

植物肉的蛋白质消化特性研究

陈楚玲, 邓宁华, 罗梅, 林全全*, 韩剑众

(浙江工商大学食品与生物工程学院 浙江省食品安全重点实验室 杭州 310018)

摘要 近年来,植物肉受到世界范围的广泛关注,越来越多的食品巨头开始生产、销售植物肉。然而,其消化吸收特性还不明确,亟待研究。本文以基于大豆蛋白的植物肉为对象,通过体外模拟消化,研究其蛋白质消化特性,并与市售猪肉和大豆蛋白进行比较。得出以下结论:植物肉与猪肉的组织化度相近,而前者的纤维状结构较后者更为致密,弹性和内聚性也更佳。在模拟消化过程中,植物肉粒径最大,SDS-PAGE、可溶性氮含量和游离氨基酸生成量的结果均显示:植物肉的蛋白质水解程度低于猪肉和大豆分离蛋白,植物肉中的纤维结构一定程度上抑制了蛋白质的消化。

关键词 植物肉;猪肉;蛋白质;纤维结构;体外消化

文章编号 1009-7848(2022)11-0096-07 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.11.011

蛋白质是人体日常活动所必需的营养物质,目前可体外摄入的蛋白质主要有动物蛋白和植物蛋白。动物蛋白主要从动物肉中获取,其较植物蛋白含有更为完整和丰富的人类必需氨基酸并拥有更高的营养价值,是优质蛋白的主要来源。随着经济的发展和水平的提高,人们对肉类食品的需求呈爆炸性增长。据联合国粮农组织预计,2050 年肉类消费将会增加 1 倍^[1]。目前,全球肉类生产能力已接近其最大值^[2],传统养殖业的供给侧面临严峻考验。此外,动物蛋白所含有的大量脂肪可能会给人类健康带来极大威胁。为应对这些挑战,必须要开发新产品来替代动物肉^[3]。在此背景下,植物基人造肉(简称植物肉)应运而生。组织化植物蛋白是植物肉最主要的配料,它是以植物蛋白为主要原料,以淀粉、油脂、纤维素等为主要辅料,采用热凝固法、纤维纺丝法、挤压等方法制得的类似动物肉纤维状结构和口感的蛋白产品^[4]。

在未来 5~20 年间,植物肉市场份额预计将逐渐增长至全球肉类市场的 10%~25%。这意味着在不远的将来,植物肉可能成为动物肉的重要替代品。因此,有必要对其蛋白质进行消化营养评价研究。大量研究表明,食品结构与其消化特性有极为突出且重要的相关性^[5]。纤维结构是组织化植物蛋

白最重要的结构属性^[6],而目前并未明确纤维结构与蛋白质消化特性之间的联系,因而加强此方面的研究就显得尤为关键。本项目拟以组织化大豆蛋白作为植物肉,通过分析植物肉与猪肉的纤维结构特性的差异,以及体外消化过程中蛋白质、可溶性氮等含量和粒径的变化,分析植物肉的纤维结构与蛋白质消化特性的相关性;同时,探究纤维化对蛋白消化特性的影响机制,为开发更接近猪肉蛋白质营养价值的植物肉提供参考具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

植物肉(组织化大豆蛋白)和大豆分离蛋白(SPI)由山东万得福实业集团有限公司提供。猪肉(猪大排),购于杭州永辉超市。唾液淀粉酶、胃蛋白酶、胰酶、过硫酸铵、L-丝氨酸和十二烷基硫酸钠, Sigma 试剂公司。牛胆盐,国药集团化学试剂有限公司。30% Acr-Bis,上海双螺旋生物有限公司。低分子量标准蛋白质(D530S),TakaRa 公司。

MS3000 型激光粒度分析仪,英国马尔文仪器有限公司;NE910 型荧光正置显微镜,宁波永新光学股份有限公司;纤检 KDN-816 型定氮仪和 HYP-320 型消化炉,上海纤检仪器有限公司;TA-XT Plus 型组织分析仪,英国 Stable Micro Systems 公司;UV2100 型紫外-可见分光光度计,上海尤尼柯仪器有限公司。

