

植物基香肠中蛋白比例优化及发酵剂对其风味的影响

宁家文¹, 聂庆¹, 周亚楠¹, 王蜀¹, 吉莉莉^{1*}, 王博¹, 张育贤², 任春萍³

¹成都大学 肉类加工四川省重点实验室 成都 610106

²巴中市巴山牧业股份有限公司 四川巴中 636718

³四川高金实业集团股份有限公司 四川遂宁 629018

摘要 为探究植物基香肠制作中大豆分离蛋白(SPI)和豌豆分离蛋白(PPI)的最佳添加比例,以及不同发酵剂对该产品风味的影响,对不同比例SPI和PPI混合制成的植物基香肠的pH值、色差、质构、水分含量、加工特性和微观结构进行检测,并在最佳比例制作的香肠中,分别添加发酵剂B(清酒乳杆菌、肉葡萄球菌)和发酵剂L(乳酸片球菌、戊糖片球菌),对其挥发性风味物质进行检测和定量描述分析(QDA)。结果表明,SPI:PPI=9:16(SP9)的植物基香肠的理化性质最佳,硬度、咀嚼性和弹性值分别为 6470 ± 436 , 2731 ± 130 , 0.89 ± 0.04 ,发酵剂B和发酵剂L都对植物基香肠的挥发性风味物质含量有显著提升,其中L组(3394.30 mg/kg)和B组(1945.77 mg/kg)总风味物质的含量显著高于CT组(1197.22 mg/kg),并且可能对植物基香肠的腥味物质有一定抑制作用。结论:以SPI和PPI为原料制作的植物基香肠具备良好的组织结构和加工特性,可以利用发酵来显著提升香肠风味。

关键词 大豆分离蛋白; 豌豆分离蛋白; 发酵; 理化性质; 风味

文章编号 1009-7848(2024)10-0327-10 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2024.10.030

近年来,世界人口数量不断上升,畜牧业的大力发展已经给生态环境带来了巨大负担。基于人们对生态环境和身体健康的愈发重视,亚洲地区兴起了一股素食热潮。蛋白质是仿肉制品核心营养物质之一^[1],大部分消费者更为倾向于以植物蛋白为原料的产品^[2]。具有地域特色,满足当地人群食物口感是植物基产品研发的一个基本出发点^[3]。肠类产品是中国传统食品中的一个特色产品,深受我国各民族消费者的喜爱。

近年来,植物基香肠在国内发展势头迅猛,消费者对植物基产品的接受度甚至超过美国^[4],产品一般以模仿鸡肉肠和猪肉肠为主。虽然在口味上通过调味等方式与传统动物肉肠能达到高度相似,但是在结构口感方面仍存在一定差异。为寻找符合国内消费者饮食习惯的仿肉制品,大豆分离蛋白和豌豆分离蛋白作为仿肉制品的常用原料,具有成熟的加工经验,而两者混合使用并明确比

例的研究还较少,同时发酵处理作为传统肉制品加工工艺,可以赋予产品独特风味,从而减少植物基产品中的不良风味。本研究以大豆分离蛋白和豌豆分离蛋白为主要原料,通过复合配比的方式研究具备更好质构和口感的植物香肠。在此基础上利用商业发酵剂对优化后的植物香肠进行发酵,探究发酵前、后植物香肠挥发性物质的变化,为植物香肠的研发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料 大豆分离蛋白(SPI)、豌豆分离蛋白(PPI),山东禹王生态食业有限公司;塑料肠衣,大连肠之源电子商务有限公司;乳化剂VIVAPUR[®] MBV410、发酵剂BactoFlavor[®] BFL-F04(清酒乳杆菌、肉葡萄球菌)、发酵剂Bactoform[®] LHP DRY CN(乳酸片球菌、戊糖片球菌),德国JRS Pharma公司。

1.1.2 试剂 2,4,6-三甲基吡啶(色谱纯),美国西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司。

1.2 仪器与设备

智能水分活度测量仪HD-3A,无锡华科有限公司;插入式pH计Testo 205,德国仪表(深圳)有

收稿日期: 2023-10-26

基金项目: 四川省转移支付项目(传统腌腊肉制品优质化现代加工技术研究及产品开发); 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-43)

第一作者: 宁家文,男,硕士

通信作者: 吉莉莉 E-mail: lily_je@126.com

限公司;气相色谱-质谱联用仪(含 PAL3 自动进样器)5977A-7890B,美国安捷伦公司;色差仪 CR-400,柯尼卡美能达有限公司;TA.XT.Plus 质构仪,英国 Stable Micro System 公司;FEI QUAN-TA 450 扫描电镜,美国 FEI 公司。

1.3 方法

1.3.1 产品制作配方

表 1 植物基香肠配方表
Table 1 Plant-based sausage recipe chart

组别	成分			
	大豆分离蛋白/%	豌豆分离蛋白/%	乳化剂/%	水/%
SP25	25	0	3	72
SP16	16	9	3	72
SP12.5	12.5	12.5	3	72
SP9	9	16	3	72
SP0	0	25	3	72

1.3.2 样品制备 制备方法如下,①混匀:配制的大豆分离蛋白和豌豆分离蛋白混匀后搅拌 2 min;②乳化:加入乳化剂搅拌 3 min;③灌制:将得到的混合物灌至塑料肠衣,尽量避免气泡的产生;④熟化:90℃,15 min;⑤冷却成型:将制得的植物基香肠常温冷却后,放入 4℃环境中 8 h 冷却成型。

在得到产品参数后选择最优配方,在①混匀时分别按照推荐添加量加入发酵剂 BactoFlavor® BFL-F04 (0.025%) 或发酵剂 Bactoferm® LHP DRY CN(0.0189%),分别标记为 B 组、L 组,同时以未添加发酵剂的作为空白对照 CT 组,然后进行灌制,于 26℃发酵 12 h,再熟化与冷却成型。

