

淀粉种类及预处理温度对藏羊肉糜凝胶品质特性的影响

谢琦蓝, 张玉玺, 邹智芸, 马雪, 吴雅轩, 崔馨心, 王一郎, 何翊阁, 王琳琳

Effects of Different Types of Starch and Pretreatment Temperature on the Gel Properties of Grounded Tibetan Mutton

XIE Qilan, ZHANG Yuxi, ZOU Zhiyun, MA Xue, WU Yaxuan, CUI Xinxin, WANG Yilang, HE Honghong, and WANG Linlin

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023120107>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

冻融次数对藏羊肉品质特性的影响

Effect of Freezing–Thawing Times on Quality Characteristics of Tibetan Mutton

食品工业科技. 2022, 43(11): 342–349 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021080348>

不同种类甘薯淀粉混合对其物化特性及粉条品质的影响

Effects of the Mixture Starches from Different Sweet Potato Varieties on the Physicochemical Characteristics and Quality Properties of Starch Noodles

食品工业科技. 2020, 41(22): 77–85 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020020285>

薯类淀粉种类对黄冈鱼面品质的影响

Effect of Root Crop Starch Types on the Quality of Huanggang Fish Meat Noodles

食品工业科技. 2022, 43(22): 90–97 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022030020>

预处理方式及干燥温度对养心菜热风干燥特性与品质的影响

Effects of Physical Pretreatment Methods and Hot Air Temperatures on the Hot Air Drying Characteristics and Quality of Yangxincai (*Sedum aizoon* L.)

食品工业科技. 2021, 42(13): 210–215 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020100184>

煮羊肉不同组织低温贮藏品质特性的变化

Changes of Quality Characteristics of Boiled Mutton During Low Temperature Storage

食品工业科技. 2022, 43(6): 335–341 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021070378>

冻融对冷藏藏羊肉保水性及蛋白氧化和溶解特性的影响

Effects of Repeated Freezing–thawing on Water Holding Capacity, Protein Oxidation and Dissolution Characteristics of Tibetan Mutton during Chilled Storage

食品工业科技. 2021, 42(19): 21–28 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020120148>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

谢琦蓝, 张玉玺, 邹智芸, 等. 淀粉种类及预处理温度对藏羊肉糜凝胶品质特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(22): 46–54.
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023120107

XIE Qilan, ZHANG Yuxi, ZOU Zhiyun, et al. Effects of Different Types of Starch and Pretreatment Temperature on the Gel Properties of Grounded Tibetan Mutton[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(22): 46–54. (in Chinese with English abstract).
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023120107

· 研究与探讨 ·

淀粉种类及预处理温度对藏羊肉糜凝胶品质特性的影响

谢琦蓝¹, 张玉玺¹, 邹智芸¹, 马 雪¹, 吴雅轩¹, 崔馨心¹, 王一郎¹, 何翊闳², 王琳琳^{1,*}

(1.西南民族大学食品科学与技术学院, 四川成都 610041;

2.西南民族大学畜牧兽医学院, 四川成都 610041)

摘要: 为研究不同淀粉种类及其预处理温度对藏羊肉糜凝胶品质特性的影响。本试验以藏羊肉糜凝胶为研究对象, 分别将绿豆 (LD)、玉米 (YD)、马铃薯预糊化淀粉 (MD) 加入藏羊肉糜中制作成淀粉藏羊肉糜凝胶, 以淀粉种类和预处理温度为变量, 测定不同处理条件下藏羊肉糜凝胶的出品率、品质特性和感官特性等变化。结果表明: 三种淀粉处理的藏羊肉糜凝胶, 在 80 ℃ 时出品率均为最小值 ($P<0.05$) ; 在 70 ℃ 时 pH 最低 ($P<0.05$), 色度变化也最明显, 说明 70 ℃ 是影响藏羊肉糜凝胶风味及品质、改善肉糜凝胶色泽的最佳预处理温度条件。同时, YD 组透光率最低, 老化程度和蒸煮损失最大; MD 组肉糜凝胶的保水性和乳化稳定性最好; LD 组的质构特性最好, 硬度、黏性、咀嚼性数值最大 ($P<0.05$), 且肉糜凝胶在 60 ℃ 处理时产品的储能模量最大, 总体可接受度最好。因此, 不同种类淀粉及其预处理温度均对改善藏羊肉糜凝胶食用品质的潜在应用价值上有着不同方面的影响作用。

关键词: 藏羊肉糜, 淀粉种类, 预处理温度, 品质特性

中图分类号: TS251.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)22-0046-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023120107

本文网刊:



Effects of Different Types of Starch and Pretreatment Temperature on the Gel Properties of Grounded Tibetan Mutton

XIE Qilan¹, ZHANG Yuxi¹, ZOU Zhiyun¹, MA Xue¹, WU Yaxuan¹, CUI Xinxin¹, WANG Yilang¹,
HE Honghong², WANG Linlin^{1,*}

(1. College of Food Science and Technology, Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China;

2. College of Animal and Veterinary Sciences, Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China)

Abstract: To investigate the effects of different starch types and their pretreatment temperature on the quality characteristics of Tibetan minced mutton gel. In this experiment, mung bean (LD), corn (YD) and potato pregelatinized starch (MD) were added to Tibetan minced lamb to make starch Tibetan minced mutton gel, and starch type and pretreatment temperature were used as variables to determine the yield, quality and organoleptic characteristics of Tibetan minced mutton gel under different treatment conditions. Results showed that the yield of Tibetan minced mutton gel treated with three kinds of starch was the lowest at 80 ℃ ($P<0.05$). The pH was the lowest at 70 ℃ ($P<0.05$), and the change of chromaticity was also the most obvious, which indicated that 70 ℃ was the optimal pretreatment temperature condition for influencing the flavor and quality of Tibetan minced mutton gel, and improving the color of minced meat gelatin. Meanwhile, the YD group had the lowest transmittance and the greatest aging and cooking loss. The MD group had the best

收稿日期: 2023-12-13

基金项目: 西南民族大学大学生创新创业训练计划项目 (202310656010); 四川省自然科学基金青年科学基金项目 (2022NSFSC1663); 国家重点研发计划项目 (2021YFD1600205)。

作者简介: 谢琦蓝 (2003-), 女, 本科, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: 815953852@qq.com。

* 通信作者: 王琳琳 (1988-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 畜产品加工与质量安全, E-mail: jiayouwl123@163.com。

water retention and emulsification stability of the minced meat gel. The LD group had the best textural properties, with the greatest values of hardness, viscosity, and chewiness ($P<0.05$), and the minced meat gel had the greatest storage modulus of the product when treated at 60 °C, which was the best overall acceptability. Therefore, different types of starch and their pretreatment temperatures have different aspects on the potential application value of improving the edible quality of Tibetan minced mutton gel.