收稿日期: 2021-11-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(31901686)

第一作者: 陈楚玲,女,本科生

通信作者: 林全全 E-mail: quanquanlin@zjgsu.edu.cn

1.2 方法

1.2.1 样品处理

1.2.1.1 制备植物肉 取约40 g组织化大豆蛋白,使其完全浸泡在200 mL蒸馏水中30 min,取出并沥干表面水分,备用。

1.2.1.2 制备熟猪肉 参考Chiang等^[7]和林全全等^[8]的方法,将猪大排装进密封袋中,放入沸水浴中约5~7 min,煮至内部温度达75~80℃后取出,沥干表面水分,冷却至室温,备用。

1.2.2 水分、pH值、蛋白质含量的测定 利用烘干法(GB/T 5009.3-2010)测定样品中的水分含量。

参考林全全等^[8]方法,采用高速剪切机以24 000 r/min将质量分数20%样品与超纯水混合1 min后,用pH计测定样品pH值。

称取适量粉碎样品,通过消化炉和定氮仪测定样品中的蛋白质含量。

1.2.3 质构特性分析 参考林全全等^[8]的方法,利用物性测定仪测定植物肉和猪肉的质构特性。具体方法如下:将1.5 cm×1.5 cm×1 cm的样品置于物性仪中央测试台上;在TPA模式下使用P50探头,测试速度为1 mm/s,下压程度为50%,时间间隔为3 s,往复2次。每个样品最少测定12次。

1.2.4 组织化度测定 参考林全全等^[8]的方法,于物性仪测试台中央放置1.5 cm×1.5 cm×1 cm的样品块,用A/CKB探头对样品进行剪切(剪切速度为1 mm/s,剪切程度为样品厚度的75%),每个样品均进行横向和纵向剪切,每个样品至少测定12次。

组织化度(kg/kg)=横向剪切力(kg)/纵向剪切力(kg)

1.2.5 微观结构观察 将复水后的样品切成1 cm×1 cm×1 cm的正方体,用OCT包埋,用液氮速冻后经冷冻切片机切成18 μm厚度薄片,然后利用光学显微镜观察。

1.2.6 体外消化试验 参考林全全等^[8]和Brodkorrb等^[9]的方法配制模拟消化液的储备液,进行口腔-胃-小肠体外消化试验。

1) 口腔消化 将样品置于粉碎机打碎,模拟口腔咀嚼。称取一定量样品于50 mL三角瓶中,使各组样品中蛋白质含量均为(0.85±0.01)g,添加适

量水至5 g。加入3.5 mL模拟唾液(SSF)储备液,加入25 μL 0.3 mol/L CaCl₂溶液和唾液淀粉酶(在最终口腔混合物中的活性为75 U/mL),补充适量蒸馏水至总体积为10 mL,调整pH至7.0。置样品于37℃摇床中100 r/min振摇2 min。

2) 胃消化 口腔消化完成后,将食团与8 mL模拟胃液(SGF)储备液混匀,调整pH值为3.0。加入5 μL 0.3 mol/L CaCl₂溶液和胃蛋白酶(最终胃混合物中活性为2 000 U/mL),补充蒸馏水至体积为20 mL,于37℃摇床中100 r/min模拟胃消化2 h。

3) 小肠消化 胃消化结束后,调节pH值至7.0使胃蛋白酶失活。将消化物与11 mL模拟小肠液(SIF)储备液混合,加入40 μL 0.3 mol/L CaCl₂、2.5 mL 0.16 mol/L胆汁和5 mL胰酶(最终小肠混合物中的活性为100 U/mL),补充蒸馏水至40 mL。样品继续在37℃摇床中100 r/min模拟小肠消化2 h。结束后,将样品放入沸水浴中5 min使酶失活。

