

张莺莺,王洪洋,涂尾龙,等. 9 种畜禽血液的氨基酸组成和蛋白质营养分析[J]. 江苏农业科学,2021,49(5):150-158.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.05.028

# 9 种畜禽血液的氨基酸组成和蛋白质营养分析

张莺莺,王洪洋,涂尾龙,曹建国,吴华莉,谈永松

(上海市农业科学院畜牧兽医研究所/上海种猪工程技术研究中心,上海 201106)

**摘要:**为评价 9 种畜禽血液的蛋白质营养价值,采集 9 种出栏畜禽的新鲜血液,依据食品安全国家标准及相关规定,应用凯氏定氮法、茚三酮柱后衍生离子交换色谱仪、高效液相色谱法和离子交换色谱法测定蛋白质含量和氨基酸组成,计算蛋白质氨基酸评分(AAS)、美国国家科学院医学研究所(IOM)模式评分、化学评分(CS)等非生物学指标。结果表明,所有样品均含有 18 种水解氨基酸,家畜样品的蛋白质含量和必需氨基酸(indispensable amino acid,IAA)含量较高,驴血的蛋白质含量最高( $P < 0.05$ ),羊、牛和马血的呈味氨基酸含量较高( $P < 0.05$ );各样品的限制氨基酸为异亮氨酸、蛋氨酸+半胱氨酸, SRC 为 66.30~80.45, EAAI 均高于 100,平衡性不如卵清蛋白;家禽样品蛋白质平衡性和吸收利用率明显优于家畜样品。综上,家畜血 IAA 和呈味氨基酸含量高于家禽血,家禽血蛋白质平衡性和吸收利用率高于家畜血,畜禽血液蛋白质含量丰富、易于人体吸收,具有风味食品开发潜力,与谷物、豆类等膳食搭配可满足人体氨基酸平衡摄取。

**关键词:**畜禽;血液;蛋白质;氨基酸组成;必需氨基酸;营养评价

**中图分类号:** S852.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2021)05-0150-09

畜禽血液是畜禽屠宰加工的主要屠宰副产物之一,通常畜禽血液总量占畜禽体质量的 6%~8%,如牛采血量约为 15.0 kg/头,猪约为 2.5 kg/头,家禽约为 0.1 kg/羽;我国是畜禽产品生产和消费大国,年产畜禽血液总量达 800 万 t 以上,畜禽血液资源极其丰富<sup>[1-4]</sup>。近几十年来,由于我国养殖和屠宰行业竞争格局高度分散、畜禽血液应用关键技术和装备落后,我国畜禽血液的利用仍以初加工为主,深加工技术和装备较落后,血液利用率仅达到 25%,绝大部分血液被作为废弃物排放,造成资源浪费和环境污染<sup>[1-5]</sup>。因此,有必要进一步开展各种畜禽血液营养成分研究,为促进畜禽血液资源的开发和利用提供基础依据。

蛋白质营养是衡量食品或饲料营养的重要指标<sup>[6-7]</sup>,畜禽血液具有较高的蛋白质营养价值,蛋白

质含量为 17%~22%,被称为“液体肉”,血液干物质中蛋白质含量达 90%以上,其中血红蛋白占比 60%~65%。因此,开发和利用畜禽血液蛋白具有重要的经济效益和社会效益<sup>[8-10]</sup>。畜禽血液是生产食用血豆腐、加工血浆粉、食用蛋白和血红蛋白等食品添加剂及制作血粉蛋白质饲料的重要原材料<sup>[11]</sup>,具有很高的食用价值和综合利用价值。近年来,我国制定了肉类可持续发展战略,不断加强畜禽副产品资源高效化利用,长期以来不受重视的驴血、马血、鹅血和兔血等血液资源,以其特有的营养价值和广阔的应用前景,受到食品、生物医学等领域研究者的关注,成为研究热点<sup>[12-17]</sup>。在驴血、马血、鹅血和兔血等畜禽血液的研究方面,目前研究主要是针对某一种畜禽血液的活性成分和营养素的含量分析<sup>[13]</sup>、综合开发利用途径的展望<sup>[12]</sup>、血豆腐加工品质的研究<sup>[14]</sup>、活性成分的纯化和制备等<sup>[15-17]</sup>,包括凝血酶超滤膜和大孔阴离子交换树脂纯化法、抗氧化低聚肽菌酶制备方法等,从食用和营养角度比较和综合评价畜禽血液的蛋白质营养价值的研究较少。

评价蛋白质营养的非生物学指标主要有氨基酸评分(amino acid score,AAS)、化学评分(chemical score,CS)、氨基酸比值系数(ratio coefficient of amino acid,RC)、氨基酸比值系数分数(score of ratio