Key words: grounded Tibetan mutton; starch type; pretreatment temperature; quality characteristics

藏羊肉肉质细嫩, 腊味小^[1], 富含人体所需的多种营养元素, 较猪肉而言, 具有高蛋白、低脂肪、少胆固醇的营养优势; 但仍存在嫩度较低, 口感较差, 生鲜肉品质不稳定等问题, 一定程度上阻碍了藏羊肉产业的发展^[2]。淀粉在自然界中分布广泛, 是地球上最丰富的贮藏性多糖^[3], 具有良好的增稠性、赋形性、稳定性和乳化性, 因此在肉制品加工中常作为品质改良剂用以增强肉制品的弹性、持水性和冻融稳定性等, 赋予肉制品爽滑的口感^[4-6]。为改善原淀粉的性质及拓宽其在食品工业中的应用, 可根据淀粉的特性对原淀粉进行处理。预糊化淀粉是一种以物理方式改性的淀粉, 具有使用方便, 凝沉性比原淀粉小的特点, 应用广泛^[7], 将其应用于食物中以提高产品的食用品质的研究逐渐受到关注。

目前, 关于预糊化淀粉在食品中应用的相关研究很多。其中, 马铃薯淀粉应用广泛, 具有良好的成膜性、透明性和吸水膨胀性^[8]; Wang 等^[9]研究发现加入了预糊化薯类淀粉的糯米粉团在蒸煮后其开裂率和水分损失率降低, 糯米团的食用品质得到有效改善。玉米淀粉价格实惠, 添加到食品中有着赋形与增稠的效果; Bortnoeska 等^[10]发现, 预糊化蜡质玉米淀粉可作为增稠剂代替非淀粉亲水胶体应用于低脂乳状液中, 利于开发低脂保健型食品乳化剂。绿豆淀粉营养价值高, 有着稳定和丰富食品风味的作用; 徐敬欣等^[11]研究了绿豆淀粉在不同预处理温度处理下对猪肉肉粉肠的品质特性影响, 研究表明随着预糊化淀粉温度的上升, 肉粉肠的乳化稳定性和淀粉糊化度显著提高, 蒸煮损失明显下降。虽然淀粉预糊化技术已比较成熟, 但将淀粉预糊化技术与藏羊肉制品加工相结合的研究还较少, 同时大多研究涉及的淀粉种类比较单一, 缺少不同种类淀粉的比较, 且预处理温度梯度较少。因此研究不同种类淀粉在不同预处理温度下对藏羊肉糜凝胶制品品质特性的影响具有重要意义。

本试验先以 LD(绿豆淀粉)、YD(玉米淀粉)、MD(马铃薯淀粉)等为原材料, 将 LD、YD、MD 分别制成淀粉糊, 通过光学显微镜观察其形貌特征, 检测淀粉糊透明度、流变特性; 然后, 将在不同温度条件下处理的预糊化淀粉和肉糜样品及其他材料一同制成藏羊肉糜凝胶, 测定分析其质构特性、乳化稳定性及感官品质等指标。由此明确不同种类淀粉及预处理温度对藏羊肉糜凝胶制品品质特性的影响, 为藏羊肉糜凝胶产品的生产研发提供一定的数据支持和

理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

藏羊瘦肉、藏羊肥膘、肠衣, 白胡椒粉、辣椒粉、白酒、花椒粉、五香粉等各种调味料 均购于本地超市; LD、YD、MD 新乡粮润全谷物食品有限公司; 硅油 陶氏化学(中国)有限公司。

UV-6100 紫外分光光度计 上海奔普仪器科技公司; CR-400 色差仪 日本 Konica Minolta 公司; BK-DM320 光学显微镜 重庆奥特工程技术有限公司; TA.XT.Plus 型质构仪 英国 Stable Micro System 公司; DISCOVERY HR-1 旋转流变仪 美国 TA 仪器。

1.2 实验方法

1.2.1 原料预处理 藏羊肉糜的制备: 取新鲜藏羊瘦肉和藏羊肥膘洗净并剔除筋膜, 切成 5 cm 左右小条, 再将藏羊瘦肉和肥膘约以 8:2 的比例加入到盘孔径为 3 mm 的绞肉机中搅成肉糜, 然后置于 4 °C 冰箱冷藏备用。

预糊化淀粉的制备: 将 300 g 淀粉溶于 400 g 冷水中, 搅拌成均匀的悬浊液, 之后各组分别缓慢加入 800 g 的 50、60、70、80、90 °C 热水, 边加水边搅拌, 制成不同温度处理的预糊化淀粉溶液。绿豆、玉米和马铃薯预糊化淀粉溶液分别记为 LD50、LD60、LD70、LD80、LD90、YD50、YD60、YD70、YD80、YD90 和 MD50、MD60、MD70、MD80、MD90。

1.2.2 藏羊肉糜的加工工艺 待预糊化淀粉溶液温度降至 50 °C 左右时, 将其加入到藏羊肉肉糜中, 共 15 组样品。将食盐、葱等香辛料按表 1 配方加至藏羊肉肉糜中, 混合均匀并腌制 30 min 后灌肠。灌好的肉肠 85 °C 蒸煮 30 min, 随后将肠体捞出冷却到室温。在铁锅中放入适量白砂糖, 加热铁锅直至其熔化成褐色且产生烟雾, 将冷却干燥后的肉肠置于锅中铁架上, 盖紧锅盖, 熏制 5 min, 至肠衣呈金黄色, 最

表 1 肉粉肠配方

Table 1 Formula of starch-meat sausages

配料	质量(g)	配料	质量(g)	配料	质量(g)
瘦肉	550	蒜	20	花椒粉	3
肥肉	150	酱油	15	白胡椒粉	5
水	1200	味精	5	五香粉	4
干淀粉	300	白砂糖	10	辣椒粉	3
食盐	20	大葱	40	白酒	5

终在 4 ℃ 下冷藏 12 h 形成凝胶备用。

1.2.3 指标测定方法

1.2.3.1 淀粉光学形貌观察 参考徐芬等^[12] 和张美霞等^[13] 的方法有所修改, 取少量三种不同淀粉分别加入蒸馏水混合均匀, 配制成淀粉乳溶液, 用玻璃棒取一滴淀粉乳溶液, 滴于载玻片中央, 在显微镜下分别观察放大 400 倍后的三种淀粉颗粒形态, 并拍照记录。

1.2.3.2 淀粉糊透明度 参考缪铭等^[14] 方法稍作修改。在烧杯中分别加入 0.5 g 淀粉, 再加 50 mL 蒸馏水, 沸水浴搅拌 1 h, 取出冷却至室温, 以蒸馏水为空白对照, 用分光光度计在波长 620 nm 处测定透光率。

1.2.3.3 淀粉糊流变特性 采用 6% 的淀粉乳, 淀粉溶液与空气接触处用硅油密封。测试参数为: 频率 0.1 Hz, 应变 2%, 上下板夹缝 0.5 mm, 角频率 5 rad/s 从 50 ℃ 以 1 ℃/min 升温到 90 ℃。测定淀粉乳其储能模量(G')与温度之间的关系曲线。

1.2.3.4 出品率 参照高浩源等^[15] 的方法测出品率, 出品率按下式计算:

$$\text{出品率}(\%) = \frac{G_1}{G_2} \times 100$$

式中: G_1 为煮制后肉肠产品质量, g; G_2 为灌制后生肉肠质量, g。

1.2.3.5 pH 参考付子寒等^[16] 的方法测定 pH, 取 5 g 肉粉肠, 加入 50 mL 蒸馏水, 用均质机搅拌均匀后过滤, 用 pH 计测定滤液的 pH。每组测定 3 个重复。

1.2.3.6 色度 将藏羊肉肠成品样品切成高 2 cm 的圆柱体, 擦干表面水分, 使用全自动色差计测定肉样表面的亮度值 L^* , 红度值 a^* , 黄度值 b^* , 每个样品选择 3 个不同的位置作为测量点, 并测定 3 次。

