

添加非肉蛋白对菜籽油替代肥膘猪肉糜品质的影响

彭爽, 王长远*

(黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江 大庆 163319)

摘要: 以菜籽油代替猪肉糜传统配方中的背膘, 再分别添加大豆分离蛋白(soya protein isolate, SPI)、豌豆蛋白(pea protein, PP)和乳清分离蛋白(whey protein isolate, WPI)替代1.5%肉蛋白, 研究不同蛋白质含量(12%、14%)下3种非肉蛋白对猪肉糜脂肪损失及品质变化的影响。结果表明: 在3种非肉蛋白中, PP的乳化能力最差(48.78 m²/g), SPI乳化能力最好(59.65 m²/g); 与全肉对照组相比, 所有非肉蛋白处理组的蒸煮损失率均较低, 当蛋白质含量从12%提高到14%时, 添加非肉蛋白组的蒸煮损失率均增加; 在12%和14%蛋白质含量下, 添加SPI后猪肉糜的乳化特性有所提升, 并更加稳定; 质构分析结果表明, 蛋白质含量的提高增加了猪肉糜硬度、黏聚性和胶着度, WPI组硬度最高, PP组硬度最低, 表明非肉蛋白对质构的改性作用很强; 与全肉对照组相比, 添加非肉蛋白会导致产品的亮度值升高, 红度值降低; 此外, 添加WPI制备的猪肉糜乳脂层蛋白质含量最低。

关键词: 菜籽油; 乳化稳定性; 非肉蛋白; 猪肉糜; 品质

Effect of Non-Meat Protein on the Quality of Pork Mince with Rapeseed Oil as a Fat Substitute

PENG Shuang, WANG Changyuan*

(College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract: In this study, rapeseed oil was used to replace back fat in traditional pork mince, and soy protein isolate (SPI), pea protein (PP) and whey protein isolate (WPI) were individually added to replace 1.5% lean meat. The effects of these three non-meat proteins on the fat loss and quality changes of two formulations with different protein levels (12% and 14%) were compared. The results showed that among the three non-meat proteins, PP had the worst emulsification ability (48.78 m²/g), and SPI had the best emulsification ability (59.65 m²/g). Compared with the control group with 100% lean meat, all the non-meat protein treatment groups had lower cooking losses. When the protein level increased from 12% to 14%, the cooking loss of the non-meat protein groups increased. At either protein level, adding SPI improved the emulsification characteristics and stability of mince. The results of texture analysis showed that the increase in protein levels increased the hardness, cohesiveness and adhesiveness. Addition of WPI and PP resulted in the highest and lowest hardness, respectively, indicating that the non-meat proteins has a strong effect on texture modification. Compared with the control group, addition of the non-meat proteins increased the *L** value of the product and decrease the *a** value. In addition, the mince prepared with WPI had the lowest protein content in the emulsified fat layer.

Keywords: rapeseed oil; emulsion stability; non-meat protein; pork mince; quality

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20201028-256

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2020) 11-0027-05

引文格式:

彭爽, 王长远. 添加非肉蛋白对菜籽油替代肥膘猪肉糜品质的影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(11): 27-31. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20201028-256. <http://www.rlyj.net.cn>

PENG Shuang, WANG Changyuan. Effect of non-meat protein on the quality of pork mince with rapeseed oil as a fat substitute[J]. Meat Research, 2020, 34(11): 27-31. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20201028-256. <http://www.rlyj.net.cn>

收稿日期: 2020-10-28

第一作者简介: 彭爽(1993—)(ORCID: 0000-0002-3451-8372), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品加工与安全。

E-mail: pengshuang0622@163.com

*通信作者简介: 王长远(1976—)(ORCID: 0000-0001-7692-286X), 男, 教授, 博士, 研究方向为粮食、油脂及植物蛋白工程。E-mail: byndwcy@163.com