1.2.7 粒径测定 模拟消化过程中,取适量各阶段消化后产物,马上用激光粒度仪测定其粒度大小和分布情况。

1.2.8 十二烷基硫酸钠聚丙烯酰胺凝胶电泳 参考林全全等^[8]和Tian等^[10]的方法,按体积比1:1混合消化产物与上样缓冲液,用磁力搅拌器搅拌3 h,接着在超声水浴和95℃水浴中各处理5 min。随后以10 000 r/min离心15 min。取上清液(10 μL)加到凝胶上,在恒压125 V下跑胶约4 h。本试验采用12%分离胶和5%浓缩胶进行分析,考马斯亮蓝进行染色。

1.2.9 可溶性氮含量测定 按照质量比1:1比例将打碎的未消化样品与水混合搅拌60 min,以10 000 r/min离心20 min,得到上清液。同时,将各阶段消化产物以10 000 r/min离心20 min,得到上清液。采用凯氏定氮仪测定各上清液中的可溶性氮含量。

1.2.10 游离氨基酸组成测定 参考林全全等^[8]的方法,处理原始样品和消化产物,并采用全自动氨基酸分析仪测定样品的氨基酸组成。样品平行测定2次,结果采用平均值表示。

1.2.11 数据统计与分析 除特殊说明外,所有试

验数据至少进行3次,结果均以平均值±标准差的方式表示,用Excel中单因素方差分析对各组数据中的显著性差异进行分析。

2 结果与讨论

2.1 基本成分和纤维结构分析

2.1.1 SPI、植物肉及猪肉的水分、蛋白质含量和pH值

白质含量结果如表1所示。其中,植物肉的水分含量最高,猪肉在煮制过程中,可能会损失掉一部分水分,故其水分低于一般生猪肉的水分含量(>70%)。3种样品的蛋白含量与水分含量直接相关,即水分越多,蛋白含量越低。植物肉和猪肉的pH值都接近中性,而SPI的pH值呈碱性,这可能与其制备工艺有关。

表1 样品的水分、pH值及蛋白质含量

Table 1 Moisture, pH value and protein content of samples

	水分含量/%	蛋白质含量/%	pH值
SPI	6.67 ± 0.37 ^c	85.75 ± 0.42 ^a	8.47 ± 0.026 ^a
植物肉	70.38 ± 0.24 ^a	20.78 ± 0.11 ^c	6.82 ± 0.029 ^c
猪肉	58.42 ± 0.11 ^b	26.95 ± 0.63 ^b	7.23 ± 0.022 ^b

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.1.2 植物肉及猪肉的纤维结构

通过测定质构特性、组织化度和微观结构来表征植物肉和猪肉的纤维化结构。由表2可知,猪肉的硬度和咀嚼性

均大大高于植物肉,而弹性和内聚性则是植物肉高于猪肉,这可能与植物肉的加工工艺有关。此外,两者的回复性相近。

表2 植物肉和猪肉的质构特性

Table 2 Textural characteristics of the plant-based meat and pork

	硬度/g	弹性	内聚性	咀嚼性/g	回复性
植物肉	1 632.4 ± 516.2 ^b	0.859 ± 0.063 ^a	0.805 ± 0.027 ^a	1 132.9 ± 374.8 ^b	0.245 ± 0.020 ^a
猪肉	20 024.3 ± 2 510.5 ^a	0.496 ± 0.037 ^b	0.537 ± 0.026 ^b	5 366.3 ± 911.1 ^a	0.208 ± 0.019 ^b

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

组织化度是纤维结构形成的指标。由表3可知,植物肉的横向剪切力和纵向剪切力均显著小于猪肉($P < 0.05$);而两者的组织化度没有显著性

差异($P > 0.05$)。这表明尽管它们的组织化度较为接近,但切断它们所需的横、纵向力有明显的强弱之分,即二者的纤维状结构存在很大差异。

表3 植物肉和猪肉的横、纵向剪切力及组织化度

Table 3 Crosswise strength, lengthwise strength, and degree of texturization of the plant-based meat and pork