1.3.3 吸水性的测定 根据 Acosta-domínguez 等^[9]的方法稍作修改,离心管的质量记为 m_1 ,取 1 g SP25 组样品原料加入离心管,再加入 10 mL 水,3 000 r/min 均质 15 min 后,在 20℃以 1 800×g 离心 20 min。除去离心管中的上清液后,离心管中样品及离心管的总质量记为 m_2 ,各组重复该步骤。吸水能力(WAC)表示为每克蛋白质吸收的水。WAC 的计算公式为:

$$WAC=(m_2-m_1-1)/1 \quad (1)$$

1.3.4 水分含量的测定 根据《食品安全国家标准 食品中水分的测定》(GB 5009.3-2016)测定香

肠的水分含量。

1.3.5 pH 值的测定 采用插入式 pH 计直接检测香肠的 pH 值。

1.3.6 色差的测定 色差仪在使用前先用白板进行矫正,将除去肠衣的香肠切碎,压成薄片后测定其亮度值(L^*)、红度值(a^*)、黄度值(b^*)。

1.3.7 折叠分的测定 根据 Cardoso 等^[6]的方法,使用五分制评分系统进行折叠测试。把香肠切成 3 mm 厚的薄片,再把切片慢慢对折,根据它们断裂条件可依次分为:1)手指压断,2)对折时立即开裂,3)对折时逐渐开裂,4)对折后无开裂,5)对折 2 次后无开裂。

1.3.8 油炸损失的测定 将香肠切成 1 cm 厚的片状,放入葵花籽油中炸 2 min 后,冷却至室温。油炸损失通过称量煎炸前、后的切片质量来计算其差值,并以百分比表示。

1.3.9 质构的测定 使用质构仪测定,首先将样品加工成高度为 1 cm 的圆柱体,根据样品的直径选择 P/50 探头,测前速度 1 mm/s,测试速度 1 mm/s,测后速度 2 mm/s,触发力 5 g,2 次下压间隔时间 5 s,压缩比 50%。每个样品测定重复 3 次,取平均值。

1.3.10 微观结构的测定 选择扫描电镜对植物基香肠各样品进行对比观察。将试验样品切割成边长 5 mm、厚 2 mm 的长方体小块,先在-18℃条件下冷冻 12 h,后经真空冷冻干燥 20 h 后取出,经离子溅射仪通过 7 mA 的电流喷金后,发射扫描电子显微镜观察各样品的微观组织结构,放大倍数为 500 倍。

1.3.11 挥发性风味物质的测定 前处理条件:取 3 g 粉碎后的发酵植物基香肠样品于 20 mL 顶空瓶中,加入 1 μL 2 μg/μL 的 2,4,6-三甲基吡啶标准溶液,密封后于-20℃备用。设置 CLC 自动进样器参数条件:加热箱温度 75℃,加热时间 30 min,样品抽取时间 30 min,解析时间 5 min。

GC 条件:压力 32.0 kPa;载气为 He 气,流速 1.0 mL/min,不分流进样;进样口温度 250℃;升温程序:初始温度 40℃,保持 2 min,然后以 6℃/min 升至 100℃,保持 2 min,再以 4℃/min 升至 160℃,保持 3 min,再以 6℃/min 升至 200℃,最后以 10℃/min 升至 220℃,不保持。

MS 条件:电子电离源(EI);电子能量 70 eV;检测器电压 350 V;离子源温度 230 °C,四极杆温度 150 °C;质量扫描范围:40~500(*m/z*)。在 GC-MS 专用分析软件上进行操作,将化合物数据于 NIST 14.L 谱库中进行检索匹配,匹配度为 80%。

1.3.12 定量描述分析(QDA) 从成都大学食品

专业研究生中筛选 15 名候选专业评价员,讨论确定出对植物基香肠的描述词汇定义和评分尺度如表 2、表 3 所示,然后根据描述词汇对发酵后的植物基香肠的感官特性逐项评定打分,汇总计算分析,结果用 QDA 图表示。

表 2 植物基香肠的感官描述及定义

Table 2 Sensory description and definition of plant-based sausages

描述词汇	定义
色泽	通过视觉系统得到的光感应,如淡黄色、乳白色等
香气	通过嗅觉器官感知到的气味,如清香味、鲜香味等
质地	组织结构紧密、弹性强,无汁液分离现象
咀嚼性	咀嚼时口感与动物肉相似,无过硬或过软现象
涩味	植物蛋白特有的草腥味和苦味

表 3 植物基香肠的感官评分尺度

Table 3 Sensory scoring scale for plant-based sausages

分值	1	2	3	4	5	6	7	8	9
强度	极弱	很弱	较弱	稍弱	中等	稍强	较强	很强	极强

1.4 数据处理与统计分析

每项试验均重复 3 次,以“平均值±标准差”表示试验结果。Microsoft Excel 2016 用来计算各指标的“平均值±标准偏差”,采用 SPSS 26.0 软件中的单因素方差分析差异显著性,表示为 $P < 0.05$, Origin(2021)绘制香肠理化特性的变化图,而无监督的主成分分析(PCA)通过美吉生物云绘制。

2 结果与分析

2.1 香肠原料的吸水性

原料吸水性是评价原料性质的有效指标之一。如图 1 所示,随着 SPI 占比下降,原料的吸水性显著降低 ($P < 0.05$)。由于 SPI 的亲水性大于 PPI,并且在检测过程中,发现 PPI 存在一定的凝胶化现象,这可能会对原料的硬度产生影响。Wang 等^[7]比较了 SPI 与 PPI 在不同条件下制作的挤出物的理化特性,也发现 PPI 挤出物中的水分比在 SPI 挤出物中更容易迁移。Angelis 等^[8]研究由豌豆蛋白和燕麦蛋白制作的植物肉理化性质,认为不同干燥方法制作的蛋白原料,也会对原料的吸水性产生一定影响。因此,可以推断本研究中不