1.2.3.7 水分含量 水分含量测定参考 GB 5009.3-2016《食品国家食品安全标准食品中水分含量的测定》。

1.2.3.8 蒸煮损失 将肉肠样品称重, 质量为 G_3 , 分别放入蒸煮袋中, 在 90 ℃ 的恒温水浴锅中加热 30 min, 取出后在室温下冷却 50 min, 用滤纸把肠体表面水分擦干, 称重为 G_4 , 蒸煮损失计算公式如下:

$$\text{蒸煮损失}(\%) = \frac{G_3 - G_4}{G_3} \times 100$$

1.2.3.9 冻融损失 参照杜婷婷等^[17] 的方法。取 5 g

熟制藏羊肉肠成品, 分别称重记录为 m_3 , 置于-18 ℃ 冷冻 24 h, 之后在 4 ℃ 冷藏条件下解冻 12 h, 取出后用纸巾擦干表面水分, 称重记录为 m_4 。

$$\text{冻融损失}(\%) = \frac{m_3 - m_4}{m_3} \times 100$$

1.2.3.10 质构特性 参考李璐倩等^[18] 方法并稍作修改。测定样品的硬度、弹性、黏性和咀嚼性, 仪器的测定参数为: 探头直径: 0.5 cm; 压缩百分比: 50%; 测速: 5 mm/s; 最小承载力 50 N。

1.2.3.11 流变特性 参照 Lee 等^[19] 的方法并稍作修改, 将藏羊肉糜样品均匀涂布于测试平台并使用硅油将边缘密封, 以 40.0 mm 的夹具测试。测定参数设置为: 狹缝 0.5 mm, 频率 1 Hz, 应变 0.25%, 肉糜以 2 ℃/min 的速度从 20.0 ℃ 升温至 85.0 ℃, 记录肉糜的储存模量(G')随温度升高的变化情况。

1.2.3.12 乳化稳定性 参考赵子科^[20] 的方法稍作修改, 称取肉糜样品 3.0 g, 置于离心管中, 离心管质量为 G_0 , 称量样品和离心管的总质量为 G_5 , 85 ℃ 水浴加热 1 h 后, 倒出再次称重为 G_6 , 乳化稳定性(ES)计算如下:

$$\text{乳化稳定性}(\%) = \frac{G_6 - G_0}{G_5 - G_0} \times 100$$

1.2.3.13 感官评价 将每组肉粉肠切成片(厚 5~8 mm), 并对其随机 3 位数编码, 由 10 名经过专业培训的食品学院同学按照表 2 的标准对藏羊肉糜凝胶样品的色泽、组织形态、风味、口感、总体可接受度五个方面进行感官评分。品评每组样品间需向品评员提供饮用水, 避免测试不同样品之间味觉的混淆^[21]。

1.3 数据处理

各组试验重复测定 3 次, 数据用平均值±标准差表示, 数据处理采用 WPS Office; 方差分析采用 IBM SPSS Statistics 26 软件(沃勒邓肯检验; $P<0.05$, 差异显著); 绘图工具为 Origin 2022 软件。

2 结果与分析

2.1 不同种类淀粉性质比较

2.1.1 不同种类淀粉光学形貌 淀粉的颗粒形貌作为淀粉的理化特性之一, 不同类型淀粉的颗粒形貌各不相同, 通过光学显微镜可以观察到三种淀粉颗粒的微观形貌, 观察结果如图 1, 可知 YD 颗粒、LD 颗粒较小, 且各淀粉颗粒大小比较均匀饱满; 与 LD 颗粒和 YD 颗粒相比, MD 颗粒更大, 呈不规则的球形或

表 2 肉粉肠感官评分标准

Table 2 Sensorial evaluation scores of starch-meat sausages

指标	14~20分	7~13分	0~6分
色泽	色泽良好, 光泽感明显	色泽一般, 光泽感黯淡	色泽较差, 无光泽感
组织形态	组织细腻, 紧密结实, 弹性较好	组织较好, 紧密性稍差, 辅料分布不均匀	组织差, 弹性差, 辅料分布不均匀
风味	风味浓郁、咸淡适口, 有肉粉肠特有的风味	风味一般, 口味不足或不良	风味差, 有异味或无味
口感	口感细腻	口感稍粗糙, 基本无残留渣	口感粗糙, 有残留渣
总体可接受度	满意	一般	不满意

者卵圆形, 表面比较光滑, 此结果与 Lovedeep^[22] 的结果一致。不同种类淀粉颗粒内的支链淀粉和直链淀粉分子的排列和结合可能会受到淀粉颗粒其自身特定的大小与形状的影响, 进而影响不同种类淀粉在生产加工中的特性表现。此外, 淀粉的构成、糊化性能、结晶度、溶解度和膨胀力也会受淀粉颗粒大小的影响, 从而进一步影响加工产品的品质。

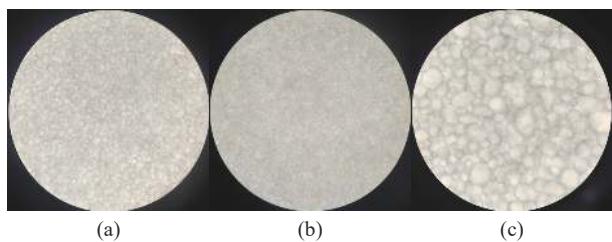


图 1 不同种类淀粉颗粒光学形貌

Fig.1 Optical morphology of different kinds of starch particles
注: (a) LD 颗粒; (b) YD 颗粒; (c) MD 颗粒。

2.1.2 不同种类淀粉糊透明度及流变特性 淀粉糊透明度表征着淀粉与水的结合能力, 是反映食品品质的重要指标。用透光率表示淀粉的透明程度, 淀粉透光率越高, 表示淀粉透明度越好, 淀粉透明度越低, 表示淀粉老化程度越大^[23]。由图 2(a)可知 MD 透光率为 87.9%, 这与尹玲^[24]的研究结果相近, 且比 YD 稍大。YD 透明度最低, 透光率为 60.2%, 显著低于 MD 和 LD($P<0.05$), 这可能对下文中 YD 组肉糜凝胶的色泽与其他两组存在显著差异有影响作用, 同时这与张燕鹏等^[25]所测的 YD 透光率相差较大, 也许是由于 YD 的回生现象所致。

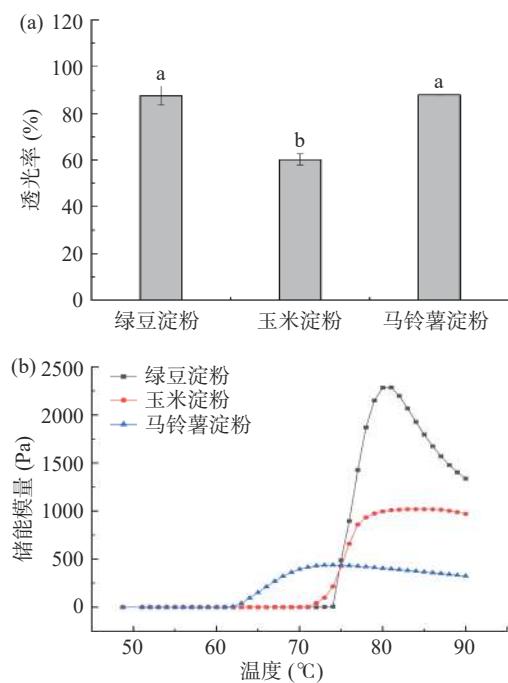


图 2 不同种类淀粉糊透明度和流变特性

Fig.2 Transparency and rheological properties of different types of starch pastes
注: 不同小写字母表示不同种类淀粉差异显著($P<0.05$)。

