 ms 的横向弛豫时间上共有 3 个峰,其中 T_{21} (0~10 ms), T_{22} (10~100 ms)和 T_{23} (100~1 000 ms)分别代表结合水、不易流动水和自由水(图 2).研究表明,横向弛豫时间(T_2)可以反映食品中水分的自由度, T_2 越短则底物与水结合越紧密^[24-25].此外,Pearce 等^[26]研究了肌肉中肌原纤维水分的分布和迁移特征,结果表明横向弛豫时间不仅可以反应肌肉的持水性,还与肉的嫩度密切相关.由表 8 可知,与空白组相比,酶处理组、碱处理组和酶-碱联合处理组的 T_{21} 和 T_{22} 值均显著增加($p < 0.05$),而 T_{23} 值均显著降低($p < 0.05$).酶处理组、碱处理组和酶-碱联合处理组的 T_{21} 由空白组的 1.12% 分别增加到 5.97%, 4.55% 和 2.27%; T_{22} 由空白组的 84.25% 分别增加到 91.76%, 93.94% 和 93.56%; T_{23} 由空白组的 14.63% 分别降低到 2.27%, 1.51% 和 4.18%.

不同嫩化工艺均会使猪大肠平滑肌中结合水和不易流动水增加,自由水减少.这可能是由于猪大肠平滑肌中自由水转移以及蛋白质与水之间的相互作用发生改变造成的.不同嫩化工艺均可不同程度地破坏蛋白质的结构,亲水基暴露,使得自由水转化为不易流动水,以此增加肌肉的吸水性^[27].这种现象反过来也会影响猪大肠平滑肌中的水分状态,并最终影响肉的嫩度以及 L^* , a^* 和 b^* 值^[28].



小写字母不同表示差异有统计学意义($p < 0.05$).

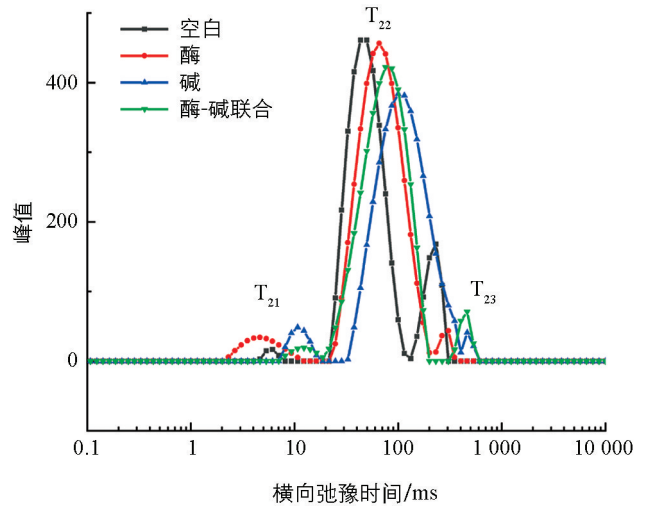


图 1 酶-碱联合嫩化过程中猪大肠平滑肌 pH 值的变化

图 2 不同嫩化工艺对猪大肠平滑肌横向弛豫时间的影响

表 8 不同嫩化工艺对猪大肠平滑肌中不同水分横向弛豫时间峰面积的影响

/%

嫩化工艺	T_{21}	T_{22}	T_{23}
空白	1.12±0.33d	84.25±2.05d	14.63±1.02a
酶	5.97±0.78a	91.76±2.36c	2.27±0.41c
碱	4.55±0.52b	93.94±2.25a	1.51±0.31d
酶-碱联合	2.27±0.41c	93.56±3.48b	4.18±0.42b

注:小写字母不同表示差异有统计学意义($p < 0.05$); T_{21} , T_{22} , T_{23} 分别代表结合水、不易流动水和自由水.

3 结论

通过测定水分、脂肪、蛋白质、氨基酸组成、灰分的变化分析猪大肠平滑肌营养成分变化,通过 pH 值、色差分析法和水分分布的测定分析猪大肠平滑肌食用品质的变化.猪大肠平滑肌中含有丰富的蛋白质,氨基酸评分较高,是人体必需氨基酸的优质来源.猪大肠平滑肌中的甜味氨基酸含量最高,占总氨基酸量的 31.00%,其次为苦味氨基酸、鲜味氨基酸,分别占总氨基酸量的 29.31%和 20.23%.

经酶-碱联合嫩化处理的猪大肠平滑肌,其亮度值增加,红度值和黄度值下降.水分为 81.43%,蛋白质为 4.85%,脂肪为 9.60%,灰分为 0.50%,总胆固醇为 0.14%,表明酶-碱联合嫩化工艺可以显著改善猪大肠平滑肌的食用品质($p < 0.05$),具体表现为:改善了猪大肠平滑肌的色泽、提高了水分含量、改善了猪大肠平滑肌嫩度和质构特性,引起猪大肠平滑肌营养成分发生变化.酶处理组、碱处理组和酶-碱联合处理组的 T_{21} , T_{22} 值增加, T_{23} 值降低,说明不同嫩化工艺均会使猪大肠平滑肌中结合水和不易流动水增加,自由水减少,从而使水分子与底物结合更加紧密.