同组的吸水性差异是由 SPI 与 PPI 自身性质及其占比不同所致,各组的吸水性分别为 5.31 ± 0.03 , 4.66 ± 0.03 , 4.28 ± 0.03 , 3.76 ± 0.02 , 3.1 ± 0.06 , 其中 SPI16 与 SPI2.5 中的差异值最小(0.38)。结果表明当 SPI 占总蛋白含量 50%~64%时,其吸水性趋于平缓,从而减少原料带来的试验误差,同时,吸水性过高会对样品的硬度、弹性产生影响,较低的吸水性也会使样品结构松软,发生汁液分离现象。

2.2 香肠 pH 值的变化

植物基香肠的 pH 值会对消费者的味觉和嗅觉产生影响,pH 值通过对香肠中的微生物菌落结构产生影响,从而改变香肠中风味物质的种类和含量。从图 1 中明显看到随 PPI 占比的增加,pH 值明显降低($P < 0.05$)。除此之外,pH 值的高低也能对植物基香肠的理化性质产生影响。Liang 等^[9]研究了豌豆蛋白在不同 pH 值下的乳化性,结果表明 PPI 在 pH 3 时其乳化效果最好,而过低的 pH 值也会引起消费者的反感。Wan 等^[10]对 SPI 的纤维结构进行研究后发现过高的 pH 值也会导致其结构断裂,无法达到理想效果。本研究采用 SPI 与 PPI 的原料组合,pH 值范围在 $(6.30 \pm 0.01) \sim$

(7.56 ± 0.03), 制作时应考虑多种蛋白的性质。Chang 等^[11]研究了豌豆、大豆、扁豆和菜籽分离蛋白,认为 SPI 和 PPI 在 pH 7 时存在等电点,样品的 pH 值低于该等电点其乳化效果越好。由此可见,本研究中的植物基香肠的 pH 值随着 SPI 的降低逐渐下降,其乳化性也会逐渐增强。

2.3 水分含量

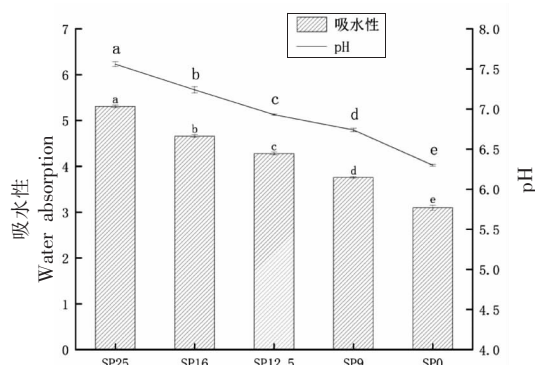
植物基香肠的水分含量如图 2 所示。在 5 组香肠中,SP16 水分含量最低,为 63.88%,SP12.5 水分含量最高,为 68.96%。各组间水分含量无显著差异,制作时水的占比为 70%,经过 SPI 和 PPI 原料吸水后,水分含量发生了变化。Cao 等^[12]在制作全谷米粉时加入了 SPI 后发现,混合物形成了一种多孔蜂窝的网状结构,对米粉的持水性有显著提升。Ma 等^[13]认为增加植物蛋白原料中的蛋白质含量能够提高产品的持水性。由此推断,利用植物蛋白制作的植物香肠,内部可能形成了一种新的结构,能够抑制水分的迁移和蒸发,从而具备良好的持水性。

2.4 折叠得分变化

折叠测试是从感官上对香肠的弹性和硬度进行评价。如图 3 所示,SP25 得分最高,为 4.57,SP0 得分最低,为 2.73。从整体上可见,PPI 与 SPI 相比,更能降低香肠的弹性和硬度,这是因为植物蛋白可以在吸收一定水分后形成各类凝胶结构或团聚体,从而影响产品的弹性^[14]。SP9 组得分高于相邻两组并存在明显差异($P < 0.05$),可能在该组中产生的凝胶结构更坚固,这种差异往往是原料自身的疏水性和乳化程度以及加工条件所致^[15]。

2.5 油炸损失变化

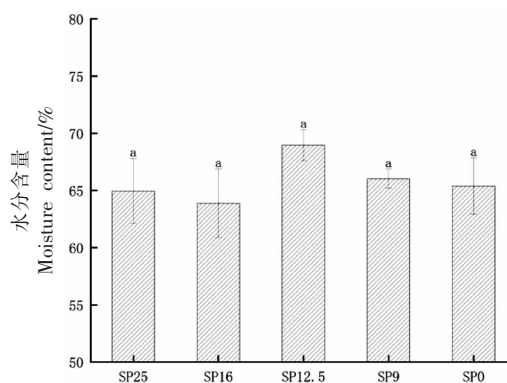
SPI 和 PPI 因其具备良好的吸水性和乳化性而作为食品涂层来降低食品的油炸损失率^[16],为了探究植物基香肠在油炸前、后差异,主要根据油炸前、后质量的变化来对油炸损失进行计算。如图 3 所示,各组的油炸损失率随着 PPI 占比的增加而降低,从 (41.05 ± 0.24)% 下降至 (33.52 ± 0.2)%,并且 SP25 与 SP0 存在显著性差异($P < 0.05$),而 SP16、SP12.5、SP9、SP0 各组间并无显著性差异($P > 0.05$),可见在该范围内植物基香肠的油炸损失较为稳定,其中 SP12.5 和 SP9 组差异最小。Liberty 等^[17]的研究表明在油炸过程中一般的