物料的质量控制和加工过程与物料的流变特性有关, 同时物料的流变特性也是产品最终的感观和质构的重要影响因素之一。流变特性中的储能模量(G')表示储存在变形物料中的能量, 反映物料在变形后恢复其原始形状的能力, G' 越大代表了恢复能力越强^[26]。从图 2(b)可以看出 LD 的 G'_{\max} 最大, 马铃薯的 G'_{\max} 最小。LD 的 G' 突变点为 75 °C 左右, 温度至 80 °C 左右时, G' 达到最大值 2285.7 Pa, 继续加热 G' 逐渐下降。YD 的 G' 突变点为 73 °C 左右, 温度升高到 83 °C 时有 G'_{\max} 为 1018.6 Pa, 继续加热 G' 逐渐下降。MD 的 G' 突变点为 62 °C 左右, 温度升高到 73 °C 时有 G'_{\max} 为 437.6 Pa, 继续加热 G' 逐渐下降。综上所述, 不同种类的淀粉在其淀粉溶液加热的过程中, 刚开始其 G' 几乎为 0, 当加热到接近不同种类淀粉对应的起始糊化温度时, G' 会急剧增长, 形成突变的趋势, 继续加热, 会达到最大值, 且 LD 的 G'_{\max} 最大, 之后继续加热 G' 逐渐下降, 这是由于淀粉颗粒结构改变引起的, 淀粉颗粒出现了熔解和分散现象^[27]。

2.2 不同淀粉种类及其预处理温度对藏羊肉糜品质的影响

2.2.1 不同淀粉种类及其预处理温度对藏羊肉糜凝胶出品率的影响 肉肠类食品的出品率与产品的保水率和保油率有关^[15]。从图 3 得出, YD70 的出品率最高, 为 98.1%, YD80 出品率最低, 为 77.6%。对于不同种淀粉组, 当预处理温度为 70 °C 时, 三种淀粉组的肉糜样品出品率都为最大值; 预处理温度为 80 °C 时, 出品率为最小值, 且都显著低于其他温度组($P<0.05$)。在同一预处理温度下, 不同淀粉组之间比较可知, 70 °C 预处理温度组和 90 °C 预处理温度组变化不显著($P>0.05$)。所以在不同种类淀粉组中, 预处理温度为 70 °C 时, 可以得到最大出品率, 且三种淀粉藏羊肉糜凝胶产品出品率差异不显著($P>0.05$)。

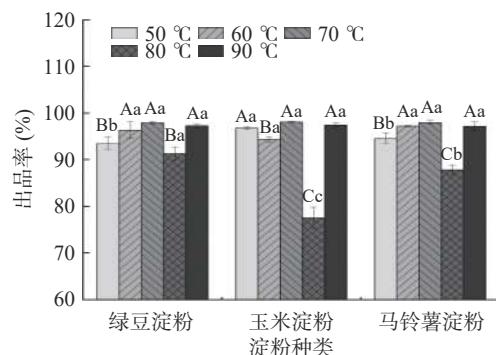


图 3 不同种类及预处理温度淀粉对藏羊肉糜凝胶出品率的影响

Fig.3 Effects of different kinds of starch and pre-gelatinization temperature on the yield of Tibetan minced mutton gel
注: 不同小写字母表示同一预处理温度处理不同种类淀粉差异显著($P<0.05$); 不同大写字母表示同一种类淀粉不同预处理温度处理差异显著($P<0.05$); 图 4~图 6、图 8 同。

2.2.2 不同淀粉种类及其预处理温度对藏羊肉糜凝胶pH和水分含量的影响 pH与肉制品的色度、风味、保水性、嫩度有关,是预测肉制品品质的重要指标。由图4(a)可知,三种不同淀粉组的pH除YD90以外,都随着预处理温度的改变而呈现出先降低再升高的变化趋势;三种淀粉组的50 °C组的pH最高($P<0.05$),70 °C组的pH最低,这说明70 °C温度下预处理的淀粉可以通过降低藏羊肉糜凝胶的pH从而影响其风味及品质等。

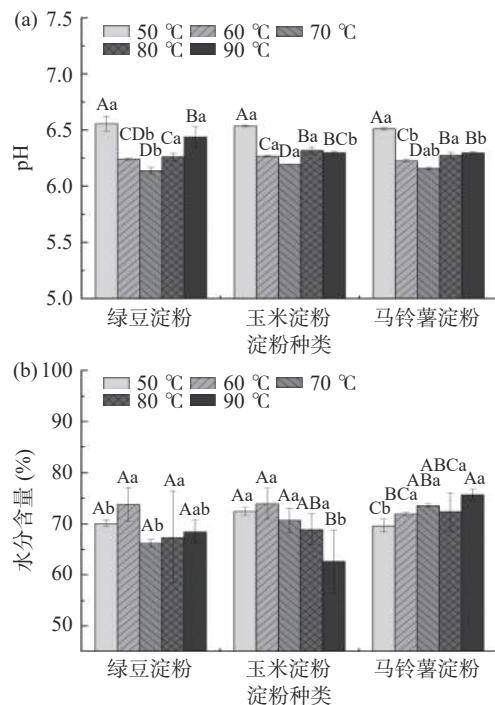


图4 不同种类及预处理温度淀粉对藏羊肉糜凝胶pH和水分含量的影响

Fig.4 Effects of different types and pregelatinization temperatures of starch on pH and moisture content of Tibetan minced mutton gel

食品的水分含量与其质量密切相关。由图4(b)可以看出,与其他两组相比MD组整体的水分含量最高,这是由于MD分子能够与蛋白质相互作用形成淀粉-蛋白混合凝胶,并且其糊化温度较低,受热糊化更早,在蛋白变性时吸收水分,在MD组中,MD90的水分含量值最大,这可能是因为该温度高于MD糊化温度,使得淀粉颗粒糊化不完全,MD颗粒吸水膨胀,最终增加了颗粒的水分含量^[11];而YD90的水分含量最小。在相同的预处理温度下:60 °C和80 °C对组内水分含量值没有显著影响($P>0.05$),其他各预处理温度组都存在差异情况。

2.2.3 不同淀粉种类及其预处理温度对藏羊肉糜凝胶色度的影响 从图5(a)可知,三种淀粉组都是在预处理温度为70 °C时, L^* 值达到最大,且3个90 °C预处理温度组的 L^* 值差异不显著($P<0.05$),其中YD90组的 L^* 值最小;YD组在不同预处理温度下,YD肉糜凝胶的 L^* 值呈现出先增长后降低的趋势。

从图5(b)可得,三种淀粉组的50 °C预处理温度组的 a^* 值都是最大的,并且YD50和MD50的 a^* 值都显著高于同组的其他预处理温度淀粉组($P<0.05$)。从图5(c)可知,除了MD80的 b^* 值显著小于同种淀粉其他预处理温度组以外($P<0.05$),其余各淀粉组的 b^* 值均随预处理温度的升高而呈抛物线式变化,且都在70 °C预处理温度组时达到最大。各组色度产生差异可能是由于淀粉肉糜凝胶在加热糊化、吸水膨胀过程中,样品的糊化程度以及所吸收的水分含量不相同,大量水分子会提高光的反射率,使得 L^* 值增加^[11]。

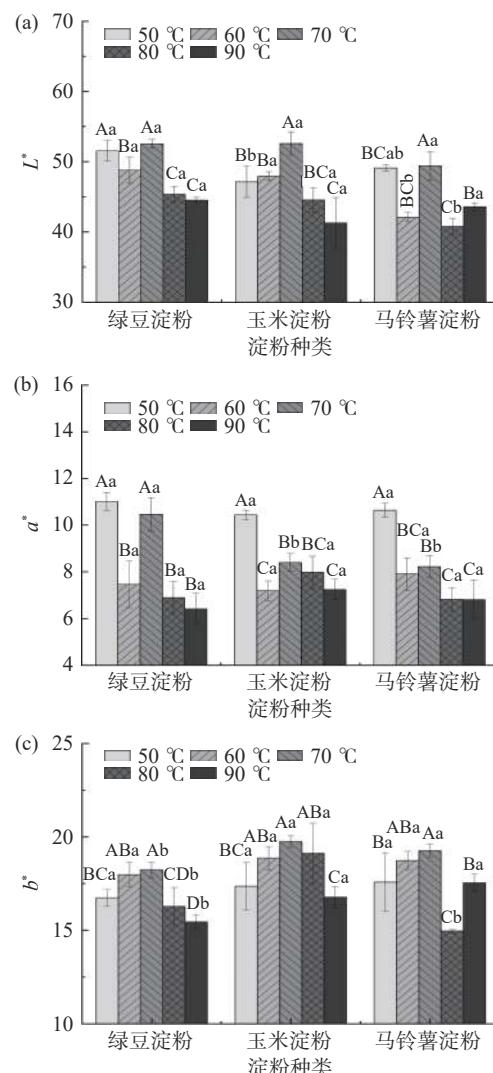


图5 不同种类及预处理温度淀粉对藏羊肉糜凝胶色度的影响

Fig.5 Effects of different kinds of starch and pre-gelatinization temperature on coloration of Tibetan minced mutton gel