参考文献:

- [1] 程成鹏,贺雅非,唐春,等.酶-碱联合工艺改善猪大肠嫩度和保水性的工艺优化[J].食品与发酵工业,2022,48(16):87-94.
- [2] 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,2017.
- [3] 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 食品中灰分的测定:GB 5009.4—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [4] 中华人民共和国国家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 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [5] 中华人民共和国国家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 食品中脂肪的测定:GB 5009.6—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [6] 中华人民共和国国家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 食品中氨基酸的测定:GB 5009.124—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [7] 王兆明.兔肉滚揉腌制工艺及品质特性变化研究[D].重庆:西南大学,2016.
- [8] ZHENG H B, HAN M Y, YANG H J, et al. The Effect of Pressure-assisted Heating on the Water Holding Capacity of Chicken Batters [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2018, 45: 280-286.
- [9] METZGER S, ODERMATT M, SZABÓ A, et al. Effect of Age and Body Weight on Carcass Traits and Meat Composition of Rabbits [J]. Archives Animal Breeding, 2011, 54(4): 406-418.
- [10] HOFFMAN L C, MOSTERT A C, LAUBSCHER L L. Meat Quality of Kudu (*Tragelaphus strepsiceros*) and Impala (*Aepyceros melampus*): The Effect of Gender and Age on the Fatty Acid Profile, Cholesterol Content and Sensory Characteristics of Kudu and Impala Meat [J]. Meat Science, 2009, 83(4): 737-743.
- [11] ZHANG W G, XIAO S, AHN D U. Protein Oxidation: Basic Principles and Implications for Meat Quality [J]. Critical-Reviews in Food Science and Nutrition, 2013, 53(11): 1191-1201.
- [12] SPENCER M, CIENFUEGOS C, GUINARD J X. The Flexitarian Flip™ in University Dining Venues: Student and Adult Consumer Acceptance of Mixed Dishes in which Animal Protein Has been Partially Replaced with Plant Protein [J]. Food Quality and Preference, 2018, 68: 50-63.
- [13] DEREWIKA D, MOLIŃSKA E. Cholesterol Transformations during Heat Treatment [J]. Food Chemistry, 2015, 171: 233-240.
- [14] OTAEGUI-ARRAZOLA A, MENÉNDEZ-CARREÑO M, ANSORENA D, et al. Oxysterols: a World to Explore [J].

Food and Chemical Toxicology, 2010, 48(12): 3289-3303.

- [15] 甜甜, 张松山, 雷元华, 等. 碱-酶联合脱毛法对牛皮营养成分与品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2020, 41(18): 170-175.
- [16] 尤娟, 罗永康, 张岩春, 等. 驴肉主要营养成分及与其它畜禽肉的分析比较 [J]. 肉类研究, 2008, 22(7): 20-22.
- [17] 李敬, 崔繁荣, 叶治兵, 等. 酶法脱毛和烫毛燎毛对牛皮营养特性和卫生质量特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2016, 37(21): 76-80, 85.
- [18] LONGVAH T, MANGTHYA K, RAMULU P. Nutrient Composition and Protein Quality Evaluation of Eri Silkworm (*Samia ricinii*) Prepupae and Pupae [J]. Food Chemistry, 2011, 128(2): 400-403.
- [19] 刘文才, 敖日格乐, 王纯洁, 等. 酒糟育肥西门塔尔牛肉中氨基酸及矿物质元素含量的分析 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(1): 35-38.
- [20] YU T Y, MORTON J D, CLERENS S, et al. Proteomic Investigation of Protein Profile Changes and Amino Acid Residue-level Modification in Cooked Lamb *Longissimus thoracis et lumborum*: The Effect of Roasting [J]. Meat Science, 2016, 119: 80-88.
- [21] 李洪军, 贺稚非, 赵钢, 等. 肠衣变色原因及漂白方法研究 [J]. 肉类研究, 1992, 6(4): 27-30.
- [22] KIM H W, CHOI Y S, CHOI J H, et al. Tenderization Effect of Soy Sauce on Beef *M. Biceps femoris* [J]. Food Chemistry, 2013, 139(1-4): 597-603.
- [23] 张坤, 王道营, 张森, 等. 高强度超声对鹅胸肉嫩度及品质的影响 [J]. 食品科学, 2018, 39(15): 122-127.
- [24] CHENG S, WANG X H, LI R, et al. Influence of Multiple Freeze-thaw Cycles on Quality Characteristics of Beef *Semimembranosus* Muscle: With Emphasis on Water Status and Distribution by LF-NMR and MRI [J]. Meat Science, 2019, 147: 44-52.
- [25] UGUZ S S, OZVURAL E B, BEIRA M J, et al. Use of NMR Relaxometry to Identify Frankfurters of Different Meat Sources [J]. Molecular Physics, 2019, 117(7-8): 1015-1019.
- [26] PEARCE K L, ROSENVOLD K, ANDERSEN H J, et al. Water Distribution and Mobility in Meat during the Conversion of Muscle to Meat and Ageing and the Impacts on Fresh Meat Quality Attributes—A Review [J]. Meat Science, 2011, 89(2): 111-124.
- [27] LI Y, LI X, WANG J Z, et al. Effects of Oxidation on Water Distribution and Physicochemical Properties of Porcine Myofibrillar Protein Gel [J]. Food Biophysics, 2014, 9(2): 169-178.
- [28] 张艳妮, 刘婷, 要铎, 等. 运动对苏尼特羊肠道菌群、肠道上皮形态及肉品质的影响 [J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2023, 38(4): 566-572.

责任编辑 周仁惠