	横向剪切力(F_L)/g	纵向剪切力(F_V)/g	组织化度
植物肉	843.9 ± 112.6 ^b	977.4 ± 108.6 ^b	1.15 ± 0.20 ^a
猪肉	2 181.5 ± 157.8 ^a	2 703.1 ± 166.0 ^a	1.28 ± 0.09 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

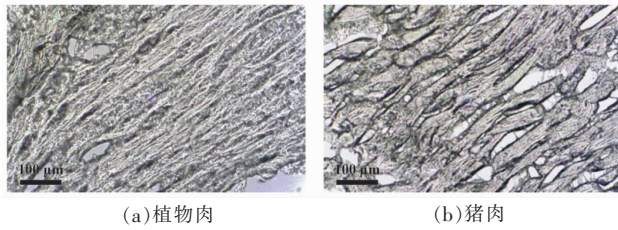
由图1可以看出,植物肉和猪肉都具有网状纤维结构。其中,猪肉的纤维比较粗,纤维之间的连接较为稀疏,相比之下,植物肉的纤维较细,连接较为致密。

综上,尽管植物肉与猪肉的组织化度较为接近,但是它们的纤维在剪切力大小、纤维粗细、排

列和分布特性方面具有明显差异。由此推测,两者纤维结构的差异可能会影响它们在消化过程中与酶的接触,从而影响它们的蛋白质消化特性。

2.2 消化特性研究

2.2.1 粒径大小与分布 植物肉和猪肉在消化过程中粒径大小和分布变化分别如表4和图2所



(a)植物肉 (b)猪肉

图 1 植物肉和猪肉的光学显微图

Fig.1 Light micrographs of the plant-based meat and pork

示。SPI 的粒径结果已经显示在本课题组前期的文章^[8]中。可以看出,随着消化的进行,植物肉、猪肉和 SPI 的粒径都呈减小的趋势。在模拟口腔消化结束后,植物肉的粒径明显大于猪肉的粒径。有研究表明,硬度越大的样品,其粒径越小^[11]。植物肉的硬度小于猪肉,因此,经模拟咀嚼后得到的食团粒径大于猪肉。SPI 是粉末状颗粒,能够较好的溶于水,因此 SPI 的口腔消化结束后的粒径明显小于植物肉和猪肉的粒径。

在模拟胃消化 120 min 后,三者的粒径均有所减小,这表明样品中的蛋白质在胃蛋白酶的消化作用下开始被水解成氨基酸,导致粒径变小。在胃中消化 120 min 后,三者的粒径大小排序与口腔消化结束时的一致。

在模拟小肠消化 120 min 后,消化产物的粒径进一步减小。此时猪肉的粒径是最小的,SPI 次之,植物肉的最大;与胃消化结束后的样品相比,植物肉的粒径减小幅度最大。

上述结果表明,在胃和小肠消化过程中,植物肉由于硬度较小,在消化初期的粒径较大,消化结束后,其粒径也最大,提示其在口腔中分解较慢植物肉的粒径消化结果与猪肉及 SPI 的差别,主要