收稿日期:2020-06-24

基金项目:上海市科技兴农项目[编号:沪农科创字(2019)第3-2号];上海市农业科学院2019年科技成果转化助推项目(编号:ZT201907)。

作者简介:张莺莺(1978—),女,河南信阳人,博士,副研究员,主要从事动物遗传育种及畜禽屠宰副产物血液的综合开发利用研究。

E-mail:zyy686868@163.com。

通信作者:谈永松,博士,研究员,主要从事动物健康养殖研究。

E-mail:typine@163.com。

coefficient of amino acid, SRC)、必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)、预测蛋白质校正氨基酸计分(protein digestibility corrected amino acids score, PDCAAS)等<sup>[18-22]</sup>。氨基酸营养特征分析和蛋白质品质评价的主要依据是氨基酸平衡模式谱。氨基酸营养价值评估方法及平衡模式谱历经多次改良,在综合考虑蛋白质生物利用率、人体蛋白质摄入需求等因素的同时,根据营养学研究进展及最新数据库不断更新、优化氨基酸平衡模式谱<sup>[9,23]</sup>。当前较新的模式表达谱有 2 版,分别是 2007 年世界卫生组织(World Health Organization, WHO)、联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization, FAO)、联合国大学(United Nations University, UNU)共同发布的模式谱及 2005 年美国科学院医学研究所(Institute of Medicine, IOM)发布的模式谱<sup>[18-19]</sup>。不同畜禽血液的营养价值因受品种、饲料和饲养环境的影响存在一定差异。目前,应用以上参数对不同种的畜禽血液蛋白质开展系统性营养评价研究鲜见报道,尤其是依据新版氨基酸模式谱开展的驴、马、鹅、兔等畜禽血液的营养分析未见报道。本研究以猪(*Sus scrofa domestica*)、牛(*Bos taurus*)、羊(*Capra hircus*)、驴(*Equus asinus*)、马(*Equus caballus*)、鸡(*Gallus gallus*)、鸭(*Anas platyrhynchos domestica*)、鹅(*Anser cygnoides domestica*)、兔(*Oryctolagus cuniculus*) 9 种畜禽的血液样品为研究对象,通过测定供试血液样品的粗蛋白含量和氨基酸组成,分析和评价不同种畜禽血液的蛋白质营养价值,以期为畜禽血液蛋白质资源库提供一定的参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂 猪、牛、羊、驴、马、鸡、鸭、鹅、兔 9 种畜禽血,采集自上海市农业科学院庄行综合试验站及收集于上海市周边畜禽屠宰场。血液样品新鲜采集后,密封冷冻待测。柠檬酸、柠檬酸钠、氯化钠、茚三酮、氢氧化锂、氢氧化钠、氯化钠、浓盐酸(体积分数 37%)、浓硫酸(体积分数 98%),均为分析纯,购自上海酷灵精细化工有限公司。

1.1.2 主要仪器设备 NKB3100 自动定氮仪,上海祿鸿分析仪器有限公司;rapid MAX N exceed® 氮/蛋白质分析仪,Elementar 集团;LC-2010C 岛津高效液相色谱仪,日本津岛公司;FB224 自动内校电

子分析天平,上海舜宇恒平科学仪器有限公司。

### 1.2 方法

1.2.1 取样 9 种畜禽各选择健康出栏的 3 只(头或匹)动物,采集新鲜血液 2 000 mL/只(头或匹),密封于 50 mL 离心管中 -20 ℃ 冷冻待测,取每种畜禽的 3 只(头或匹)动物的适量血样,分别测定蛋白质含量和氨基酸成分,每个检测指标技术重复 3 次。各试验指标于 2019 年 7 月 22 日至 2019 年 8 月 28 日在上海市农业科学院畜牧兽医研究所检测完成。

1.2.2 粗蛋白含量的测定 蛋白质的测定:参照 GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》<sup>[24]</sup>进行。

1.2.3 氨基酸成分的测定 参照 GB 5009.124—2016《食品中氨基酸的测定》<sup>[25]</sup>测定 16 种氨基酸成分。测定色氨酸采用 15 g/L 氢氧化锂溶液对样品进行碱水解。测定半胱氨酸参照 GB/T 15399—2018《饲料中含硫氨基酸的测定离子交换色谱法》<sup>[26]</sup>。

1.2.4 蛋白质营养评价方法 采用现行最新标准计算各参数,根据 WHO、FAO、UNU 联合发布的模型<sup>[18]</sup>计算氨基酸评分(AAS);参照 IOM 指南计算 IOM 模式评分及分析蛋白完全性<sup>[19]</sup>;应用 Seligson 等推荐的方法计算化学评分(CS)<sup>[20]</sup>;参考 Oser 等提出的方法计算必需氨基酸指数(EAAI)<sup>[21]</sup>;根据朱圣陶等提出的方法计算氨基酸比值系数(RC)和氨基酸比值系数分(SRC)<sup>[22]</sup>。

### 1.3 数据处理

采用 Excel 软件整理实验数据,采用 SPSS 16.0 统计软件进行单因素方差分析,结果以“平均值 ± 标准差”( $\bar{x} \pm s$ )表示, $P < 0.05$  为差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 9 种畜禽血液的粗蛋白测定结果

由表 1 可知,猪、牛、羊、驴、马、鸡、鸭、鹅、兔 9 种畜禽血液样品的粗蛋白在鲜样中的含量分别为 17.30、17.60、19.50、25.30、17.90、14.00、13.80、15.10、16.50 g/100 g,平均值为 17.30 g/100 g。按粗蛋白含量从大到小排列,9 种畜禽的排列顺序为:驴 > 羊 > 马 > 牛 > 猪 > 兔 > 鹅 > 鸡 > 鸭;驴血的粗蛋白含量最高,显著高于其他 8 种样品( $P < 0.05$ );羊血的粗蛋白含量与牛、马相比差异不显著( $P > 0.05$ ),显著高于猪、鸡、鸭、鹅和兔( $P < 0.05$ );猪、马、牛和兔的血液粗蛋白含量相近( $P > 0.05$ ),约为 17.00 g/100 g;兔、鹅、鸡和鸭的血液粗蛋白含量均