添加非肉类蛋白质是为了改善水分结合、稳定脂肪和控制成本^[1-2]，然而，非肉类蛋白质的功能可能有很大不同。乳清蛋白和大豆蛋白是肉类工业常用的非肉类蛋白添加剂。乳清蛋白是一种具有表面活性的球状蛋白质，可以吸附在其展开的脂肪-水界面，并有可能帮助稳定食物基质中的脂肪球^[3-4]，其在70℃以上加热时能够形成热诱导凝胶^[5]，这对肉制品的稳定性和质地有积极影响。这些功能特性使乳清蛋白成为一种有效的肉制品改良剂，通常用于改善肉制品的乳化特性、持水能力和质地^[6]。大豆分离蛋白（soy protein isolate, SPI）富含蛋白质，纤维含量低，具有良好的乳化能力。Lin等^[7]指出，SPI可以提高肉制品的乳化能力和稳定性。与SPI相比，豌豆蛋白（pea protein, PP）的氨基酸组成更均衡，同时其不存在致敏问题，但存在应用领域窄、附加值低的问题。PP主要由1S球蛋白、7S球蛋白和清蛋白组成，其含量分别约为50%、20%和26%^[8]。目前，关于PP在肉制品领域的应用研究相对较少。白一凡等^[9]的研究结果表明，PP的加工性能不及SPI，但4%以下的添加量可以对乳化香肠的品质产生积极的影响。沙金华^[8]发现，添加SPI的火腿肠硬度优于添加PP的火腿肠，但是在弹性方面PP比SPI的作用明显。

脂肪稳定性在肉糜和相关肉制品的生产中至关重要^[10]。脂肪通过乳化和界面蛋白膜的形成^[11]，或被困在由特定蛋白质-蛋白质相互作用产生的连续肉蛋白基质中而稳定^[12]。一些研究人员发现，在乳化肉制品中用植物油代替动物脂肪时存在脂肪稳定性问题^[13]。Youssef等^[14]研究指出，在用菜籽油（添加量25%）制备的法兰克福香肠产品中，将肉蛋白含量提高到14%以上时，产品乳化稳定性降低，这可能是由于蛋白质含量升高形成了高度聚集的基质；此外蛋白质可能不足以覆盖大面积的脂肪球（在14%蛋白质含量下使用菜籽油代替牛肉脂肪时，脂肪球大小从4 111 μm²减少至64 μm²），这反过来又会对较小的菜籽油脂脂肪球产生更大压力，使其结合，并使它们更容易通过基质内产生的通道移出蛋白质基质，同时Schmidt等^[15]认为这些通道还可以让水分从蛋白质基质中逸出。

本研究选用3种非肉蛋白替代部分肉蛋白（1.5%），观察高脂肪损失及品质变化的潜在原因。旨在探讨非肉蛋白（SPI、PP和乳清分离蛋白（whey protein isolate, WPI））在不同添加水平下对菜籽油制备的猪肉糜稳定性的影响，并评估三者对降低脂肪损失的潜在贡献。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜猪里脊（蛋白质含量20.4%、水分含量72.2%、脂肪含量6.5%；宰后32 h） 当地双汇冷鲜肉专柜；菜籽油

当地新玛特超市；SPI（蛋白质含量90%） 临沂山松生物制品有限公司；PP（蛋白质含量90%） 实验室自制；WPI（蛋白质含量90%） 美国Milk Specialties Global公司；复合磷酸盐 河南恩苗食品有限公司。

1.2 仪器与设备

BJRJ-98A绞肉机、BVBj-30F真空搅拌机 浙江杭州艾博机械工程有限公司；Centrifuge 5920R离心机 德国Eppendorf公司；VC6801热电偶温度计 深圳市驿生胜利科技有限公司；真空包装机、DKZ-1水浴锅 上海一恒科学仪器有限公司；TA-XT2i质构分析仪 英国Smsta公司；CR-400色差计 日本Konica-Minolta公司；GE Whatman 1号定性滤纸 美国通用电气公司。

1.3 方法

1.3.1 猪肉糜的制备

将猪里脊均匀切成3 cm×3 cm×3 cm的肉块，添加2.00%盐和0.25%复合磷酸盐，用手搅拌均匀后放入绞肉机内绞成肉馅（3 mm），静止5 min后将各组肉馅分别置于搅拌机内顺时针搅拌，边搅拌边加入菜籽油、非肉蛋白和冰水，每组共搅拌10 min。共设置5组，配方如表1所示。搅拌完成后，各组猪肉糜分别进行抽真空处理备用。