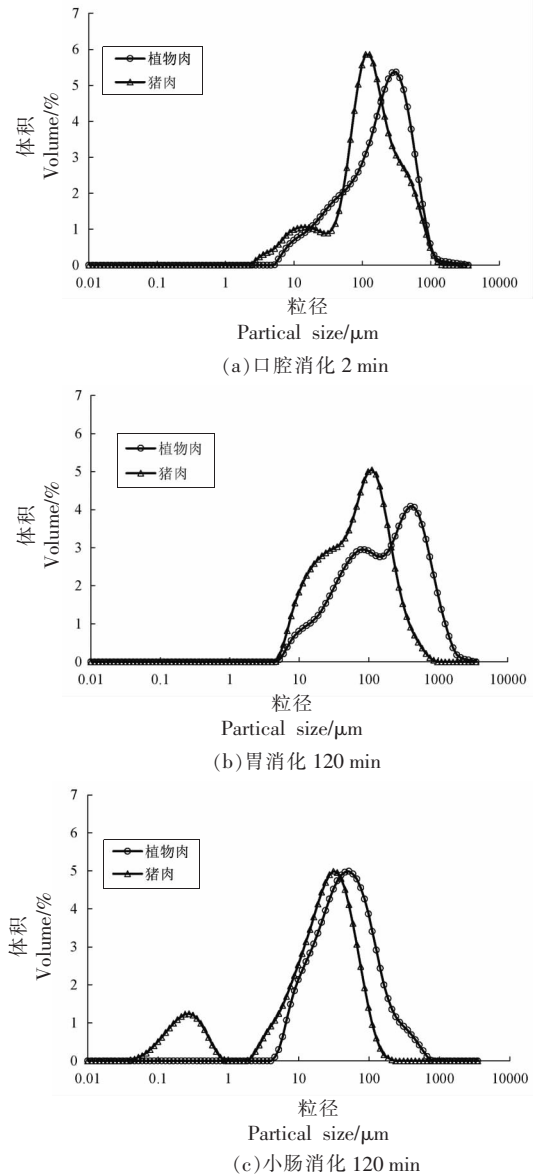


图 2 消化过程中的粒径分布图

Fig.2 Particle size distribution of samples during digestion

表 4 植物肉和猪肉消化过程中粒径大小

Table 4 Particle size of the plant-based meat and pork during digestion

消化阶段	样品	$D_{[4,3]}/\mu\text{m}$	$D_{[3,2]}/\mu\text{m}$	$D_{x(10)}/\mu\text{m}$	$D_{x(50)}/\mu\text{m}$	$D_{x(90)}/\mu\text{m}$
口腔消化 2 min	植物肉	350.1 ± 88.3	99.5 ± 26.3	45.7 ± 18.1	267.9 ± 66.3	769.5 ± 194.2
	猪肉	216.1 ± 28.0	48.9 ± 5.4	18.5 ± 3.3	138.8 ± 12.4	529.6 ± 73.1
胃消化 120 min	植物肉	317.0 ± 44.7	67.8 ± 5.4	25.8 ± 2.1	189.8 ± 27.6	787.0 ± 111.2
	猪肉	160.1 ± 58.5	46.0 ± 10.0	16.7 ± 3.2	99.7 ± 28.5	365.0 ± 137.7
小肠消化 120 min	植物肉	81.7 ± 15.4	30.4 ± 0.7	12.8 ± 0.2	46.5 ± 2.3	167.1 ± 20.2
	猪肉	34.0 ± 5.8	1.1 ± 0.4	0.3 ± 0.1	25.4 ± 4.5	80.4 ± 15.3

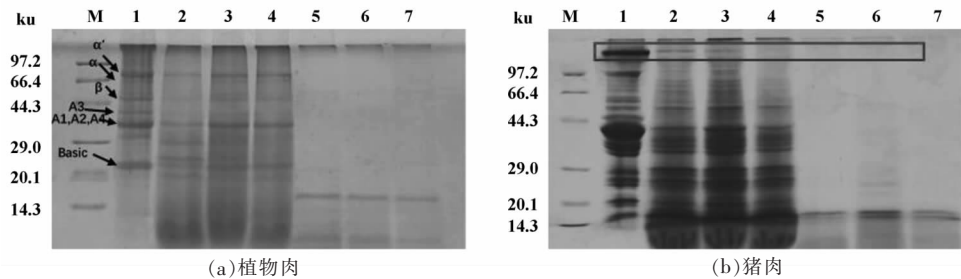
注: $D_{[4,3]}$ 表示体积平均直径; $D_{[3,2]}$ 表示表面积平均直径; $D_{x(10)}$ 表示样本粒子中有 10%的颗粒小于此尺寸; $D_{x(50)}$ 表示样本粒子中有 50%的颗粒小于此尺寸; $D_{x(90)}$ 表示样品粒子中 90%的颗粒小于此尺寸。