显著低于 9 种畜禽血液粗蛋白含量平均值( $P < 0.05$ ), 鹅、鸡和鸭的血液粗蛋白含量显著低于兔最低。

表 1 9 种畜禽血液的粗蛋白含量

样品编号	样品	生物学分类	粗蛋白含量 (g/100 g)
A	猪( <i>Sus scrofa domestica</i> )	猪科猪亚科猪属野猪种家猪亚种	17.30 ± 0.98c
B	牛( <i>Bos taurus</i> )	牛科牛亚科牛属家牛	17.60 ± 0.61bc
C	羊( <i>Capra hircus</i> )	牛科羊亚科羊族山羊属野山羊种家山羊亚种	19.50 ± 1.16b
D	驴( <i>Equus asinus</i> )	马科马属非洲野驴种家驴亚种	25.30 ± 1.48a
E	马( <i>Equus caballus</i> )	马科马属马种家马亚种	17.90 ± 0.60bc
F	鸡( <i>Gallus gallus</i> )	雉科雉族原鸡属原鸡种家鸡亚种	14.00 ± 1.54e
G	鸭( <i>Anas platyrhynchos domestica</i> )	鸭科鸭属绿头鸭种家鸭亚种	13.80 ± 1.18e
H	鹅( <i>Anser cygnoides domestica</i> )	鸭科雁属鸿雁、灰雁种家鹅亚种	15.10 ± 1.11de
I	兔( <i>Oryctolagus cuniculus</i> )	兔科穴兔属穴兔种家兔变型种	16.50 ± 1.39cd

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

2.2 9 种畜禽血液的氨基酸组成

由表 2 可知,在 9 种畜禽血液中均检测出 18 种氨基酸,包括 8 种必需氨基酸(indispensable amino acids, IAA)和 10 种非必需氨基酸(non-indispensable amino acids, NIAA);羊、牛、马血液的总氨基酸含量(total amino acid, TAA)相近( $P > 0.05$ ),显著高于其他样品( $P < 0.05$ )。9 种样品中,羊血的总氨基酸含量最高,鸡血的总氨基酸含量最低。9 种样品鲜味氨基酸(天冬氨酸和谷氨酸)、甜鲜味氨基酸(丙氨酸、丝氨酸、甘氨酸和脯氨酸和苏氨酸)、苦味氨基酸(缬氨酸、苯丙氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、酪氨酸、蛋氨酸、组氨酸、色氨酸、赖氨酸和精氨酸)平均含量比例分别为 19.10%、27.20% 和 52.71%。3 类呈味氨基酸含量最高为羊,且羊与马、牛差异不显著( $P > 0.05$ ),但显著高于驴、鸡、鸭、猪和兔等其他样品( $P < 0.05$ )。9 种畜禽血液样品中含量最高的氨基酸均为亮氨酸,其次是天门冬氨酸、赖氨酸和谷氨酸。9 种样品中 IAA 含量羊最高,羊与牛、马的含量相近( $P > 0.05$ ),三者显著高于其他样品( $P < 0.05$ )。各血液样本的 IAA/TAA 平均值为 78.78%,各样本均超过 40%,IAA/NIAA 平均值为 70.30%,各样本均超过 60%,与 FAO/WHO 模式标准中质量较好的蛋白质氨基酸组成比例相符合<sup>[18]</sup>。

2.3 9 种畜禽血液的蛋白质的营养评估

2.3.1 9 种畜禽血液蛋白的必需氨基酸组成分析

按照氨基酸平衡理论,以总氨基酸含量为总蛋白量,评价 9 种畜禽血液样品的蛋白质品质,样品的氨

基酸组成比例越接近模式谱比例,其蛋白质质量越好。由表 3 可知,9 种畜禽血液样品的蛋白质中都含有全部 8 种 IAA,总量为 541.50 ~ 578.81 mg/g,平均值为 558.89 mg/g,达到国际权威模式谱中 IAA 的占比要求<sup>[12]</sup>。说明畜禽血液的 IAA 含量丰富,是优质蛋白质资源。从单个氨基酸含量来分析,9 种畜禽血液样品中含量最高的 IAA 是亮氨酸,其次为赖氨酸和缬氨酸;除异亮氨酸、蛋氨酸 + 半胱氨酸外,9 种畜禽血液中其他氨基酸含量均超过 WHO/FAO/UNU(2007)、IOM 推荐的平衡模式(2005)及 FAO 鸡蛋蛋白模式(1984)<sup>[18-20]</sup>。

2.3.2 9 种畜禽血液蛋白的氨基酸评分 9 种畜禽血液蛋白的 AAS 分析见表 4。由表 4 可知,AAS 是评价氨基酸营养价值的主要指标,指待测样品蛋白质中某一种 IAA 含量占 WHO/FAO/UNU 评分模式中相应氨基酸含量的百分比<sup>[18]</sup>,且 9 种畜禽血液蛋白的限制氨基酸存在一定的差异;鸡血液样品的 IAA 全部超过模式谱的要求(>100%),猪、牛、羊、鸭和兔血样品第一(唯一)限制氨基酸是异亮氨酸(<100%),驴和马血样品的第一限制氨基酸是异亮氨酸(<100%),第二限制氨基酸是蛋氨酸 + 半胱氨酸(<100%),鹅血样品的第一(唯一)限制氨基酸是蛋氨酸 + 半胱氨酸(<100%),9 种样品其他 IAA 均超过模式谱的要求(>100%),说明畜禽血液是优质、有利于人体消化、吸收和利用的蛋白质资源。根据 AAS 平均值,9 种畜禽血液样品中,AAS 得分最高的 IAA 是组氨酸(400.94%),其次是苯丙氨酸 + 酪氨酸(265.58%),苏氨酸(230.44%)、亮