表1 各组猪肉糜的配方
Table 1 Formulation of pork minces

蛋白含量/%	组别	SPI添加量/g	PP添加量/g	WPI添加量/g	猪肉添加量/g	菜籽油添加量/g	冰水添加量/g
12	C0				58.82	22	16.93
	T1	1.67			51.47	22	22.61
	T2		1.67		51.47	22	22.61
	T3			1.67	51.47	22	22.61
	C1				68.63	22	7.12
14	T4	1.67			61.27	22	14.48
	T5		1.67		61.27	22	14.48
	T6			1.67	61.27	22	14.48

1.3.2 熟猪肉糜的制备

将经过抽真空处理的各组生猪肉糜35 g，填充到50 mL离心管中，低速离心30 s，清除猪肉糜中的残留气泡；然后将装有猪肉糜的离心管置于72℃水浴中，使用热电偶温度计监测样品的芯部温度，样品芯部温度达到72℃后继续保持10 min，取出冷水浴冷却至室温备用。

1.3.3 蒸煮损失率测定

从各组冷却至室温的熟猪肉糜样品中各取3份，测定每支离心管内肉糜中分离的液体质量（*m*, g），按下式计算蒸煮损失率。

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{m}{35 \text{ g}} \times 100$$

1.3.4 脂肪损失率测定

参照Bloukas等^[16]的方法测定各组样品的脂肪损失率。

1.3.5 全物性质构分析

使用质构仪在20℃条件下测定样品质构参数,包括硬度、咀嚼度、胶着度、弹性和黏聚性。选用P50探头,测前速率1.0 mm/s、测定速率1.0 mm/s、测后速率1.0 mm/s,最大负荷2.0 kg,压缩量50%。

1.3.6 色泽测定

使用色差计在熟猪肉糜切面上测定。样品的色泽表示为亮度值(L^*)、红度值(a^*)和黄度值(b^*)。

1.3.7 非肉蛋白乳化性测定

参照Wang Xiansheng等^[17]的方法测定3种非肉蛋白的乳化活性指数(emulsifying activity index, EAI)及乳化稳定性指数(emulsion stability index, ESI)。

1.3.8 脂肪滴表面蛋白质的提取与测定

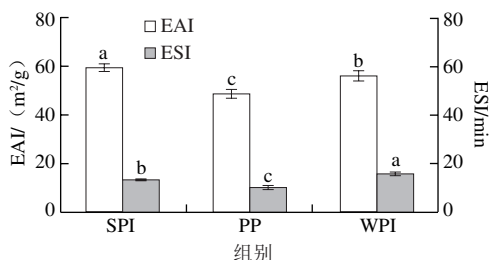
参照Gordon等^[18]的方法,采用快速蛋白质提取程序。用玻璃棒将生肉糜与等离子溶液1:1混合30 s,浆液30 000×g离心20 min,将其分成3层:包含脂肪和与脂肪结合的蛋白质的乳脂相、水(盐水)相和残留相。除去乳脂层,并将乳脂层重新悬浮在相同盐溶液中,使盐溶液中乳脂含量为21.5%。将重悬的乳脂层在5℃条件下15 000×g离心60 min,用刮刀小心地从离心管中取出含有蛋白包被的脂肪滴的乳脂层,并铺在滤纸上,用定性滤纸吸附附着在脂肪上的所有血清^[19]。使用Dumas燃烧法测定干乳脂相的蛋白质含量。

1.4 数据处理

各项指标重复测定3次,所得数据使用SPSS 23.0软件的常规线性模型进行分析,使用Duncan's检验分析各组数据的差异显著性($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 3种非肉蛋白乳化能力



小写字母不同,表示同一指标组间差异显著($P<0.05$)。

图1 SPI、PP和WPI的EAI及ESI比较

Fig. 1 Comparison of EAI and ESI of SPI, PP and WPI

由图1可知, SPI、PP和WPI三者间的EAI及ESI均具有显著差异($P<0.05$),其中SPI的EAI最高,为59.65 m^2/g , PP的EAI最低,为48.78 m^2/g , WPI的EAI为56.38 m^2/g , WPI的ESI最高,为15.75 min, PP的ESI最