2.2.4 不同淀粉种类及其预处理温度对藏羊肉糜凝胶蒸煮损失和冻融损失的影响 蒸煮损失是指在蒸煮过程中,由于水分、油脂等小分子物质的渗出而导致的产品质量的损失^[16]。损失率越低,说明肉糜产品对小分子物质的结合保存能力越强,其内部结构越紧密,蒸煮后的汁液流失越少。由图6(a)可知,YD组

蒸煮损失最大, 并随预处理温度的增加而增加, 其中 YD90 的蒸煮损失率最高, 为 25.8%, 且在同种淀粉组与相同预处理温度组之间比较都有显著变化 ($P<0.05$); 而 MD 组蒸煮损失最小, 其中 MD60 的蒸煮损失仅有 2.8%, 说明 MD 藏羊肉糜凝胶保持水分的能力优于其他两种淀粉肉糜凝胶, 这可能是由于在蒸煮过程中 MD 可以吸收肉中蛋白质因变性而析出的水分^[28], 从而降低了肉糜样品的蒸煮损失; 在 LD 组中, 70 °C 预处理温度组的蒸煮损失显著高于其他

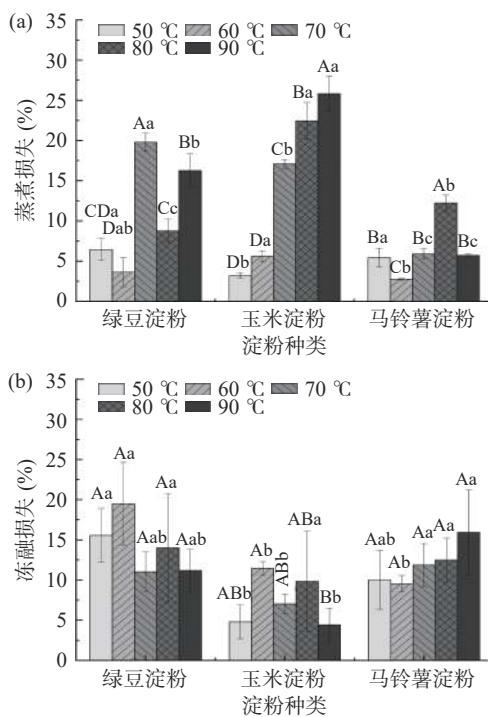


图 6 不同种类及预处理温度淀粉对藏羊肉糜凝胶蒸煮损失和冻融损失的影响

Fig.6 Effects of different kinds of starch and pre-gelatinization temperature on gel cooking loss and freeze-thawing loss of Tibetan minced mutton gel

温度组 ($P<0.05$)。

冻融损失越大, 肉糜的稳定性和解冻后肉糜的感官品质越差^[17]。由图 6(b)可见, 3 种淀粉组在不同的预处理温度条件下, 其冻融损失几乎没有显著变化 ($P>0.05$); 比较相同预处理温度组, 在 90 °C 预处理温度组中, YD 的冻融损失显著低于 MD 组 ($P<0.05$), 且为最低冻融损失率 4.4%; 所有组中, LD60 的冻融损失率最大, 为 19.5%, 与另外相同预处理温度的两淀粉组有显著差异 ($P<0.05$), 这是由于 LD 肉糜凝胶在冷冻时其内部水分冻结形成冰晶, 与淀粉和蛋白间的结合作用发生改变, 解冻后冰晶融化, 会有汁液流出, 使得肉糜的感官品质下降^[29]。

2.2.5 不同淀粉种类及其预处理温度对藏羊肉糜凝胶质构特性的影响 肉糜凝胶产品的质构可以反映其凝胶能力, 特别是硬度和弹性这两个指标是测量肉糜凝胶质构特性的重要参数^[30]。由表 3 所示, 观察硬度指标发现, YD 组在不同的预处理温度条件下硬度变化不显著 ($P>0.05$); LD 组的硬度全部显著高于相同预处理温度下的其他淀粉组 ($P<0.05$), 其中 LD50 的硬度最大, 可能是由于 LD 更容易形成均匀致密的凝胶结构, 更有利于提高肉糜样品的硬度。在弹性指标中, MD 组在预处理温度改变时弹性变化不显著 ($P>0.05$); 除 60 °C 预处理温度组外, 其它预处理温度组的弹性都没有显著差异 ($P>0.05$), 且各淀粉组都是在 70 °C 预处理温度组时弹性最小, 其中 YD70 弹性值最小为 0.82 mm。

对于黏性指标而言, LD 在各预处理温度组中黏性显著最高 ($P<0.05$), 且 LD60 的黏性最大, 为 1100.291 N; YD 组组内黏性不存在显著差异 ($P>0.05$)。从咀嚼性指标来看, 三种淀粉组组内的咀嚼性变化基本都不显著 ($P>0.05$); 在不同预处理温度下, LD 的咀嚼性基本都显著大于其他两种淀粉 ($P<0.05$), LD60 的咀嚼性达到最大值 1041.581 mJ, YD

表 3 不同种类及预处理温度淀粉对藏羊肉糜凝胶质构特性的影响

Table 3 Effects of different kinds of starch and pre-gelatinized temperature on texture characteristics of Tibetan minced mutton gel

实验组	预处理温度(°C)	硬度(g)	弹性(mm)	黏性(N)	咀嚼性(mJ)
LD组	50	1523.815±85.923 ^{Aa}	0.910±0.010 ^{BCa}	978.610±102.554 ^{ABa}	890.346±92.513 ^{ABa}
	60	1469.409±289.987 ^{Aa}	0.946±0.008 ^{ABb}	1100.291±224.043 ^{Aa}	1041.581±217.383 ^{Aa}
	70	1249.000±67.344 ^{ABa}	0.858±0.035 ^{Ca}	810.632±98.038 ^{Ba}	697.214±105.250 ^{Ba}
	80	1024.667±113.299 ^{Ba}	0.959±0.047 ^{ABa}	778.129±115.460 ^{Ba}	743.179±80.567 ^{Ba}
	90	1129.467±148.054 ^{Ba}	0.983±0.030 ^{Aa}	872.369±97.410 ^{ABa}	855.438±73.359 ^{ABa}
YD组	50	655.156±179.778 ^{AB}	0.913±0.021 ^{ABa}	455.463±128.088 ^{Ab}	417.451±124.347 ^{Ab}
	60	558.802±268.294 ^{AB}	0.982±0.023 ^{Aa}	419.808±214.702 ^{Ab}	409.102±199.313 ^{Ab}
	70	605.000±76.419 ^{Ab}	0.820±0.095 ^{Ba}	370.274±28.300 ^{Ab}	305.170±55.177 ^{Ab}
	80	613.533±87.640 ^{Ab}	0.891±0.098 ^{ABa}	421.519±86.392 ^{Ab}	380.208±118.070 ^{Ab}
MD组	90	779.033±143.802 ^{AB}	0.925±0.030 ^{ABa}	563.763±167.669 ^{Ab}	524.185±167.664 ^{Ab}
	50	802.374±167.361 ^{Ab}	1.066±0.410 ^{Aa}	532.855±106.455 ^{Ab}	567.238±220.361 ^{Ab}
	60	371.573±86.806 ^{BCb}	0.924±0.009 ^{Ab}	283.690±64.761 ^{BCb}	261.979±59.629 ^{BCb}
	70	396.233±55.779 ^{BCc}	0.907±0.025 ^{Aa}	283.642±34.313 ^{BCb}	257.434±34.286 ^{BCb}
	80	492.733±36.249 ^{Bb}	0.920±0.009 ^{Aa}	371.413±52.750 ^{Bb}	341.727±50.465 ^{Bb}
	90	203.033±89.404 ^{Cc}	0.977±0.052 ^{Aa}	169.913±74.004 ^{Cc}	166.642±76.857 ^{BC}