表 2 9 种畜禽血液的氨基酸组成

氨基酸种类		含量 (mg/g)									平均值
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	
IAA	苏氨酸 (Thr)	5.70 ± 0.68bc	8.50 ± 1.39a	8.80 ± 0.54a	6.50 ± 1.18bc	7.40 ± 0.91ab	5.40 ± 1.29c	4.90 ± 0.80c	6.30 ± 0.85bc	6.20 ± 0.74bc	6.63 ± 1.53
	缬氨酸 (Val)	7.30 ± 0.91cd	11.50 ± 1.67a	12.60 ± 0.99a	9.30 ± 0.96b	11.70 ± 1.16a	5.60 ± 0.61d	5.10 ± 0.79d	7.90 ± 0.92bc	8.70 ± 1.53bc	8.84 ± 2.74
	蛋氨酸 (Met)	1.40 ± 0.46b	2.50 ± 0.62a	2.40 ± 0.47a	1.40 ± 0.50b	1.50 ± 0.15b	1.10 ± 0.51b	1.20 ± 0.22b	1.20 ± 0.31b	1.80 ± 0.57ab	1.61 ± 0.62
	异亮氨酸 (Ile)	1.20 ± 0.42b	1.60 ± 0.71b	1.20 ± 0.39b	1.40 ± 0.22b	1.20 ± 0.49b	3.20 ± 0.77a	2.80 ± 0.55a	3.90 ± 0.81a	1.00 ± 0.23c	1.94 ± 1.12
	亮氨酸 (Leu)	11.90 ± 1.42de	18.40 ± 1.28b	21.20 ± 1.52a	16.30 ± 1.15bc	21.70 ± 1.83a	10.30 ± 1.03e	9.60 ± 1.10e	13.10 ± 0.93d	14.50 ± 1.31cd	15.22 ± 4.44
NIAA	苯丙氨酸 (Phe)	6.20 ± 1.00de	10.20 ± 1.02b	12.20 ± 0.84a	8.00 ± 1.61cd	10.30 ± 1.50ab	5.90 ± 1.14e	9.60 ± 1.04bc	7.80 ± 1.44ce	8.10 ± 1.35cd	8.70 ± 2.92
	赖氨酸 (Lys)	8.50 ± 1.02d	14.00 ± 0.57ab	16.10 ± 0.49a	10.90 ± 0.93c	13.70 ± 0.87b	8.40 ± 0.66d	7.80 ± 0.60d	11.20 ± 0.83c	10.90 ± 0.78c	11.28 ± 0.56
	色氨酸 (Trp)	1.12 ± 0.57	1.33 ± 0.55	1.74 ± 0.75	1.46 ± 0.75	1.49 ± 0.76	1.07 ± 0.38	1.03 ± 0.60	1.05 ± 0.52	1.57 ± 0.43	1.32 ± 0.56
	天门冬氨酸 (Asp)	9.50 ± 0.92cde	15.10 ± 1.12a	16.80 ± 1.33a	12.30 ± 0.98b	15.60 ± 1.09a	8.70 ± 1.14de	8.00 ± 1.96e	10.70 ± 1.13bcd	11.50 ± 1.18bc	12.02 ± 3.22
	组氨酸 (His)	5.80 ± 1.07de	8.50 ± 0.70bc	10.30 ± 0.93ab	8.00 ± 1.15c	11.00 ± 1.28a	5.40 ± 1.21e	5.60 ± 1.18de	7.20 ± 1.21cd	6.80 ± 1.10ce	7.62 ± 2.17
	精氨酸 (Arg)	4.20 ± 0.97e	6.50 ± 0.99abc	6.80 ± 1.10ab	5.10 ± 0.84bcde	6.30 ± 1.08abcd	5.00 ± 0.88cde	7.40 ± 0.92a	6.60 ± 1.37ac	4.70 ± 0.93de	5.84 ± 1.36
	丝氨酸 (Ser)	6.20 ± 0.92bcd	8.90 ± 1.34a	9.30 ± 0.84a	7.90 ± 1.15ab	9.10 ± 1.84a	4.60 ± 1.21cd	4.20 ± 0.96d	5.70 ± 1.22cd	6.60 ± 1.14bc	6.94 ± 2.12
	谷氨酸 (Glu)	9.50 ± 0.64c	13.80 ± 1.42a	14.30 ± 1.48a	12.50 ± 0.85ab	14.70 ± 1.04a	10.20 ± 1.43bc	9.70 ± 1.58c	13.00 ± 0.80a	10.40 ± 2.14bc	12.01 ± 2.38
	脯氨酸 (Pro)	5.20 ± 1.05ab	6.40 ± 1.06ab	6.40 ± 0.51ab	6.30 ± 1.36ab	6.90 ± 1.00a	5.10 ± 1.44ab	4.80 ± 0.99b	5.60 ± 0.91ab	5.10 ± 0.91ab	5.76 ± 1.14
	酪氨酸 (Tyr)	3.10 ± 0.79c	4.90 ± 0.91ab	4.90 ± 0.92ab	4.20 ± 0.80abc	5.20 ± 0.74a	3.00 ± 0.88c	2.80 ± 0.80c	3.90 ± 0.67ac	3.50 ± 0.79ac	3.94 ± 1.10
	甘氨酸 (Gly)	3.90 ± 1.51cd	6.20 ± 1.77ab	6.90 ± 1.32a	5.90 ± 1.69abc	7.50 ± 0.60a	3.70 ± 1.36d	3.20 ± 0.44d	4.70 ± 0.57bcd	4.70 ± 076bcd	5.19 ± 1.77
	丙氨酸 (Ala)	7.10 ± 0.95e	11.70 ± 0.57b	13.60 ± 1.07a	9.00 ± 1.08c	12.00 ± 1.12ab	7.50 ± 1.26de	7.00 ± 1.10de	10.30 ± 0.95bc	9.20 ± 1.17cd	9.71 ± 2.42
	半胱氨酸 (Cys)	1.00 ± 0.30	1.24 ± 0.38	1.67 ± 0.52	1.41 ± 0.70	1.46 ± 0.53	1.02 ± 0.36	1.04 ± 0.30	1.1 ± 0.36	1.39 ± 0.39	1.26 ± 0.43
	鲜味氨基酸	19.00 ± 1.49cd	28.90 ± 2.26a	31.10 ± 2.60a	24.80 ± 1.83b	30.30 ± 2.12a	18.90 ± 2.46cd	17.70 ± 3.53d	23.70 ± 1.88b	21.90 ± 2.42bc	24.03 ± 5.30
	甜味氨基酸	28.10 ± 1.97cde	41.70 ± 4.67a	45.00 ± 3.17a	35.60 ± 4.38b	42.90 ± 3.36a	26.30 ± 2.81de	24.10 ± 2.55e	32.60 ± 3.26bc	31.80 ± 0.86bcd	34.23 ± 7.76
苦味氨基酸	50.68 ± 7.82de	79.43 ± 7.84a	89.44 ± 6.74a	66.23 ± 7.08b	84.09 ± 7.98a	48.97 ± 5.41e	52.93 ± 5.13cde	63.85 ± 5.00bc	61.57 ± 5.65bcd	66.33 ± 15.36	
IAA	43.28 ± 5.71c	68.03 ± 6.91a	76.24 ± 3.49a	55.43 ± 5.33b	68.99 ± 6.58a	40.97 ± 3.88c	42.03 ± 4.62c	52.45 ± 5.01b	52.77 ± 3.78b	55.58 ± 13.10	
TAA	98.78 ± 10.89cd	151.27 ± 13.20a	167.21 ± 12.31a	128.05 ± 12.46b	158.72 ± 13.32a	94.99 ± 10.78d	95.77 ± 10.02d	121.25 ± 9.99b	116.67 ± 8.65bc	125.85 ± 28.25	
IAA/TAA (%)	43.67 ± 1.53ab	45.00 ± 1.73ab	45.67 ± 1.16a	43.33 ± 1.53b	43.67 ± 0.58ab	43.33 ± 0.58b	44.00 ± 1.73ab	43.00 ± 1.00b	45.00 ± 0ab	44.07 ± 1.36	
IAA/NIAA (%)	78.00 ± 3.61ab	82.00 ± 5.29ab	84.00 ± 4.36a	76.67 ± 3.79b	76.67 ± 1.53b	76.33 ± 3.22b	78.33 ± 5.51ab	76.33 ± 3.22a	82.67 ± 0.58ab	79.00 ± 4.29	