注:不同小写字母表示各组植物基香肠原料的吸水性、pH 值具有显著差异($P < 0.05$)。

图 1 原料吸水性和 pH 值的变化

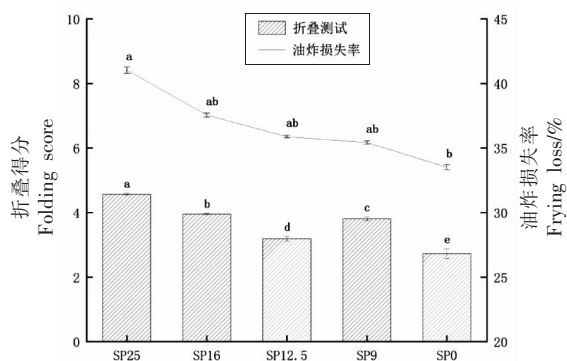
Fig.1 Changes in water absorption and pH value of raw materials



注:不同小写字母表示各组植物基香肠水分含量具有显著差异($P < 0.05$)。

图 2 水分含量的变化

Fig.2 Changes in moisture content



注:不同小写字母表示各组植物基香肠折叠得分、油炸损失率具有显著差异($P < 0.05$)。

图 3 折叠得分和油炸损失变化

Fig.3 Changes in folding score and frying loss

样品表面会因干燥导致孔隙度增大,而 SPI 与 PPI 所形成的凝胶结构较为坚固,持水性良好,能够有

效降低油炸损失率。

2.6 色差的变化

各试验组的植物基香肠色差值如表 4 所示。所有组的 L^* 值范围为 58.52~72.51, a^* 值范围为 2.61~3.95, b^* 值范围为 23.37~26.53。其中 SP0 的 L^* 值和 a^* 值最高, 分别为 72.51 ± 1.57 和 3.95 ± 0.41 。我国对香肠的加工方式主要是以干腌和烟熏为主^[18], 此类方式通常会赋予香肠良好的色泽, 本试验香肠中的分离蛋白来源主要为黄大豆和黄豌豆, 采用蒸煮的加工方式, 呈现了植物基香肠本

身的色泽。研究人员认为植物基肉制品在未加入添加剂时, 色差值不同主要是由于原料不同, 由于植物蛋白原料在成熟时, 除了含有粗蛋白和粗脂肪外, 还含有叶绿素、叶黄素、血红素和胡萝卜素等, 对其色度产生影响, 加工时的热处理也会发生美拉德反应^[19], 对植物基香肠的色泽和糖基化产生影响。除此之外, 植物蛋白的粉末颜色^[20]、蛋白质纯度、干燥方法和粒径^[21]等也是蛋白质制品色差产生差异的影响因素。

表 4 植物基香肠色度和质构参数

Table 4 Plant-based sausage colorimetric and textural parameters

指标	SP25	SP16	SP12.5	SP9	SP0
L^*	58.52 ± 4.41^d	65.32 ± 2.43^c	68.02 ± 1.45^{bc}	70.91 ± 1.76^{ab}	72.51 ± 1.57^a
a^*	2.96 ± 1.04^{ab}	3.38 ± 0.48^{ab}	2.61 ± 0.75^b	3.55 ± 0.47^{ab}	3.95 ± 0.41^a
b^*	24.8 ± 3.07^{ab}	26.53 ± 1.2^a	23.37 ± 1.66^b	24.98 ± 1.58^{ab}	24.02 ± 1.16^{ab}
硬度	$8\ 683 \pm 290^a$	$6\ 937 \pm 111^b$	$6\ 163 \pm 161^c$	$6\ 470 \pm 436^{bc}$	$5\ 622 \pm 78^d$
咀嚼性	$5\ 384 \pm 74^a$	$3\ 158 \pm 194^b$	$2\ 328 \pm 282^d$	$2\ 731 \pm 130^c$	$1\ 895 \pm 85^e$
弹性	0.94 ± 0.01^a	0.86 ± 0.04^{bc}	0.85 ± 0.01^{bc}	0.89 ± 0.04^b	0.81 ± 0.02^c

注: 不同小写字母表示各组植物基香肠色度、质构参数具有显著差异 ($P < 0.05$)。

2.7 质构的变化

对植物基香肠的硬度、咀嚼性、弹性等质构特性进行测试。结果如表 4 所示, 植物基香肠的硬度、咀嚼性、弹性随着 PPI 的加入整体呈下降趋势。3 个指标最高值都是 SP25, 分别为 $8\ 683 \pm 290$, $5\ 384 \pm 74$, 0.94 ± 0.01 。硬度是评价植物基香肠凝胶质量的重要参数之一, 咀嚼性是样品从开始咀嚼到可以吞咽时所需的能量, 弹性表明样品在压缩后能恢复到原始状态的程度, 硬度的增加意味着咀嚼需要更多的能量^[22]。植物蛋白中的灰分含量是影响植物基制品硬度的重要因素^[23], 除此之外, SPI 中矿物质含量可能比 PPI 更高, 从而形成了更多的二价离子键, 加强了酪蛋白胶束之间相互作用, 使得 SPI 与 PPI 在硬度指标出现显著差异。本试验中 SP9 的硬度、咀嚼性、弹性值 ($6\ 470 \pm 436$, $2\ 731 \pm 130$, 0.89 ± 0.04) 都高于相邻两组。Yuliarti 等^[24]在利用豌豆分离蛋白和小麦蛋白制作植物基肉饼时也出现了此类现象, 他将其归结为在某个特定蛋白比例时, 形成了较好的蛋白凝胶网络结构, 而植物蛋白凝胶网络结构的形成与蛋白的固