注: 不同小写字母表示同一预处理温度处理不同种类淀粉差异显著 ($P<0.05$); 不同大写字母表示同一种类淀粉不同预处理温度处理差异显著 ($P<0.05$); 表 4 同。

组的咀嚼性显示出先降低后升高的趋势,这可能与YD的老化回生有关。

从总体来看,LD组的硬度、黏性、咀嚼性都显著优于其它两个淀粉组($P<0.05$);YD组的各质构指标基本上差异性不显著($P>0.05$);MD组的弹性和咀嚼性变化基本不显著($P>0.05$)。

2.2.6 不同淀粉种类及其预处理温度对藏羊肉糜凝胶流变特性的影响 对于肉糜凝胶而言,储能模量表征着凝胶体的弹性^[26]。观察图7可以发现,添加LD或者YD的藏羊肉糜样品储能模量较大,这与不同种类淀粉溶液的流变特性和肉糜中蛋白质类物质能与淀粉相互作用有关^[31]。不同预处理温度组的最大储能模量不同,从图7中可以看出,绿豆、玉米、马铃薯3种淀粉最大储能模量对应的组别分别为LD60、LD70、YD70、MD60,这与不同种类淀粉溶

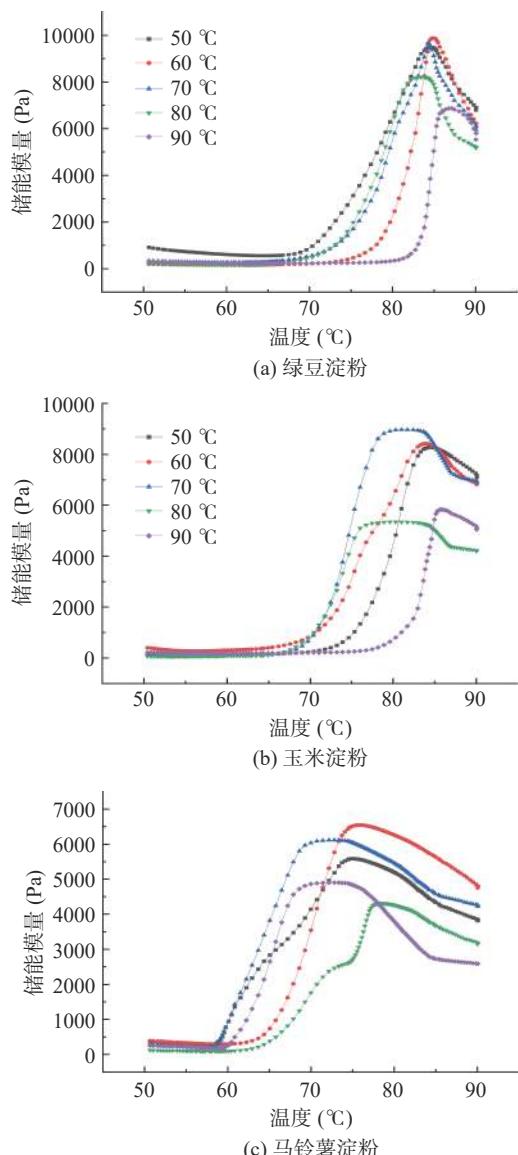


图7 不同种类及预处理温度淀粉对藏羊肉糜凝胶流变特性的影响

Fig.7 Effects of different kinds of starch and pre-gelatinization temperature on rheological properties of Tibetan minced mutton gel

液的流变特性结论略有差异,可能是因为淀粉藏羊肉糜体系中肉类蛋白质与淀粉发生互相作用、产生影响。同时,随着测试温度的升高,添加三种淀粉的藏羊肉糜的储能模量都呈三个阶段变化的趋势,首先在一段温度范围内, G' 几乎没有变化;待温度继续升高到某一温度区间会突然增长,这主要是因为当温度达到淀粉的起始糊化温度时,淀粉开始糊化,淀粉颗粒吸水膨胀使得粒径逐渐变大,再通过充填的方式与藏羊肉糜中的蛋白相互结合,最终形成淀粉-蛋白混合凝胶,淀粉颗粒的存在加固了凝胶结构的强度^[32],从而使淀粉藏羊肉糜凝胶的 G' 增大。当加热达到一定温度后,各试验组的储能模量到达峰值 G'_{max} ,在此之后,随着温度的进一步升高,各组的储能模量则逐渐下降。

2.2.7 不同淀粉种类及其预处理温度对藏羊肉糜凝胶乳化稳定性的影响 肉糜产品的乳化稳定性可以反映肉糜保持脂肪和水分的能力,是表征肉糜体系的稳定性的指标。从图8可以得出,在同一预处理温度下,不同淀粉组的乳化稳定性除了MD90显著高于LD90以外($P<0.05$),其他组之间的乳化稳定性差异不明显($P>0.05$);且MD90藏羊肉糜凝胶组和MD70藏羊肉糜凝胶组的乳化稳定性最高;LD90和MD50的乳化稳定性最低。

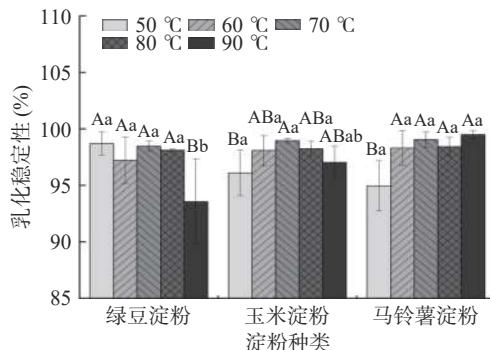


图8 不同种类及预处理温度的淀粉对藏羊肉糜凝胶乳化稳定性的影响

Fig.8 Effects of different kinds of starch and pre-gelatinization temperature on emulsification stability of Tibetan minced mutton gel

通过图8还发现,不同淀粉组的乳化稳定性在50~90 °C的预处理温度处理下变化的趋势接近于抛物线,呈现出中间高,两端低的情况;同时,在LD组中,90 °C预处理温度组显著低于其他预处理温度组的乳化稳定性($P<0.05$);在YD组中,50 °C组的乳化稳定性显著低于70 °C组($P<0.05$);在MD组中,50 °C组与其他预处理温度组的乳化稳定性相比显著下降($P<0.05$)。由此可说明不同种类淀粉藏羊肉糜的乳化稳定性不会随着预处理温度升高而一直升高,而会在某一特定的预处理温度范围达到最大值,这与徐敬欣等^[11]的结论不完全相同,其结论显示预糊化淀粉其预处理温度的升高会显著提高肉粉肠的乳化稳