注:IAA 为必需氨基酸,NIAA 为非必需氨基酸,TAA 为总氨基酸。同行数据后不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

表 3 9 种畜禽血液的必需氨基酸组成 mg/g

畜禽编号	Thr	Lys	Leu	Ile	Met + Cys	Phe + Tyr	Val	Trp	His	总含量
A	57.70	86.05	120.47	12.15	24.30	94.15	73.90	11.34	58.72	550.47
B	56.19	92.55	121.64	10.58	24.72	99.82	76.02	8.79	56.19	565.35
C	52.63	96.29	126.79	7.18	24.34	102.27	75.35	10.41	61.60	578.01
C	50.76	85.12	127.29	10.93	21.94	95.28	72.63	11.40	62.48	552.85
E	46.62	86.32	136.72	7.56	18.65	97.66	73.71	9.39	69.30	564.39
F	56.85	88.43	108.43	33.69	22.32	93.69	58.95	11.26	56.85	541.50
G	51.16	81.45	100.24	29.24	23.39	129.48	53.25	10.75	58.47	552.07
H	51.96	92.37	108.04	32.16	18.97	96.49	65.15	8.66	59.38	547.20
I	53.14	93.43	124.28	8.57	27.34	99.43	74.57	13.46	58.28	567.29
平均值	52.71	89.61	120.95	15.45	22.80	100.47	70.36	10.47	60.56	558.89
2007 版 WHO/FAO/UNU 模式谱	23	45	59	30	22	38	39	6	15	277
2005 版 IOM 模式谱	27	51	55	25	25	47	32	7	18	287
1984 版 FAO 改良鸡蛋蛋白模式谱	40	55	70	40	35	60	50	10	/	360

注:组氨酸 (His) 为婴儿及特定人群的必需氨基酸。下表同。

表 4 9 种畜禽血液蛋白的氨基酸评分 %

畜禽编号	Thr	Lys	Leu	Ile	Met + Cys	Phe + Tyr	Val	Trp	His
A	250.87	191.22	204.19	40.50	110.45	247.76	189.49	189.00	391.47
B	244.30	205.67	206.17	35.27	112.36	262.68	194.92	146.50	374.60
C	228.83	213.98	214.90	23.93	110.64	269.13	193.21	173.50	410.67
D	220.70	189.16	215.75	36.43	99.73	250.74	186.23	190.00	416.53
E	202.70	191.82	231.73	25.20	84.77	257.00	189.00	156.50	462.00
F	247.17	196.51	183.78	112.30	101.45	246.55	151.15	187.67	379.00
G	222.43	181.00	169.90	97.47	106.32	340.74	136.54	179.17	389.80
H	225.91	205.27	183.12	107.20	86.23	253.92	167.05	144.33	395.87
I	231.04	207.62	210.64	28.57	124.27	261.66	191.21	224.33	388.53
平均值	230.44	198.03	202.24	56.32	104.03	265.58	177.64	176.78	400.94