与其组成和结构有关。

2.2.2 蛋白质分子质量变化 植物肉和猪肉消化过程中的十二烷基硫酸钠聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)图谱如图3所示,SPI的SDS-PAGE结果已经发表在本课题组近期的文章^[8]中。根据SDS-PAGE图谱,可以分析消化过程中蛋白质分子质量的变化情况。植物肉是SPI加工制成的产品,在图3a的泳道1中,可以观察到大豆蛋白的 β -伴大豆球蛋白(α 、 α' 和 β 3种亚基)、酸性亚基和碱性亚基。在胃液中消化30 min后,植物肉中的大分子条带颜色变浅,小分子条带颜色逐渐加深。尽管如此,在植物肉中仍然能观察到 β -伴大豆球蛋白、酸性和碱性亚基的存在。相比之下,SPI进入胃消化阶段后未观察到 β -伴大豆球蛋白条带,两者之间的差异可能主要与纤维结构是否存在有关。进入小肠段消化后,植物肉的大分子条带

消失,小分子条带颜色也明显变浅,说明此时无论是大分子蛋白亚基还是小分子的肽段被消化降解。在图3b中,可以观察到猪肉在经过胃消化30 min后,分子质量大的条带(≥ 97.2 ku)的颜色变浅,同时出现分子质量小于14.3 ku的条带。此后,所有条带颜色虽逐渐变浅,但变化不大。这说明在胃部消化中,分子质量大的蛋白质被大量降解。在小肠段消化中,猪肉中的大分子条带消失,小分子条带颜色也明显变浅。

综上,植物肉、猪肉以及SPI的大分子蛋白质在胃部消化中被降解为小分子肽段和氨基酸,其中植物肉的蛋白质水解程度小于SPI。在小肠消化阶段,三者的大分子肽段在消化前期均已消失,消化结束后,三者中均还残留少量分子质量小于14.3 ku的肽段,说明蛋白质没有完全被水解成氨基酸。



注:泳道1~7分别代表消化前样品;胃消化30,60,120 min样品;小肠消化30,60,120 min样品。

图3 样品消化过程中 SDS-PAGE 图谱

Fig.3 SDS-PAGE of samples during digestion

2.2.3 可溶性氮含量变化 结合图4和先前的报道结果^[8],未消化样品中植物肉的可溶性氮含量明显小于猪肉,SPI粉末最大。植物肉的可溶性氮含量低于SPI粉末,这可能是由于植物肉中的大豆蛋白在挤压过程中发生变性,溶解性降低,这与许多研究结果相一致^[8,12-13]。进入胃消化阶段后,蛋白质在胃蛋白酶的作用下分解成多肽和氨基酸,三者的可溶性氮含量均大大增加,且它们的大小顺序与未消化样品相同。植物肉由于挤压形成纤维结构,纤维与纤维之间紧密连接,蛋白质与酶的接触减少,导致水解生成的可溶性氮最少。相比之下,猪肉在胃消化阶段可溶性氮含量的增幅是最大的,说明猪肉在胃阶段的消化情况