表 4 不同种类及预处理温度淀粉对藏羊肉糜凝胶感官品质的影响

Table 4 Effects of different kinds of starch and pre-gelatinization temperature on sensory quality of Tibetan minced mutton gel

实验组	预处理温度(℃)	色泽	组织状态	口感	风味	总体可接受度
LD组	50	14.60±2.08 ^{Aa}	16.00±2.65 ^{Aa}	16.00±0.50 ^{Aa}	14.00±2.65 ^{Aa}	15.30±2.89 ^{Aa}
	60	15.30±2.52 ^{Aa}	17.30±3.06 ^{Aa}	15.60±2.21 ^{Aa}	14.30±3.51 ^{Aa}	16.30±2.31 ^{Aa}
	70	15.30±1.53 ^{Aa}	17.30±2.52 ^{Aa}	16.60±1.19 ^{Aa}	14.60±2.89 ^{Aa}	15.60±1.53 ^{Aa}
	80	15.00±1.73 ^{Aa}	17.60±2.08 ^{Aa}	15.00±3.05 ^{Aa}	15.00±3.46 ^{Aa}	14.50±3.78 ^{Aa}
	90	15.00±2.65 ^{Aa}	17.00±3.61 ^{Aa}	16.30±2.84 ^{Aa}	14.00±4.36 ^{Aa}	15.30±3.22 ^{Aa}
YD组	50	15.10±0.76 ^{ABa}	15.00±2.12 ^{AB}	15.80±1.21 ^{Aa}	14.00±3.61 ^{Aa}	15.60±1.16 ^{Aa}
	60	16.60±0.58 ^{Aa}	15.30±1.53 ^{Aa}	14.60±2.08 ^{AB}	13.60±3.06 ^{Aa}	15.30±1.53 ^{Aa}
	70	14.30±0.58 ^{Ba}	16.80±1.26 ^{Aa}	14.60±1.53 ^{Aa}	16.00±1.00 ^{Aa}	12.60±2.08 ^{Aa}
	80	13.60±1.16 ^{Ba}	16.30±3.06 ^{AB}	14.80±2.75 ^{Aa}	14.00±3.46 ^{Aa}	15.00±2.65 ^{Aa}
	90	15.30±1.16 ^{ABa}	15.300±2.52 ^{Aa}	15.10±1.26 ^{Aa}	14.50±2.78 ^{Aa}	15.60±1.16 ^{Aa}
MD组	50	12.60±2.08 ^{Aa}	11.30±1.53 ^{AB}	11.60±1.53 ^{AB}	15.00±1.73 ^{Aa}	14.80±2.02 ^{Aa}
	60	13.60±2.08 ^{Aa}	13.00±3.11 ^{Aa}	11.30±1.53 ^{ABb}	13.60±1.53 ^{Aa}	13.00±1.00 ^{Aa}
	70	15.00±1.73 ^{Aa}	13.60±3.06 ^{Aa}	8.30±1.53 ^{Bb}	15.60±2.89 ^{Aa}	16.30±1.53 ^{Aa}
	80	14.60±1.16 ^{Aa}	11.30±2.31 ^{AB}	9.10±1.61 ^{ABb}	15.00±2.13 ^{Aa}	14.30±2.31 ^{Aa}
	90	15.80±1.04 ^{Aa}	12.80±3.62 ^{Aa}	10.00±1.32 ^{ABb}	14.60±2.08 ^{Aa}	14.00±2.65 ^{Aa}

定性, 这可能是预处理温度范围与梯度不同导致。

2.2.8 不同淀粉种类及其预处理温度对藏羊肉糜凝胶感官评价的影响 感官评价是评价食物风味与品质的重要依据。从表 4 可以看出, 在色泽评分中, 不同预处理温度组间, 三种淀粉肉糜凝胶的色泽差异都不显著($P<0.05$), 这可能是由于淀粉糊化后变成了透明或半透明胶体, 透明度大, 对肉糜凝胶色泽没有较大影响; 同种淀粉组内只有 YD 肉糜凝胶存在显著差异。组织状态评分中, 各淀粉组组内不存在显著差异($P>0.05$); 但是在 50 ℃ 和 80 ℃ 预处理温度组时 LD 组的组织状态显著高于 MD 组($P<0.05$)。在口感评分中, LD 组和 YD 组的口感不随预处理温度改变产生显著改变($P>0.05$), 但是 MD70 预处理温度组显著低于其他预处理温度组($P<0.05$)。

由以上结论可知, 三种淀粉组的组间、组内的风味评分、总体可接受度评分变化都不显著($P>0.05$), 这可能是因为三种淀粉藏羊肉糜凝胶均采用同一个工艺进行加工, 配料相同, 且三种淀粉自身都没有味道, 从而样品在滋味方面评分较为一致; 总体可接受度变化不显著可能是因为品评员对于藏羊肉糜凝胶产品的感官指标偏好度不同, 或更在意组织状态和口感, 或更在意外观色泽, 所以综合评分得出各组的总体可接受度相近。

3 结论

在三种淀粉中, MD 颗粒最大, YD 透明度最小, LD 在加热过程中 $G'max$ 最大; 三种淀粉肉糜凝胶以 70 ℃ 组为最优, 70 ℃ 温度下淀粉的预处理明显改善了藏羊肉糜凝胶的色泽, 且显著降低了藏羊肉糜凝胶的 pH 从而影响其风味及品质等($P<0.05$); MD 藏羊肉糜凝胶产品的蒸煮损失最小, 保水性最好, 水分含量最大, 肉糜的出油出水现象降低, 其中 MD90 组的乳化稳定性最好; LD 组的硬度、黏性、咀嚼性数值最大($P<0.05$), 肉糜的凝胶性能增强, 肉糜的凝胶

品质有所改善; 其中 LD60 藏羊肉糜凝胶的储能模量最大, 弹性和韧性最佳, 同时 LD 藏羊肉糜凝胶产品的组织状态和口感也最好, 但是三种淀粉肉糜总体可接受度评分差异不大。综上所述, 三种淀粉在不同预处理温度处理下都对藏羊肉糜凝胶有着不同程度的优化作用, 三种淀粉肉糜凝胶产品都具有研发意义和一定的市场前景。本试验结果可为开发藏羊肉糜凝胶产品提供数据支持和参考。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 王湘琳. 黄河源头的“富民故事”[J]. 农产品市场, 2021(19): 40. [WANG X L. The story of enriching the people at the source of the Yellow River[J]. Agricultural Products Market, 2021(19): 40.]
- [2] 张攀高, 师希雄, 田铸, 等. 宰后 N-硝基-L-精氨酸甲酯盐酸盐处理对藏羊肉品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(19): 43–48. [ZHANG P G, SHI X X, TIAN Z, et al. Effect of the postslaughter N-nitro-L-arginine methyl ester hydrochloride treatment on the quality of Tibetan lamb meat[J]. Food Science, 2021, 42(19): 43–48.]
- [3] 任凤, 王江伟, 谢凤伟, 等. 乳化剂在淀粉化学中的应用[J]. 绿色化学, 2020, 22(7): 2162–2183.
- [4] 张桂凤, 李文武. 调理肉制品工艺参数优化及低温放置过程中品质变化研究[J]. 中国调味品, 2021, 46(10): 87–93. [ZHANG G F, LI W W. Optimization of process parameters of prepared meat products and study on quality changes during low-temperature storage[J]. China Condiment, 2021, 46(10): 87–93.]
- [5] 张发玲, 梁艳, 李桂华, 等. 变性淀粉在低温火腿中应用研究[J]. 山东轻工业学院学报, 2013, 27(4): 22–25. [ZHANG F L, LIANG Y, LI G H, et al. Application of modified starch in low-temperature ham[J]. Journal of Shandong University of Light Industry, 2013, 27(4): 22–25.]
- [6] 赵江江, 伯特兰德·D·T. 即溶可分散 pregelatinized

tinized starches for use in food products: CA20042528167[P].