氨酸 (202.24%)、缬氨酸 (177.64%) 和赖氨酸 (198.03%) 的 AAS 得分也较高,异亮氨酸的 AAS 得分最低 (56.32%)。

2.3.3 9 种畜禽血液蛋白的 IOM 模式评分 根据 IOM 模式谱的标准<sup>[19]</sup>,得到 9 种畜禽血液蛋白的 IOM 模式评分结果,由表 5 可知,猪、牛、羊、驴和马血样品的异亮氨酸评分、蛋氨酸 + 半胱氨酸评分低于 100%,兔血样品仅异亮氨酸评分低于 100%;鸡、鸭和鹅血液样品仅蛋氨酸 + 半胱氨酸评分低于 100%;谷类、豆类、坚果和肉蛋类食品的异亮氨酸、蛋氨酸和半胱氨酸、赖氨酸含量较为丰富,食用畜禽血可通过与这类食品进行合理膳食搭配以补充相应 IAA<sup>[27]</sup>。

2.3.4 9 种畜禽血液蛋白的化学评分 以畜禽血液为原料经初加工而成的血豆腐食品,深受我国老

百姓欢迎,为此本研究比较了畜禽血液蛋白的 CS。由表 6 可知,与鸡蛋蛋白质改良模式相比,9 种畜禽血液样品中异亮氨酸、蛋氨酸 + 半胱氨酸的 CS 均低于标准 (<100%);此外,马血液样品中色氨酸的 CS 也低于标准 (<100%)。以上结果说明 9 种畜禽血液蛋白平衡性不如鸡蛋蛋白<sup>[20,28]</sup>,食用时应考虑与其他种类食物营养搭配。

2.3.5 9 种畜禽血液蛋白的氨基酸比值系数和氨基酸比值系数分 由表 7 可知,9 种畜禽血液蛋白的 RC 为 0.24~1.08,其中苯丙氨酸和酪氨酸的 RC 平均值 (1.01) 最接近于 1.00 (平均值 1.00),与模式谱最接近;苏氨酸 (1.08)、赖氨酸 (0.98) 和亮氨酸 (1.03) 的 RC 均值也接近模式谱;异亮氨酸 (0.24)、蛋氨酸 + 半胱氨酸 (0.40)、色氨酸 (0.63) 分别正向偏离平衡谱较远。

表 5 9 种畜禽血液蛋白的 IOM 模式评分

畜禽编号	%								
	Thr	Lys	Leu	Ile	Met + Cys	Phe + Tyr	Val	Trp	His
A	213.70	168.73	219.04	48.60	97.20	200.32	230.94	162.00	326.22
B	208.11	181.47	221.16	42.32	98.88	212.38	237.56	125.57	312.17
C	194.93	188.80	230.53	28.72	97.36	217.60	235.47	148.71	342.22
D	188.00	166.90	231.44	43.72	87.76	202.72	226.97	162.86	347.11
E	172.67	169.25	248.58	30.24	74.60	207.79	230.34	134.14	385.00
F	210.56	173.39	197.15	134.76	89.28	199.34	184.22	160.86	315.83
G	189.48	159.71	182.25	116.96	93.56	275.49	166.41	153.57	324.83
H	192.44	181.12	196.44	128.64	75.88	205.30	203.59	123.71	329.89
I	196.81	183.20	225.96	34.28	109.36	211.55	233.03	192.29	323.78
平均值	196.30	174.73	216.95	67.58	91.54	214.72	216.50	151.52	334.12

表 6 9 种畜禽血液蛋白的化学评分

畜禽编号	%								
	Thr	Lys	Leu	Ile	Met + Cys	Phe + Tyr	Val	Trp	
A	144.25	156.45	172.10	30.38	69.43	156.92	147.80	113.40	
B	140.48	168.27	173.77	26.45	70.63	166.37	152.04	87.90	
C	131.58	175.07	181.13	17.95	69.54	170.45	150.70	104.10	
D	126.90	154.76	181.84	27.33	62.69	158.80	145.26	114.00	
E	116.55	156.95	195.31	18.90	53.29	162.77	147.42	93.90	
F	142.13	160.78	154.90	84.23	63.77	156.15	117.90	112.60	
G	127.90	148.09	143.20	73.10	66.83	215.80	106.50	107.50	
H	129.90	167.95	154.34	80.40	54.20	160.82	130.30	86.60	
I	132.85	169.87	177.54	21.43	78.11	165.72	149.14	134.60	
平均值	132.50	162.02	170.46	42.24	65.39	168.20	138.56	106.07	

SRC 指标主要根据各种 IAA 偏离氨基酸模式的离散度评价样品蛋白质质量。根据叶圣陶等的方法<sup>[14]</sup>计算,9 种畜禽血液样品的 SRC 为 66.30 ~ 80.45(表 7);样品之间 SRC 指标存在明显差异,牛

血液样品最低(66.30),鸡血样品最高(80.45),但都低于鸡蛋(81.22)、猪肉(87.44)、牛肉(88.82)、羊肉(86.73)等<sup>[22]</sup>。

表 7 9 种畜禽血液蛋白的氨基酸比值系数和氨基酸比值系数分

畜禽编号	RC								
	Thr	Lys	Leu	Ile	Met + Cys	Phe + Tyr	Val	Trp	SRC
A	1.16	1.26	1.39	0.25	0.56	1.27	1.19	0.92	69.69
B	1.14	1.37	1.41	0.21	0.57	1.35	1.23	0.71	66.30
C	1.05	1.40	1.45	0.14	0.56	1.36	1.20	0.83	65.42
D	1.04	0.77	0.91	0.14	0.31	0.79	0.72	0.57	76.60
E	0.99	0.78	0.98	0.09	0.27	0.81	0.74	0.47	73.91
F	1.15	0.80	0.77	0.42	0.32	0.78	0.59	0.56	80.45
G	1.03	0.73	0.71	0.36	0.33	1.07	0.53	0.53	78.88
H	1.08	0.85	0.79	0.41	0.28	0.82	0.66	0.44	79.03
I	1.03	0.82	0.86	0.10	0.38	0.80	0.72	0.65	78.46
平均值	1.08	0.98	1.03	0.24	0.40	1.01	0.84	0.63	69.69