低,为10.20 min, SPI的ESI为13.50 min。结果表明,三者中SPI的乳化能力最强, PP的乳化能力最弱。

2.2 添加非肉蛋白对猪肉糜蒸煮损失和脂肪损失的影响

表2 添加非肉蛋白对猪肉糜蒸煮损失率和脂肪损失率的影响

Table 2 Effect of non-meat proteins on cooking loss and fat loss of pork mince

指标	蛋白含量12%				蛋白含量14%			
	C0组	T1组	T2组	T3组	C1组	T4组	T5组	T6组
蒸煮损失率/%	3.56±0.04 ^{ab}	0.98±0.02 ^{cd}	2.12±0.02 ^{bc}	1.66±0.01 ^{cd}	8.81±0.10 ^{ab}	2.88±0.02 ^{cd}	4.32±0.03 ^{ab}	3.75±0.04 ^{ab}
脂肪损失率/%	1.18±0.05 ^{ab}	0.10±0.01 ^{cd}	0.19±0.01 ^{cd}	0.11±0.00 ^{cd}	6.54±0.07 ^{ab}	0.41±0.02 ^{cd}	2.82±0.06 ^{ab}	1.21±0.02 ^{cd}

注:同行小写字母不同,表示同一蛋白含量下组间差异显著($P<0.05$);同行大写字母不同,表示同组在不同蛋白含量下差异显著($P<0.05$)。表3、4同。

由表2可知,无论是蛋白含量12%还是蛋白含量14%,所有添加非肉蛋白处理组的蒸煮损失率与全肉对照组相比均显著降低($P<0.05$),这表明非肉蛋白参与了脂肪和水分的保持。与Lauck^[20]的研究结果一致,该研究表明, SPI和乳清蛋白的脂肪结合能力优于肉蛋白。Serdaroglu等^[21]指出,添加大豆蛋白和乳清蛋白可提高熟牛肉香肠的乳化稳定性。在12%和14%蛋白含量下,添加SPI组和添加WPI组猪肉糜的蒸煮损失率和脂肪损失率与添加PP组相比显著降低($P<0.05$),这可能与三者的乳化能力不同(图1)有关, PP的乳化能力显著较低($P<0.05$)。此外,在2个蛋白含量下,添加SPI组样品的蒸煮损失率和脂肪损失率均最低($P<0.05$)。

蛋白含量12%时,添加SPI组和添加WPI组猪肉糜的脂肪损失率无显著差异。当蛋白含量由12%增加至14%时,对照组和处理组的蒸煮损失率及脂肪损失率均显著升高($P<0.05$)。Youssef等^[14]研究表明,将肉蛋白水平提高至14%以上会增加用25%菜籽油制备的乳化牛肉制品的脂肪损失。这可能是由于随着更多可溶性蛋白的出现,脂肪小球周围的界面蛋白膜的厚度和刚度增加。Jones等^[11]提出,厚且刚性的界面蛋白膜阻碍脂肪在加热过程中膨胀,而当界面蛋白膜承受压力过高时会发生破裂,形成破裂孔,此时会导致乳脂相中脂肪的脱离及乳化能力的下降。另一个可能性是,高蛋白质含量会形成较稠密的高度聚集的蛋白质网络(在烹饪过程中),这可能会对脂肪小球施加压力,使其发生聚集,并会从蛋白质基质中被挤出。