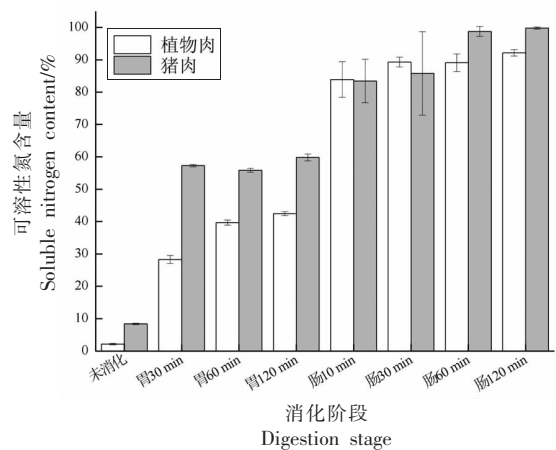


图4 消化过程中植物肉及猪肉的可溶性氮含量

Fig.4 Soluble nitrogen content of the plant-based meat and pork during digestion

比较好。由胃消化 30 min 到胃消化 120 min 阶段中,可以看出 SPI 和猪肉可溶性氮含量增长不是很明显,这与 SDS-PAGE 结果相对应。到了小肠消化的阶段,蛋白质被胰酶分解,可溶性氮含量进一步增加。其中,猪肉的可溶性氮含量最高,植物肉与 SPI 的可溶性氮含量相近。从胃阶段进入小肠消化阶段的过程中,与 SPI 和猪肉相比,植物肉可溶性氮的增长较大,这说明植物肉在小肠阶段的消化较快。

2.2.4 游离氨基酸组成分析 表 5 为样品经胃部和小肠消化 120 min 后的游离氨基酸组成。结合先前的报道结果^[8],发现 17 种主要游离氨基酸总量为:猪肉>SPI>植物肉,这与 3 组样品可溶性氮含量结果相似,说明猪肉蛋白的消化程度最高。植物肉消化生成的可溶性氮含量和游离氨基酸较 SPI 的低,说明其纤维结构及其它物质(淀粉、油脂等)阻碍了蛋白的消化,这与先前的研究结果相一致^[9]。

表 5 样品消化后游离氨基酸组成

Table 5 The free amino acids of the digested samples

游离氨基酸/mg·(10 g ⁻¹ 消化液)	胃 120 min		小肠 120 min	
	植物肉	猪肉	植物肉	猪肉
天冬氨酸(Asp)	9.3	22.2	29.7	47.3
苏氨酸(Thr)	4.2	91.3	13.5	20.1
丝氨酸(Ser)	12.3	7.3	39.8	16.8
谷氨酸(Glu)	22.6	4.1	67.9	94.6
脯氨酸(Pro)	6.5	7.9	21.3	16.9
甘氨酸(Gly)	5.3	8.9	16.2	18.7
丙氨酸(Ala)	4.9	14.6	14.8	31.3
胱氨酸(Cys)	3.2	4.5	7.9	9.4
缬氨酸(Val)	9.3	10.9	27.9	23.6
甲硫氨酸(Met)	2.9	4.6	9.1	9.9
异亮氨酸(Ile)	5.5	8.4	16.5	20.1
亮氨酸(Leu)	11.1	16.9	35.6	37.8
酪氨酸(Tyr)	5.3	5.1	17.1	12.1
苯丙氨酸(Phe)	2.9	6.9	9.1	15.6
赖氨酸(Lys)	5.6	17.2	18.2	37.9
组氨酸(His)	5.6	10.3	17.9	22.5
精氨酸(Arg)	11.1	12.9	27.9	29.1
总游离氨基酸含量	127.6	254.0	390.4	463.7

3 结论

从结构上看,基于大豆蛋白的植物肉能在一定程度上模拟猪肉的纤维结构,具有相近的组织化度。然而,两者的质构特性和纤维结构存在较大差异,如植物肉的硬度和咀嚼度均显著低于猪肉,而弹性和内聚性高于后者;与猪肉相比,植物肉的纤维比较细,纤维之间的连接较为致密。模拟消化结果表明,植物肉蛋白质消化程度低于猪肉,这可能是由其纤维之间较为致密,且大豆蛋白的酶亲和力较小有关;同时,与 SPI 相比,植物肉中存在的纤维结构和淀粉油脂等物质也抑制了大豆蛋白的消化。