2.3.6 9 种畜禽血液蛋白的必需氨基酸指数分析  
EAAI 通过计算几何平均数模型衡量样本蛋白所

含有的 IAA 相比于一种高价参比蛋白质所含 IAA 的整体情况<sup>[21]</sup>。结果显示,9 种畜禽血液蛋白质的

EAAI 值为 167.48 ~ 188.98, 猪为 185.31, 牛为 179.59, 羊为 176.68, 驴为 179.75, 马为 167.48, 鸡为 197.04, 鸭为 201.56, 鹅为 188.98, 兔为 185.16; 其中, 马的 EAAI 值最接近 100, 平衡性相较于其他畜禽好。9 种畜禽血液样品的平衡性均不如鸡蛋蛋白(100), 可能与畜禽血液样品中部分 IAA 的含量过高(如亮氨酸、赖氨酸、缬氨酸等)或过低(如异亮氨酸和色氨酸)有关。

**2.3.7 9 种畜禽血液蛋白的校正氨基酸计分**  
PDCAAS 指经蛋白质消化率校正过的 AAS, 该模型在蛋白质品质评估时综合考虑了蛋白质的吸收利用率<sup>[27-28]</sup>。以畜禽血液为原料制作的血制品广泛应用于饲料和食品工业, 由于生产加工工艺不同可导致不同类型血制品的蛋白质消化率也不相同<sup>[29]</sup>。若参照喷雾干燥血球蛋白粉体外粗蛋白消化率约 90% 计算<sup>[30]</sup>, 9 种畜禽血液蛋白的 PDCAAS 值为 0.40 ~ 0.71, 平均为 0.52; 猪为 0.46、牛为 0.49、羊为 0.40、驴为 0.42、马为 0.40、鸡为 0.71、鸭为 0.63、鹅为 0.67、兔为 0.46。9 种畜禽血液样品的 PDCAAS 差异主要是由它们的限制性氨基酸异亮氨酸、苯丙氨酸 + 半胱氨酸及色氨酸决定的。

### 3 讨论

畜禽血液是畜禽屠宰的主要副产物之一, 是营养丰富的蛋白质资源。本研究首次从营养角度分析比较了猪、牛、羊、驴、马、鸡、鸭、鹅、兔共计 9 种畜禽血液的氨基酸和蛋白质含量及其营养价值。9 种畜禽血液样品中, 家畜血液样品粗蛋白含量显著高于家禽, 家畜中驴血样品的粗蛋白含量最高, 兔的最低, 家禽中鹅血样品的粗蛋白含量最高, 鸭最低。9 种畜禽血液中的粗蛋白平均质量分数为 13.80 ~ 25.30 g/100 g, 平均为 17.44 g/100 g, 这与大多数报道畜禽全血一般含有 17.00% ~ 22.00% 的蛋白质基本一致<sup>[9,31]</sup>, 具体数值范围差异可能是由于受检测样品的畜禽品种和饲养环境不同导致的。参考比较中国食物成分表(第一册第二版)数据<sup>[32]</sup>, 9 种畜禽血液样品蛋白质质量分数接近或高于相应畜禽肉类食品及其屠宰副产品类食品。猪血液样品的蛋白质质量分数(17.30%)与猪肉类食品中的瘦猪肉(20.30%)、猪里脊肉(20.20%)、猪大排(18.30%)等接近, 高于猪硬五花肉(13.6%)、猪软五花肉(7.70%)和猪肋条肉(9.30%); 与其他猪屠宰副产物相比, 猪血液的粗蛋白质量分数与猪肝

(19.30%)、猪肾(15.70%)等接近, 高于猪肺(12.20%)和猪脾(13.20%); 牛血液样品的蛋白质质量分数(17.60%)与牛肉类食品中的瘦牛肉(20.20%)、牛肉肋条(18.60%)、牛肉后腿(18.00%)接近, 也与牛屠宰副产物食品中的牛舌(17.00%)和牛肝(19.80%)等接近, 高于牛肚(14.50%)和牛大肠(11.00%); 羊血液样品的蛋白质质量分数(19.50%)与羊肉食品中的瘦羊肉(20.50%)和羊里脊肉(17.10%)等接近, 高于羊后腿肉(15.50%); 与羊舌(19.40%)和羊肝(17.90%)等其他羊屠宰副产物接近, 高于羊心(13.80%)和羊大肠(13.40%)。驴、马、鸡、鸭、鹅、兔血液样品的蛋白质质量分数与瘦驴肉(21.50%)、马肉(20.10%)、鸡肉(19.30%)、鸭肉(15.50%)、鹅肉(17.90%)、兔肉(19.70%)接近。这表明相较于畜禽肉类及其他畜禽屠宰副产物, 畜禽屠宰副产物血液也是一种获取每日营养所需的蛋白质资源。