有特性、凝胶化技术之间存在重要联系^[25]。由此本研究认为 SP9 组中形成的凝胶网络结构对植物基香肠的质构特性具有提升效果。

2.8 微观结构的变化

通过扫描电镜可以对植物基香肠的微观结构进行分析。如图 4 所示, 放大 500 倍的 SP25 组的植物基香肠呈不规则多孔结构, 而只有 PPI 的 SP0 组吸收水分后呈球状, 经过逐渐结合或累积形成三维结构, 这就是蛋白中凝胶的形成过程。此结构可以对植物基香肠中的水分和其它营养物质流失起到抑制作用。已有研究发现^[26], 在相同条件下, 与 SPI 相比, PPI 的凝胶特性更弱, 这说明 PPI 所占比例会对植物基香肠的质构特性产生影响。植物蛋白疏水性带来的分子间作用力也是影响凝胶结构的重要因素^[27], SP16 与 SP12.5 相比, 随着 PPI 占比的增加, SP12.5 形成的孔隙结构更小、更均匀, 此时 SP12.5 存在明显的凝胶分层, 球状与多孔状结构随机分布, 这可能会造成植物基香肠各部分硬度和弹性存在一定差异, 从质构数据可以明显观察到含有大豆分离蛋白的植物基香肠明显

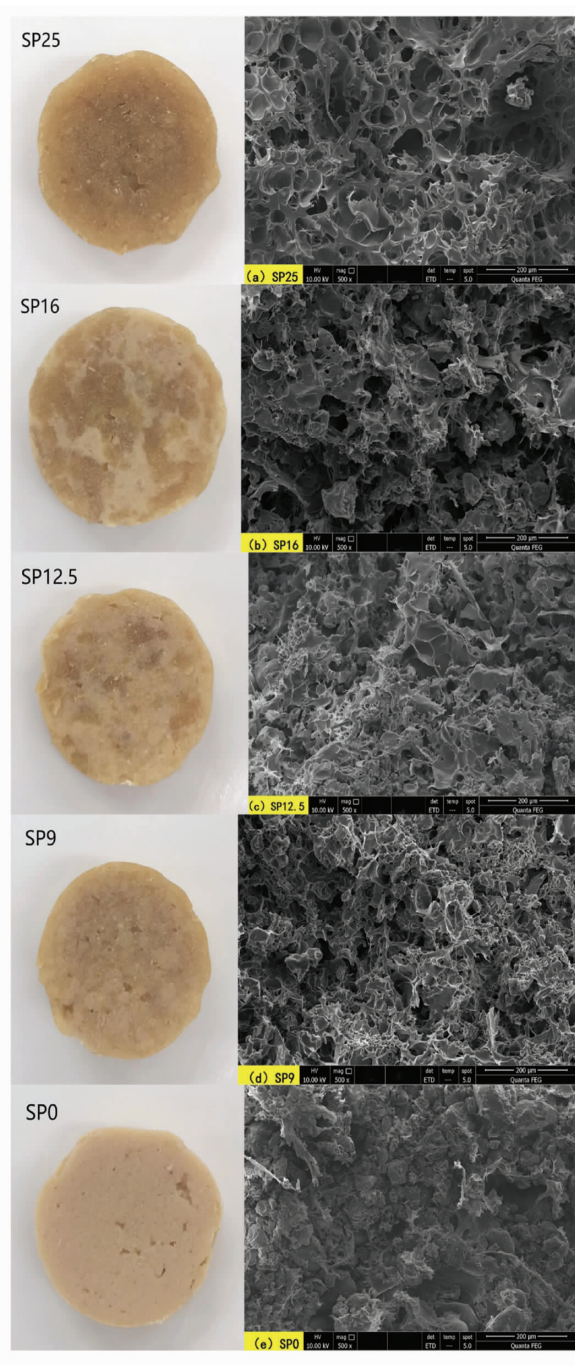


图4 植物基香肠微观图(500×)

Fig.4 Microscopic view of plant-based sausages (500×)

优于其它组,这可能是大豆分离蛋白拥有一定的结构修饰作用^[28],对凝胶结构产生了积极影响。最后观察到 SP9 组的微观结构分布均匀,各处凝胶结构极为相似,从质构特性数据中也可以看出该组样品的数据均高于相邻两组,因此,最终以 SP9 为最佳配方。

2.9 挥发性风味物质的变化

风味是肉制品感官评价的重要因素,决定消费者对植物基香肠的第一感官印象和接受程度。本试验中植物基香肠风味几乎只来源于原料本身^[29],因此,加入商业发酵剂的目的是研究植物基香肠在发酵后自身风味的变化情况。采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用仪(SPME-GC-MS)检测香肠中的挥发性风味物质。如表5所示,在植物基香肠中共检出26种挥发性化合物,CT组、L组和B组中各检出16,18,18种,包括4种醇类,6种醛类,5种酮类,10种烷烃类,1种呋喃类化合物。而L组(3394.30 mg/kg)和B组(1945.77 mg/kg)总风味物质的含量明显高于CT组(1197.22 mg/kg)。与CT组相比,加入发酵剂B和L使植物基香肠中醇类分别提升了1.96倍和5.02倍,对酮类分别提升2.15倍。Zhao等^[30]将戊糖片球菌和肉葡萄球菌分别添加至四川香肠中,发现它们都对香肠中酮类挥发性物质拥有显著提升作用。而Wu等^[31]探究了乳酸片球菌发酵对面包风味的影响,发现乳酸片球菌对大部分醇的生成都有促进作用。由此可见,加入2种发酵剂后对植物基香肠风味有显著提升,且提升效果显著,对两组发酵剂中各菌种的单独发酵效果还需进一步探究。

对植物基香肠中检测到的物质进行主成分分析(PCA),结果如图5所示,主成分1与主成分2的方差贡献率分别为46.602%和16.59%,在PC1上,3组香肠被清晰地区分开来。唯一阳性的组是L组;添加发酵剂B组位于与CT相邻的阴性区域处于CT与L之间;在PC2上,CT组和B组分别处于阴性和阳性区域。由此可以看出,两种发酵剂对植物基香肠的风味都存在提升作用。