2.3 添加非肉蛋白对猪肉糜质构的影响

表3 添加非肉蛋白对猪肉糜质构的影响

Table 3 Effect of non-meat proteins on texture properties of pork mince

指标	蛋白含量12%				蛋白含量14%			
	C0组	T1组	T2组	T3组	C1组	T4组	T5组	T6组
硬度/N	28.77±0.88 ^{ab}	29.91±0.92 ^{ab}	23.59±1.34 ^{ab}	35.06±1.29 ^{ab}	39.32±1.12 ^{ab}	47.23±1.47 ^{ab}	33.85±0.91 ^{ab}	56.21±2.36 ^{ab}
弹性	0.59±0.01 ^{ab}	0.56±0.01 ^{ab}	0.55±0.01 ^{ab}	0.56±0.01 ^{ab}	0.61±0.00 ^{ab}	0.57±0.01 ^{ab}	0.57±0.01 ^{ab}	0.58±0.01 ^{ab}
黏聚性	0.31±0.01 ^{ab}	0.32±0.01 ^{ab}	0.31±0.01 ^{ab}	0.30±0.01 ^{ab}	0.31±0.01 ^{ab}	0.30±0.01 ^{ab}	0.32±0.01 ^{ab}	0.31±0.01 ^{ab}
咀嚼度/mm	12.66±0.46 ^{ab}	13.21±0.72 ^{ab}	10.35±0.19 ^{ab}	15.04±0.76 ^{ab}	17.55±0.53 ^{ab}	18.40±0.86 ^{ab}	15.91±0.34 ^{ab}	21.17±0.63 ^{ab}
胶着度/N	13.72±0.31 ^{ab}	14.02±0.90 ^{ab}	11.60±0.22 ^{ab}	17.34±0.65 ^{ab}	20.32±0.69 ^{ab}	21.53±1.09 ^{ab}	17.44±0.58 ^{ab}	26.48±0.74 ^{ab}

由表3可知,猪肉糜硬度受非肉蛋白(SPI、PP和WPI)和增加的肉蛋白含量(12%~14%)的影响,这些结果表明,非肉蛋白通过改变系统的组成部分以及肉和非肉蛋白之间可能的相互作用影响凝胶的形成。同一蛋白含量下,WPI组的硬度最高,PP组最低,同时,PP组的硬度显著低于全肉蛋白的对照组($P<0.05$),这也表明肉蛋白与PP之间可能发生拮抗作用。这些结果与Mccord等^[22]的结果一致,他们在肉蛋白凝胶结构(蛋白质凝胶质量浓度6 g/100 mL)中观察到植物蛋白引起的弱化效应。Ensor等^[23]的研究结果显示,与全肉对照组相比,将SPI添加到全脂诺克香肠中会增加其硬度。在本研究中,与WPI组相比,SPI组的硬度较低,这表明SPI与肉蛋白的分子相互作用弱于WPI。同时,当蛋白含量由12%增加至14%时,各组猪肉糜的硬度显著增加($P<0.05$),这是由于配方中瘦肉添加量增加导致的。

在12%和14%蛋白质含量下,与添加非肉蛋白替代品相比,全肉对照组弹性显著更高。这可能是因为非肉蛋白可以容纳更多的水和脂肪,或者它们能够填充肉蛋白基质内的间隙,从而降低猪肉糜的弹性。对照组和非肉蛋白处理组猪肉糜黏聚性无显著差异。添加WPI的猪肉糜咀嚼度显著高于对照组及PP组和SPI组($P<0.05$),PP组咀嚼度显著低于对照组($P<0.05$),SPI组与对照组相近,这可能与三者形成的凝胶结构大小不同有关。当蛋白含量由12%增加至14%时,各组猪肉糜咀嚼度均显著增加($P<0.05$)。此外,各组猪肉糜胶着度的变化趋势与咀嚼度完全相同。相比之下,Ensor等^[23]的结果与本实验结果有所不同,他们发现与添加2.0%乳清蛋白浓缩物相比,在全脂克诺斯特香肠中添加2.0% SPI可增加咀嚼性。

总体来说,蛋白质含量的增加会导致更高的硬度、咀嚼度和黏聚性。这是由于蛋白质含量的增加会使蛋白质基质更密集,从而形成更坚硬的结构。这与Camou等^[24]的观点一致,他们认为盐溶性肌肉蛋白的凝胶强度随着蛋白质浓度的增加而增加。Rakosky^[25]研究表明,香肠的硬度取决于配方中的瘦肉含量。

2.4 添加非肉蛋白对猪肉糜色泽的影响

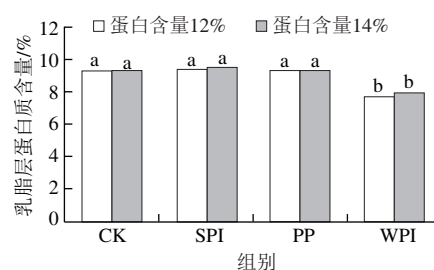
表4 添加非肉蛋白对猪肉糜色泽的影响
Table 4 Effect of non-meat proteins on color of pork mince