[7] ZHANG S X, CAO Y, XU X Y, et al. Preparation, properties and applications of pre-gelatinized starch[J]. *Food Science and Technology*, 2019, 44(3): 252–255.

[8] XU F, ZHANG L, LIU W, et al. Physicochemical and structural characterization of potato starch with different degrees of gelatinization[J]. *Foods*, 2021, 10(5): 1104.

[9] WANG H W, XIAO N Y, WANG X T, et al. Effect of pre-gelatinized starch on the characteristics, microstructures, and quality attributes of glutinous rice flour and dumplings[J]. *Food Chemistry*, 2019, 283(15): 248–256.

[10] BORTNOWSKA G, BALEJKO J, TOKARCZYK G, et al. Effects of pregelatinized waxy maize starch on the physicochemical properties and stability of model low-fat oil-in-water food emulsions[J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 36(5): 229–237.

[11] 徐敬欣, 常婧瑶, 舛永超, 等. 淀粉预糊化温度对肉粉肠品质特性的影响和机制研究[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(21): 57–64.

[XU J X, CHANG J Y, YIN Y C, et al. The influence and mechanism of starch pregelatinization temperature on the quality characteristics of meat powder sausage[J]. *Food Industry Technology*, 2021, 42(21): 57–64.]

[12] 徐芬, 刘伟, 刘倩楠, 等. 不同糊化度马铃薯淀粉的黏度及凝胶特性分析[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(5): 42–50. [XU F, LIU W, LIU Q N, et al. The viscosity and gel characteristics analysis of potato starch with different gelatinization degrees[J]. *Modern Food Technology*, 2020, 36(5): 42–50.]

[13] 张美霞, 琚争艳, 阙建全. 超微全藕粉与藕淀粉颗粒结构的比较研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(7): 83–86. [ZHANG M X, JU Z Y, KAN J Q. Comparative study of the structure of lotus root starch[J]. *Food Science*, 2009, 30(7): 83–86.]

[14] 缪铭, 江波, 张涛, 等. 不同品种鹰嘴豆淀粉的理化性质研究[J]. *食品科学*, 2008, 29(6): 79–82. [MIAO M, JIANG B, ZHANG T, et al. Research on the physical and chemical properties of different varieties of chickpea starch[J]. *Food Science*, 2008, 29(6): 79–82.]

[15] 高浩源, 赵春波, 李苗云, 等. 基于主成分分析花生蛋白对低盐香肠品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(21): 219–224.

[GAO H Y, ZHAO C B, LI M Y, et al. Effect of peanut protein on the quality of low-salt sausage based on principal component analysis[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(21): 219–224.]

[16] 付子寒, 张旭, 淑英, 等. 不同植物油预乳化液对乳化羊肉肠品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(20): 58–65. [FU Z H, ZHANG X, SHU Y, et al. Effect of different vegetable oil pre-emulsion on the quality of emulsified mutton sausage[J]. *Food Research and Development*, 2022, 43(20): 58–65.]

[17] 杜婷婷, 张莉, 徐泽权, 等. 不同成熟方式对哈萨克羊肉冻藏品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2023, 39(10): 170–177. [DU T T, ZHANG L, XU Z Q, et al. Effects of different aging methods on the quality of Kazakh mutton during frozen storage[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2023, 39(10): 170–177.]

[18] 李璐倩, 严琪格, 哈玉洁, 等. 不同解冻方法对牦牛肉品质特性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(23): 123–130. [LI L Q, YAN Q G, HA Y J, et al. Effect of different thawing methods on the quality characteristics of yak meat[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2020, 46(23): 123–130.]

[19] LEE H C, SINGH P, STRASBURG G M, et al. Comparison of raw meat quality and protein-gel properties of turkey breast fillets processed by traditional or cold-batter mincing technology[J]. *Poultry Science*, 2019, 98(5): 2299–2304.

[20] 赵子科. 基于蛋白质重组的脊尾白虾虾糜制品研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2014. [ZHAO Z K. Products based on protein recombination of ridge-tailed white shrimp[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2014.]

[21] 徐敬欣. 肉制品中淀粉糊化度测量方法优化及其对产品品质特性的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2021. [XU J X. Optimization of starch gelatinization measurement method in meat products and its influence on product quality characteristics[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2021.]

[22] LOVEDEEP K, NARPINDER S, NAVDEEP S S. Some properties of potatoes and their starches. morphological, thermal and rheological properties of starches[J]. *Food Chemistry*, 2002, 79(2): 183–192.

[23] 高金梅, 黄倩, 郭洪梅, 等. 冻融循环处理对玉米淀粉凝胶结构及颗粒理化特性的影响[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(2): 181–189. [GAO J M, HUANG Q, GUO H M, et al. Effect of freeze-thaw cycle treatment on the structure and particle physical and chemical characteristics of corn starch gel[J]. *Modern Food Technology*, 2017, 33(2): 181–189.]

[24] 尹玲. 南瓜感官品质分析和淀粉性质研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012. [YIN L. Pumpkin sensory quality analysis and starch properties study[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012.]

[25] 张燕鹏, 庄坤, 丁文平, 等. 豌豆淀粉与马铃薯淀粉、玉米淀粉理化性质比较[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(4): 183–186. [ZHANG Y P, ZHUANG K, DING W P, et al. Comparison of the physicochemical properties of pea starch with potato starch and corn starch[J]. *Food Industry Technology*, 2016, 37(4): 183–186.]

[26] 吕梁玉, 罗华彬, 吕鸣春, 等. 电子束辐照对梅鱼鱼糜化学作用力、流变及其凝胶特性的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(19): 7–12. [LÜ L Y, LUO H B, LÜ M C, et al. Effects of electron beam irradiation on the chemical force, rheology and its gel properties of surimi from plum fish[J]. *Food Science*, 2018, 39(19): 7–12.]

[27] JOHANSSON M, JOHANSSON D, et al. Effect of starch and fibre on faba bean protein gel characteristics[J]. *Food Hydrocolloids*, 2022, 131.

[28] ZHANG H L, DAI N, ZHANG Y Z. Research on the key technology in the industrial production of convenient and nutritious rice[J]. *Food Industry Technology*, 2007(3): 124–126.

[29] 宋萃, 贺雅非, 李洪军. 淀粉种类对兔肉肉糜凝胶品质的影响[J]. *肉类研究*, 2017, 31(2): 1–5. [SONG C, HE Z F, LI H J. Effect of starch species on gel quality of rabbit meat[J]. *Meat Research*, 2017, 31(2): 1–5.]

[30] WANG B, YI D, XIE M Y, et al. Effect of glycosylated soybean protein isolate on functional properties of myofibrillar protein[J]. *Food Science*, 2017, 38(7): 63–69.

[31] 刘思迪, 王百龙, 黄敏丽, 等. 淀粉-蛋白混合体系的制备、理化特性及应用研究进展[J]. *食品科学*, 2022, 43(1): 345–352.

[LIU S D, WANG B L, HUANG M L, et al. Progress in the preparation, physicochemical properties and application of starch-protein mixed system[J]. *Food Science*, 2022, 43(1): 345–352.]

[32] 周超. 三种米粉品质研究及辣木叶米粉工厂化生产设计[D]. 南昌: 南昌大学, 2022. [ZHOU C. Research on the quality of three kinds of rice noodles and the factory production design of *Moringa oleifera* rice noodles[D]. Nanchang: Nanchang University, 2022.]