2.10 定量描述分析(QDA)

对分别加入发酵剂L、B以及空白组CT的植物基香肠的5个感官特性分别进行了定量描述分析,绘制的QDA图,如图6所示。在色泽、质地、咀嚼性方面,3组植物基香肠的差异不大。Klost等^[32]同样认为植物蛋白发酵对凝胶结构影响很小,因此可以判断在本试验中发酵剂的添加并不会对植物基香肠的物理特性有显著影响;在香气方面,B组和L组都要优于CT组;CT组与B、L组相比有稍强的涩味。这是由于加入发酵剂后B组、L组中

表 5 CT、B、L 组香肠中风味物质绝对含量

Table 5 Absolute content of flavor substances in sausages of CT, B and L groups

序号	化合物名称	CAS 号	分子式	CT	B	L
1	正己醛	66-25-1	C ₆ H ₁₂ O	478.04 ± 74.26 ^b	664.17 ± 27.78 ^{ab}	1 223.21 ± 492.09 ^a
2	5-甲基己醛-	1860-39-5	C ₇ H ₁₄ O	ND	26.92 ± 8.03	ND
3	正庚醛	111-71-7	C ₇ H ₁₄ O	17.25 ± 4.94 ^b	15.02 ± 6.03 ^c	87.54 ± 12.94 ^a
4	苯甲醛	100-52-7	C ₇ H ₆ O	66.82 ± 10.71 ^b	ND	200.35 ± 73.36 ^a
5	壬醛	124-19-6	C ₉ H ₁₈ O	27.40 ± 4.12 ^b	43.23 ± 1.63 ^b	81.25 ± 28.84 ^a
6	正辛醛	124-13-0	C ₈ H ₁₆ O	ND	ND	20.81 ± 2.16 ^a
7	1-己醇,4-甲基-	818-49-5	C ₇ H ₁₆ O	2.91 ± 2.66 ^b	5.69 ± 1.09 ^a	5.79 ± 0.42 ^a
8	1-辛烯-3-醇	3391-86-4	C ₈ H ₁₆ O	43.25 ± 6.42 ^b	71.63 ± 5.2 ^{ab}	120.77 ± 44.71 ^a
9	2-乙基-1-己醇	1000411-44-8	C ₈ H ₁₈ O	22.82 ± 6.2 ^b	34.94 ± 4.33 ^{ab}	63.19 ± 13.17 ^a
10	正己醇	111-27-3	C ₆ H ₁₄ O	ND	23.02 ± 2.18 ^b	156.80 ± 20.81 ^a
11	2-庚酮	110-43-0	C ₇ H ₁₄ O	111.40 ± 18.25 ^b	234.07 ± 14.93 ^{ab}	292.35 ± 12.45 ^a
12	3,5-辛二烯-2-酮,(E,E)-	30086-02-3	C ₈ H ₁₂ O	40.98 ± 5.53 ^b	65.62 ± 5.55 ^{ab}	116.15 ± 22.86 ^a
13	2-(甲氧基)-1-苯基乙酮-	55153-12-3	C ₉ H ₈ O ₃	ND	27.01 ± 5.53	ND
14	丙酮	67-64-1	C ₃ H ₆ O	ND	1.57 ± 0.36	ND
15	2,2,5-三甲基 3,4-己二酮-	20633-03-8	C ₉ H ₁₆ O ₂	ND	ND	2.63 ± 0.44
16	1-氯戊烷	543-59-9	C ₅ H ₁₁ Cl	4.19 ± 0.26 ^b	ND	21.76 ± 2.16 ^a
17	丙基环丙烷-	2415-72-7	C ₆ H ₁₂	8.28 ± 1.09 ^b	10.90 ± 2.89 ^a	ND
18	异丙基环丁烷	872-56-0	C ₇ H ₁₄	1.13 ± 0.27	ND	ND
19	3,3-二甲基己烷	563-16-6	C ₈ H ₁₈	2.75 ± 0.44 ^c	5.17 ± 1.49 ^b	6.46 ± 0.21 ^a
20	2,2-二甲基丁烷	75-83-2	C ₆ H ₁₄	0.14 ± 0.04	ND	ND
21	3-乙基戊烷	617-78-7	C ₇ H ₁₆	ND	0.56 ± 0.17	ND
22	1,1-二甲基环戊烷	1638-26-2	C ₇ H ₁₄	ND	1.26 ± 0.18	ND
23	正丙基环戊烷	2040-96-2	C ₈ H ₁₆	ND	ND	9.06 ± 1.69
24	2,2,3,4-四甲基戊烷	1186-53-4	C ₉ H ₂₀	ND	ND	5.85 ± 1.1
25	双环[3.2.0]庚-2,6-二烯	2422-86-8	C ₇ H ₈	0.82 ± 0.43 ^c	1.94 ± 0.37 ^b	2.68 ± 0.65 ^a
26	2-正戊基咪喃	3777-69-3	C ₉ H ₁₄ O	369.04 ± 92.53 ^c	713.05 ± 15.53 ^b	977.65 ± 163.57 ^a