指标	蛋白含量12%				蛋白含量14%			
	C0组	T1组	T2组	T3组	C1组	T4组	T5组	T6组
L^*	55.84±0.40 ^{ab}	61.57±1.01 ^{ab}	57.12±0.52 ^{ab}	59.55±0.33 ^{ab}	51.89±0.66 ^{ab}	59.02±0.18 ^{ab}	53.56±0.31 ^{ab}	55.75±0.28 ^{ab}
a^*	5.34±0.04 ^{ab}	3.85±0.18 ^{ab}	3.78±0.13 ^{ab}	3.82±0.15 ^{ab}	6.31±0.10 ^{ab}	4.33±0.12 ^{ab}	4.36±0.08 ^{ab}	4.39±0.04 ^{ab}
b^*	12.12±0.20 ^{ab}	12.13±0.14 ^{ab}	12.11±0.08 ^{ab}	12.11±0.31 ^{ab}	11.69±0.09 ^{ab}	12.11±0.21 ^{ab}	12.10±0.15 ^{ab}	12.09±0.25 ^{ab}

由表4可知,当蛋白含量从12%增加至14%时,猪肉糜的色泽变得更暗和更红,即 a^* 更高, L^* 更低。这是红肉含量的增加导致的(即肌红蛋白含量较高)。与对照组相比,3个非肉蛋白处理组样品的色泽更浅、 a^* 更低,这是由于SPI、PP和WPI自身颜色较浅,不含肌

红蛋白。另外,非肉蛋白处理组的低蒸煮损失率也是原因之一。在同一蛋白含量下,SPI组显示出最高的 L^* ($P<0.05$),这是由于该组样品能够保持更多的水分,全肉对照组 L^* 最低($P<0.05$)。Gnanasambandam等^[26]的研究结果显示,用5%和7%大豆蛋白制备的法兰克福香肠,其 a^* 明显降低。Hughes等^[27]还指出,乳清蛋白的添加增加了法兰克福香肠的 L^* ,降低了 a^* 。Atughonu等^[28]研究表明,将3.5%乳清蛋白浓缩物添加到普通法兰克福牛肉和猪肉香肠中时, L^* 显著增加, a^* 下降。蛋白含量12%时,各组间的 b^* 无显著差异,而当蛋白含量从12%增加至14%时,全肉对照组的 b^* 显著降低($P<0.05$),并显著低于添加非肉蛋白组($P<0.05$),这是由于瘦肉含量增加导致的。

2.5 添加非肉蛋白对乳脂层蛋白质含量的影响



小写字母不同,表示同一蛋白含量下组间差异显著($P<0.05$)。

图2 添加非肉蛋白对乳脂层蛋白质含量的影响

Fig. 2 Effect of non-meat protein addition on protein content in emulsified fat layer

由图2可知,当蛋白含量从12%增加至14%后,全肉蛋白对照组的乳脂层蛋白质含量无显著变化,而其对应的蒸煮损失率却明显增加(表1),这说明导致乳化稳定性显著下降的原因并不是没有足够的蛋白质覆盖脂肪球较大的表面积,致使它们更容易通过蛋白质基质内产生的通道移出,更可能是由于蛋白质含量升高形成了高度聚集的基质导致的^[14]。蛋白含量14%时,与PP组相比,SPI组的乳脂层蛋白质含量显著增加($P<0.05$)。这可能与SPI的高乳化能力或PP组(与SPI相比)的脂肪损失率更高有关,后者会导致附着在剩余脂肪球上的蛋白质减少。在12%和14%蛋白质含量下,与其他组相比,WPI组猪肉糜乳脂层蛋白质含量均显著最低($P<0.05$)。这可能是由于乳清蛋白分离物优先吸附到脂肪球上,从而阻断了肌原纤维蛋白某些位点的结合。这与Imm等^[29]的观点一致,该研究表明,在用鸡胸肉肌球蛋白和植物油制备的乳状液中添加柔性蛋白质(如乳蛋白分离物)时,肌球蛋白并入乳脂层的困难更大。此外,本实验结果中值得注意的是,无论12%蛋白含量还是14%蛋白含量,SPI组的乳脂层蛋白质含量均略高于对照组,但在统计学上并无显著差异,其中可能存在更深层次的机理,值得后期深入研究。