综上,植物肉虽能一定程度模拟猪肉,但其结构特性和蛋白质消化程度与猪肉仍有较大差距,仍需不断改进植物肉的制备工艺,提高植物肉的营养价值。

参 考 文 献

- [1] 庞卫军, 孙世铎, 渊锡藩, 等. 体外培养肉-肉类生产发展的方向[J]. 养猪, 2014(4): 78-80.
PANG W J, SUN S D, YUAN X F, et al. *In vitro* cultured meat - the development direction of meat production[J]. Swine Production, 2014(4): 78-80.
- [2] POST M J. Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects[J]. Meat Science, 2012, 92(3): 297-301.
- [3] 郑建仙. 现代新型蛋白和油脂食品开发[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2003: 61.
ZHENG J X. Development of modern new protein and fat Food[M]. Beijing: Scientific and Technical Documentation Press, 2003: 61.
- [4] 孙照勇. 植物蛋白复合挤压组织化特性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2009.
SUN Z Y. Study on texturization properties of vegetable protein co-extrusion[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2009.
- [5] LILLFORD P J. The impact of food structure on taste and digestibility[J]. Food & Function, 2016, 7(10): 4131-4136.
- [6] 蔡可腾. 组织化小麦蛋白的制备工艺与消化特性关系研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2021.
CAI K T. Study on the correlation between the ex-

- trusion process and digestion properties of textured wheat protein[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2021.
- [7] CHIANG J H, LOVEDAY S M, HARDACRE A K, et al. Effects of soy protein to wheat gluten ratio on the physicochemical properties of extruded meat analogues[J]. *Food Structure*, 2019, 19: 100102.
- [8] 林全全, 刘璐飒, 吴丽芳, 等. 人造鸡肉的蛋白质消化特性研究[J]. *中国粮油学报*, 2021, 36(10): 63-69.
- LIN Q Q, LIU L S, WU L F, et al. Study on protein digestion of artificial chicken[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2021, 36(10): 63-69.
- [9] BRODKORB A, EGGER L, ALMINGER M, et al. INFOGEST static *in vitro* simulation of gastrointestinal food digestion[J]. *Nature Protocols*, 2019, 14(4): 991-1014.
- [10] TIAN M M, HAN J Z, YE A Q, et al. Structural characterization and biological fate of lactoferrin - loaded liposomes during simulated infant digestion[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019, 99(6): 2677-2684.
- [11] CHEN J S. Influences of food hardness on the particle size distribution of food boluses[J]. *Archives of Oral Biology*, 2013, 58(3): 293-298.
- [12] 康立宁. 大豆蛋白高水分挤压组织化技术和机理研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- KANG L N. Texturization technology and mechanism of soy protein by high moisture extrusion[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2007.
- [13] 张余. 花生蛋白挤压组织化技术及其机理研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- ZHANG M. Extrusion texturization technology and mechanisms of peanut protein[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2007.

Studies of the Protein Digestion Properties of Plant-based Meat

Chen Chuling, Deng Ninghua, Luo Mei, Lin Quanquan*, Han Jianzhong

(School of Food Science and Biotechnology, Zhejiang Gongshang University, Food Safety Key Laboratory of Zhejiang Province, Hangzhou 310018)

Abstract In recent years, plant-based meat has received widespread attention worldwide, and more and more food giants have begun to produce and sell plant-based meat. However, its digestion and absorption properties are still unclear and need to be studied urgently. In this study, the digestion properties of the protein in the soy protein-based-meat were explored and compared with pork and soy protein isolate through *in vitro* simulated digestion. The following conclusions were drawn; The degree of texturization of plant-based meat and pork were similar, but the fibrous structure of the former was denser than the latter, and the elasticity and cohesion were better. During the whole simulated digestion, plant-based meat had the largest particle size. The results of SDS-PAGE, soluble nitrogen content and free amino acid production all showed that the degree of protein hydrolysis of plant-based meat was lower than that of pork and soybean protein isolate, and the fiber structure in vegetable pork was attributed to suppresses protein digestion in a certain extent.

Keywords plant-based meat; pork; protein; fibrous structure; *in vitro* digestion