注：“ND”表示未检出。

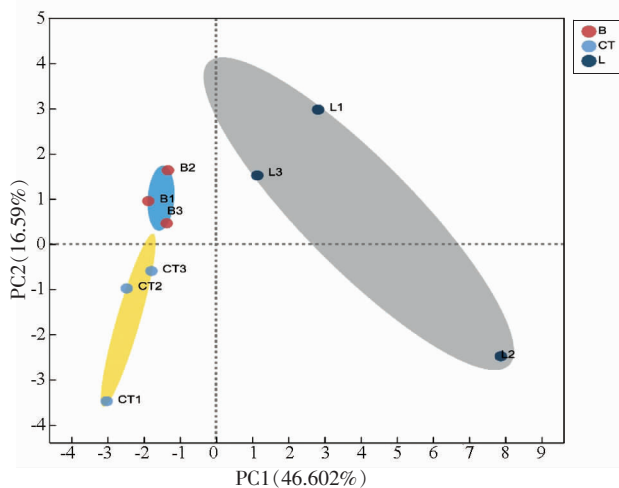


图 5 植物基香肠的主成分分析

Fig.5 Principal component analysis of plant-based sausages

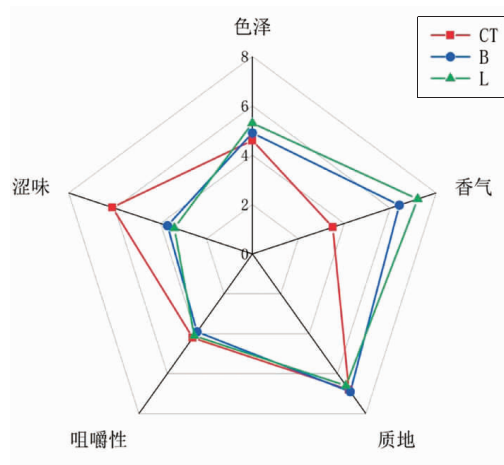


图 6 3 种植物基香肠的 QDA 图

Fig.6 QDA diagrams of 3 types of plant-based sausages

醇类、酮类风味物质显著增加,对植物基香肠的风味有明显改善作用。已有研究发现,微生物发酵对于植物蛋白具有显著的去腥作用^[33],由此推测这可能是B、L组中涩味与CT组相比较弱的原因。

3 结论

对不同比例的大豆分离蛋白(SPI)和豌豆分离蛋白(PPI)制作的植物基香肠的配方进行检测与分析,结果表明,采用SPI:PPI=9:16制成的植物基香肠SP9组的微观结构分布均匀,各处凝胶结构极为相似,硬度、咀嚼性和弹性值分别为 $6\ 470\pm 436$, $2\ 731\pm 130$, 0.89 ± 0.04 ,具备最好的组织结构。在最佳配方SP9组中分别使用两种商业发酵剂(发酵剂B和发酵剂L),发现两种发酵剂均对植物基香肠风味有明显影响,植物基香肠中的醇类、酮类风味物质显著提升,并且可能对植物蛋白中的腥味物质起到抑制作用,在色泽、质构方面无较大差异。综上所述,以SPI:PPI=9:16比例制作的植物基香肠,能较好地模仿动物肉制品的质构和口感,同时,发酵剂B和发酵剂L的添加可以改善香肠的风味。

参 考 文 献

- [1] SHA L, XIONG Y L. Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges[J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 102: 51-61.
- [2] HE J, EVANS N M, LIU H, et al. A review of research on plant-based meat alternatives: Driving forces, history, manufacturing, and consumer attitudes[J]. Compr Rev Food Sci Food Saf, 2020, 19(5): 2639-2656.
- [3] MCCLEMENTS D J, GROSSMANN L. The science of plant-based foods: Constructing next-generation meat, fish, milk, and egg analogs[J]. Compr Rev Food Sci Food Saf, 2021, 20(4): 4049-4100.
- [4] BRYANT C, SZEJDA K, PAREKH N, et al. A survey of consumer perceptions of plant-based and clean meat in the USA, India, and China[J]. Frontiers in Sustainable Food Systems, 2019, 3: 11.
- [5] ACOSTA-DOMÍNGUEZ L, COCOTLE-RONZÓN Y, ALAMILA-BELTRÁN L, et al. Effect of a cryogenic treatment in the microstructure, functional and flow properties of soy protein isolate[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 119: 106871.
- [6] CARDOSO C, MENDES R, NUNES M L. Development of a healthy low-fat fish sausage containing dietary fibre[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2008, 43(2): 276-283.
- [7] WANG H, VAN DEN BERG F W J, ZHANG W, et al. Differences in physicochemical properties of high-moisture extrudates prepared from soy and pea protein isolates[J]. Food Hydrocolloids, 2022, 128: 107540.
- [8] DE ANGELIS D, KALEDA A, PASQUALONE A, et al. Physicochemical and sensorial evaluation of meat analogues produced from dry-fractionated pea and oat proteins[J]. Foods, 2020, 9(12): 1754.
- [9] LIANG H N, TANG C H. pH-dependent emulsifying properties of pea [*Pisum sativum* (L.)] proteins[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 33(2): 309-319.
- [10] WANY L, GUO S T. The formation and disaggregation of soy protein isolate fibril: Effects of pH[J]. Food Biophysics, 2019, 14(2): 164-172.
- [11] CHANG C, TU S, GHOSH S, et al. Effect of pH on the inter-relationships between the physicochemical, interfacial and emulsifying properties for pea, soy, lentil and canola protein isolates[J]. Food Research International, 2015, 77: 360-367.
- [12] CAO Z F, LIU Y, ZHU H, et al. Effect of soy protein isolate on textural properties, cooking properties and flavor of whole-grain flat rice noodles[J]. Foods, 2021, 10(5): 1085.
- [13] MA K K, GREIS M, LU J K, et al. Functional performance of plant proteins[J]. Foods, 2022, 11(4): 594.
- [14] FEICHTINGER A, NIBBELINK D G, POPPE S, et al. Protein oleogels prepared by solvent transfer method with varying protein sources[J]. Food Hydrocolloids, 2022, 132: 107821.
- [15] BERGHOUT J A M, BOOM R M, VAN DER GOOT A J. Understanding the differences in gelling properties between lupin protein isolate and soy protein isolate[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 43: 465-472.
- [16] KURT S, KILINCCEKER O. Performance optimization of soy and whey protein isolates as coating materials on chicken meat[J]. Poult Sci, 2011, 90(1):