各组在蛋白质含量从12%增加至14%后, 乳脂层蛋白质含量没有显著差异。Youssef等^[30]的研究结果显示, 当用菜籽油制备的猪肉糜中总蛋白含量从8%提高到14%时, 乳脂相吸附的蛋白质含量显著增加。但本研究中并未出现这一现象, 这种差异可能是牛肉制品与猪肉制品乳脂层中的蛋白质含量最高限度不同造成的, 具体原因还需进一步深入研究探讨。

3 结 论

用菜籽油制作的猪肉糜中添加1.5%非肉蛋白代替瘦肉后, 会在一定程度上降低样品的蒸煮损失和脂肪损失, 弹性也会下降。与全肉蛋白对照组相比, 添加非肉蛋白的处理组猪肉糜具有较高的乳化特性, 乳化稳定性提高, 其中添加SPI制备的猪肉糜乳化特性最好, 添加PP制备的猪肉糜乳化特性最差。同时, 添加不同种类的非肉蛋白添加剂后, 各组猪肉糜的质构特性也不同, 添加WPI制备的猪肉糜具有更高的硬度、咀嚼度和胶着度。非肉蛋白处理组猪肉糜的颜色较浅, a^* 较低。添加WPI制备的猪肉糜乳脂层蛋白质含量最低。此外, 当猪肉糜中蛋白含量从12%增加到14%时, 会导致较高的蒸煮损失和脂肪损失, 猪肉糜的硬度、咀嚼度和胶着度也会升高。

参考文献:

- HSU S Y, SUN L Y. Comparisons on 10 non-meat protein fat substitutes for low-fat Kung-wans[J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 74(1): 47-53. DOI:10.1016/j.foodeng.2005.02.022.
- ANDRÉS S, ZARITZKY N, CALIFANO A. The effect of whey protein concentrates and hydrocolloids on the texture and colour characteristics of chicken sausages[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2010, 41(8): 954-961. DOI:10.1111/j.1365-2621.2005.01152.x.
- HUFFMAN L M. Processing whey protein for use as a food ingredient[J]. *Food Technology*, 1996, 50(2): 49-52. DOI:10.1177/108201329600200106.
- SUN C, GUNASEKARAN S, RICHARDS M P. Effect of xanthan gum on physicochemical properties of whey protein isolate stabilized oil-in-water emulsions[J]. *Food Hydrocolloids*, 2007, 21(4): 555-564. DOI:10.1016/j.foodhyd.2006.06.003.
- LANGLEY K R, GREEN M L. Compression and impact strength of gels, prepared from fractionated whey proteins, in relation to composition and microstructure[J]. *Journal of Dairy Research*, 1989, 56(2): 275-284. DOI:10.1017/S0022029900026480.
- SHIE J S. Application of preheated whey protein polymers in low fat beef frankfurters[D]. East Lansing: Michigan State University, 2004.
- LIN K W, MEI M Y. Influences of gums, soy protein isolate, and heating temperatures on reduced at meat batters in a model system[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 65(1): 48-52. DOI:10.1111/j.1365-2621.2000.tb15954.x.
- 沙金华. 豌豆蛋白的制备、性质及应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009. DOI:10.7666/d.y1584855.
- 白一凡, 王辉, 杨震, 等. 豌豆蛋白加工特性及在乳化香肠中的应用[J]. *肉类研究*, 2014, 28(12): 14-16.
- ANDERSSON A, ANDERSSON K, TORNERG E. A comparison of fat-holding between beef burgers and emulsion sausages[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2000, 80(5): 555-560. DOI:10.1002/(SICI)1097-0010(200004)80:53.0.CO;2-1.
- JONES K W, MANDIGO R W. Effects of chopping temperature on the microstructure of meat emulsions[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 47(6): 1930-1935. DOI:10.1111/j.1365-2621.1982.tb12916.x.
- LEE C M, CARROLL R J, ABDOLLAHI A. A microscopical study of the structure of meat emulsions and its relationship to thermal stability[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 46(6): 1789-1793. DOI:10.1111/j.1365-2621.1981.tb04486.x.
- BLOUKAS J G, PANERAS E D. Substituting olive oil for pork backfat affects quality of low-fat frankfurters[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 58(4): 705-709. DOI:10.1111/j.1365-2621.1993.tb09339.x.
- YOUSSEF M K, BARBUT S. Effects of protein level and fat/oil on emulsion stability, texture, microstructure and color of meat batters[J]. *Meat Science*, 2009, 82(2): 228-233. DOI:10.1016/j.meatsci.2009.01.015.
- SCHMIDT R H, MORRIS H A. Gelation properties of milk proteins, soy proteins and blended protein systems[J]. *Food Technology*, 1984, 38(5): 85-96.
- BLOUKAS I, HONIKEL K O. The influence of additives on the oxidation of pork back fat and its effect on water and fat binding in finely comminuted batters[J]. *Meat Science*, 1992, 32(1): 31-43. DOI:10.1016/0309-1740(92)90015-v.
- WANG Xiansheng, TANG Chuanhe, LI Biansheng, et al. Effects of high-pressure treatment on some physicochemical and functional properties of soy protein isolates[J]. *Food Hydrocolloids*, 2008, 22(4): 560-567. DOI:10.1016/j.foodhyd.2007.01.027.
- GORDON A, BARBUT S. Meat batters: effect of chemical modification on protein recovery and functionality[J]. *Food Research International*, 1997, 30(1): 5-11. DOI:10.1016/S0963-9969(95)00022-4.
- HUNT J A, DALGLEISH D G. Adsorption of whey-protein isolate and caseinate in soya oil-in-water emulsions[J]. *Food Hydrocolloids*, 1994, 8(2): 175-187. DOI:10.1016/S0268-005X(09)80042-8.
- LAUCK R M. The functionality of binders in meat emulsions[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 40(4): 736-740. DOI:10.1111/j.1365-2621.1975.tb00544.x.
- SERDAROGLU M, SAPANCI-ÖZSUMER M. Effects of soy protein, whey powder and wheat gluten on quality characteristics of cooked beef sausages formulated with 5, 10 and 20% fat[J]. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 2003, 6: 1-9.
- MCCORD A, SMYTH A B, O'NEILL E E. Heat-induced gelation properties of salt-soluble muscle proteins as affected by non-meat proteins[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 63(4): 580-583. DOI:10.1111/j.1365-2621.1998.tb15789.x.
- ENSOR S A, MANDIGO R W, CALKINS C R, et al. Comparative evaluation of whey protein concentrate, soy protein isolate and calcium-reduced nonfat dry milk as binders in an emulsion-type sausage[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 52(5): 1155-1158. DOI:10.1111/j.1365-2621.1987.tb14032.x.
- CAMOU J P, SEBRANEK J G. Gelation characteristics of muscle proteins from pale, soft, exudative (PSE) pork[J]. *Meat Science*, 1991, 30(3): 207-220. DOI:10.1016/0309-1740(91)90067-Z.
- RAKOSKY J. Soy products for the meat industry[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1970, 18(6): 1005-1009. DOI:10.1021/jf60172a032.
- GNANASAMBANDAM R, ZAYAS J F. Functionality of wheat germ protein in comminuted meat products as compared with corn germ and soy proteins[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 57(4): 829-833. DOI:10.1111/j.1365-2621.1992.tb14304.x.
- HUGHES E, MULLEN A M, TROY D J. Effects of fat level, tapioca starch and whey protein on frankfurters formulated with 5% and 12% fat[J]. *Meat Science*, 1998, 48(1/2): 169-180. DOI:10.1016/S0309-1740(97)00087-9.
- ATUGHONU A G, ZAYAS J F, HERALD T J, et al. Thermo-rheology, quality characteristics, and microstructure of frankfurters prepared with selected plant and milk additives[J]. *Journal of Food Quality*, 2010, 21(3): 223-238. DOI:10.1111/j.1745-4557.1998.tb00518.x.
- IMM J Y, REGENSTEIN J M. Interaction of commercial dairy proteins and chicken breast myosin in an emulsion system[J]. *Journal of Food Science*, 1997, 62(5): 967-975. DOI:10.1111/j.1365-2621.1997.tb15017.x.
- YOUSSEF M K, BARBUT S. Physicochemical effects of the lipid phase and protein level on meat emulsion stability, texture, and microstructure[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 75(2): S108-S114. DOI:10.1111/j.1750-3841.2009.01475.x.