- 195–200.
- [17] LIBERTY J T, DEGHANNYA J, NGADI M O. Effective strategies for reduction of oil content in deep-fat fried foods: A review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 92: 172–183.
- [18] WANG X H, ZHANG Y L, REN H Y, et al. Comparison of bacterial diversity profiles and microbial safety assessment of salami, Chinese dry-cured sausage and Chinese smoked-cured sausage by high-throughput sequencing[J]. *LWT*, 2018, 90: 108–115.
- [19] NAIK R R, WANG Y, SELOMULYA C. Improvements of plant protein functionalities by Maillard conjugation and Maillard reaction products[J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2022, 62(25): 7036–7061.
- [20] GE J, SUN C X, MATA A, et al. Physicochemical and pH-dependent functional properties of proteins isolated from eight traditional Chinese beans[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 112: 106288.
- [21] SHENY T, TANG X, LI Y H. Drying methods affect physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate[J]. *Food Chem*, 2021, 339: 127823.
- [22] KWON H C, SHIN D M, YUNE J H, et al. Evaluation of gels formulated with whey proteins and sodium dodecyl sulfate as a fat replacer in low-fat sausage[J]. *Food Chem*, 2021, 337: 127682.
- [23] FERAWATI F, ZAHARI I, BARMAN M, et al. High-moisture meat analogues produced from yellow pea and faba bean protein isolates/concentrate: Effect of raw material composition and extrusion parameters on texture properties[J]. *Foods*, 2021, 10(4): 843.
- [24] YULIARTI O, KIAT KOVIS T J, YI N J. Structuring the meat analogue by using plant-based derived composites[J]. *Journal of Food Engineering*, 2021, 288: 110138.
- [25] ZHA F, RAO J, CHEN B. Plant-based food hydrogels: Constitutive characteristics, formation, and modulation[J]. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 2021, 56: 101505.
- [26] LAM A C Y, CAN KARACA A, TYLER R T, et al. Pea protein isolates: Structure, extraction, and functionality[J]. *Food Reviews International*, 2016, 34(2): 126–147.
- [27] ZHENG L, WANG Z J, KONG Y, et al. Different commercial soy protein isolates and the characteristics of Chiba tofu[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 110: 106115.
- [28] FIROOZMAND H, ROUSSEAU D. Microstructure and rheology design in protein-protein-polysaccharide composites[J]. *Food Hydrocolloids*, 2015, 50: 84–93.
- [29] YUAN X Y, JIANG W, ZHANG D W, et al. Textural, sensory and volatile compounds analyses in formulations of sausages analogue elaborated with edible mushrooms and soy protein isolate as meat substitute[J]. *Foods*, 2021, 11(1): 52.
- [30] ZHAO Y F, ZHOU C Y, NING J W, et al. Effect of fermentation by *Pediococcus pentosaceus* and *Staphylococcus carnosus* on the metabolite profile of sausages[J]. *Food Res Int*, 2022, 162: 112096.
- [31] WU S M, PENG Y L, XI J Z, et al. Effect of sourdough fermented with corn oil and lactic acid bacteria on bread flavor[J]. *LWT*, 2022, 155: 112935.
- [32] KLOST M, GIMÉNEZ-RIBES G, DRUSCH S. Enzymatic hydrolysis of pea protein: Interactions and protein fractions involved in fermentation induced gels and their influence on rheological properties[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 105: 105793.
- [33] TAO A, ZHANG H, DUAN J, et al. Mechanism and application of fermentation to remove beany flavor from plant-based meat analogs: A mini review[J]. *Front Microbiol*, 2022, 13: 1070773.

Optimization of Protein Ratios in Plant-based Sausages and Effect of Fermenters on Their Flavors

Ning Jiawen¹, Nie Qing¹, Zhou Yanan¹, Wang Shu¹, Ji Lili^{1*}, Wang Bo¹, Zhang Yuxian², Ren Chunping³

¹Meat Processing Key Lab of Sichuan Province, Chengdu University, Chengdu 610106

²Bazhong City Bashan Herding Co., Bazhong 636718, Sichuan

³Sichuan Gaojin Food Co., Ltd, Suining 629018, Sichuan)

Abstract In order to investigate the optimal proportions of soybean isolate protein (SPI) and pea isolate protein (PPI) added in plant-based sausage making and the effects of different fermenters on the flavor of this product, the pH, color difference, texture, moisture content, processing characteristics and microstructure of plant-based sausages made by mixing different proportions of SPI and PPI were examined and the optimal proportions of sausages made with the additions of fermenters B (*Lactobacillus sakei*, *Staphylococcus carnosus*) and fermenter L (*Pediococcus acidilactici*, *Pediococcus pentosaceus*), respectively, and their volatile flavor substances were examined and analyzed by quantitative descriptive analysis (QDA). The results showed that the plant-based sausages with SPI:PPI = 9:16 (SP9) had the best physicochemical properties, with hardness, chewiness, and elasticity values of $6\,470\pm 436$, $2\,731\pm 130$, and 0.89 ± 0.04 , respectively, and that both the fermenter B and the fermenter L significantly enhanced the content of volatile flavor substances of the plant-based sausages, with the L group ($3\,394.30\text{ mg/kg}$) and the B group ($1\,945.77\text{ mg/kg}$) had significantly higher content of total flavor substances than that of CT group ($1\,197.22\text{ mg/kg}$) and may have inhibited the fishy flavor substances of plant-based sausages. Conclusion: The plant-based sausages made from SPI and PPI have good tissue structure and processing characteristics, and fermentation can be used to significantly enhance the flavor of sausages.

Keywords soybean isolate protein; pea isolate protein; fermentation; physicochemical properties; flavor