9 种畜禽血液样品的 IAA 总含量达到 541.50 ~ 578.01 mg/g, 平均值为 558.89 mg/g, 高于小米、小麦、大豆和花生等常见粮食经济作物<sup>[33-35]</sup>, 与不同杂交肉牛、不同品种猪肉的 IAA 含量相近<sup>[36-39]</sup>。9 种畜禽血液的 IAA 总含量符合且超过了 WHO/FAO/UNU 模式、IOM 模式和 FAO 鸡蛋蛋白模式等主要的氨基酸模式谱<sup>[18-20]</sup>。本研究结果表明, 9 种畜禽血液样品的 IAA 中亮氨酸、赖氨酸和缬氨酸相对含量较高, 其中亮氨酸参与维持机体血糖平衡、脂质代谢、蛋白质合成和分解等关键生理过程<sup>[41]</sup>; 赖氨酸是人体的第一 IAA, 也是谷类食物的第一限制氨基酸, 发挥促进生长发育、增强免疫力、提高中枢神经组织的功能<sup>[41]</sup>; 缬氨酸是人体合成各类抗体、激素以及酶类等生物活性物质的原料, 是维持生命活动的重要营养物质<sup>[42-43]</sup>。猪、牛、羊、驴、兔和马血液样品第一限制氨基酸是异亮氨酸, 需要与大豆蛋白、鱼肉、鸡肉、鸡蛋等其他动物蛋白食品搭配补充<sup>[44]</sup>; 鹅血液样品的第一限制氨基酸、马血液样品的第二限制氨基酸都是蛋氨酸 + 半胱氨酸, 搭配蛋类和鱼类蛋白食物可达到膳食平衡; 谷物则可补充畜禽血液制品中赖氨酸的不足<sup>[23]</sup>。

人们摄入食物时, 感官受到食品中化学物质刺激, 形成气味、滋味等综合印象, 称之为食品风味<sup>[45]</sup>。食品风味是决定消费者对食品可接受性的重要质量指标之一, 食品中一类风味系游离氨基酸

含量的多少,直接决定食物风味的浓厚程度<sup>[46]</sup>;如亮氨酸和缬氨酸产生苦感,丙氨酸产生甜感,甘氨酸产生独特甜味,谷氨酸产生明显鲜味等<sup>[47]</sup>。这类游离氨基酸还是很多风味物质的前体物质,如甘氨酸、缬氨酸和丙氨酸显著影响干腌火腿产品的滋味<sup>[47-48]</sup>。本研究结果表明,9 种畜禽血液样品中鲜味氨基酸、甜味氨基酸和苦味氨基酸平均含量分别为 24.03、34.23、66.33 mg/g,低于牛肉(约 53.77、53.00、103.67 mg/g)<sup>[37]</sup>。9 种畜禽血液样品间相比较,羊、牛和马的鲜味氨基酸、甜味氨基酸和苦味氨基酸均显著高于其他样品( $P < 0.05$ )。大家畜的血液比较适宜作为制作风味血肠或血肉肠等风味食品的原材料或辅料。

依据 IAA 平衡模式进行参数评估是分析氨基酸营养特征的主要方法。氨基酸营养价值评估方法和平衡模式谱经过多次改良,将蛋白质生物利用率、人群蛋白质摄入需求以及食物矩阵中吸收情况等因素均考虑在内,并不断更新和优化<sup>[18-20]</sup>。依据 WHO/FAO/UNU 评分模式,9 种畜禽中,鸡血液是唯一各 IAA 的 AAS 评分都优于模式谱要求的样品;猪、牛、羊、鸭、兔除了第一限制氨基酸异亮氨酸外,鹅除了第一限制氨基酸蛋氨酸 + 半胱氨酸外,血液中的各种 IAA 的 AAS 评分都优于模式谱要求;马和驴第一限制氨基酸是异亮氨酸、第二限制氨基酸是蛋氨酸 + 半胱氨酸,其他各 IAA 的 AAS 评分也优于模式谱要求。按照 IOM 标准,猪、牛、羊、驴和马 5 种大家畜的限制氨基酸是异亮氨酸、蛋氨酸 + 半胱氨酸,兔的唯一限制氨基酸为异亮氨酸,鸡、鸭、鹅 3 种家禽的唯一限制氨基酸是蛋氨酸 + 半胱氨酸;按照鸡蛋改良蛋白质模式标准、SRC 系数以及 EAAI 指数,9 种畜禽血液的蛋白质平衡性不如鸡蛋,需要通过膳食搭配以达到平衡,但家禽血液蛋白质平衡性要优于家畜血液。本研究首次应用目前最新的 WHO/FAO/UNU 和 IOM 等氨基酸平衡模式标准,比较评估了 9 种畜禽血液氨基酸营养,从氨基酸特征和蛋白质品质的角度进一步说明了家畜和家禽的血液都是优质的蛋白质资源。

#### 4 结论

本研究比较分析了 6 种家畜和 3 种家禽血液样品的蛋白质和氨基酸组成,并首次应用国际最新的氨基酸平衡模式谱,对 9 种畜禽血液样品的氨基酸特征和蛋白质品质进行了评估。结果表明,畜禽血

液含有 18 种氨基酸,是优质的蛋白质资源,9 种畜禽血液样品的 IAA 含量十分充足,比例基本平衡,与国际推行的氨基酸平衡模式相符合。家畜血液样品的蛋白质含量和 IAA 含量普遍高于家禽,其中,驴血的蛋白质含量最高,羊、牛和马血液样品的 IAA 含量最高;羊、牛和马的鲜味氨基酸、甜味氨基酸和苦味氨基酸含量均显著高于其他血液样品;鸡血样品各 IAA 的 AAS 评分均优于模式谱,其他 8 种畜禽血液样品的限制性氨基酸主要为异亮氨酸、蛋氨酸 + 半胱氨酸;尽管家禽血液样品的蛋白质含量和 IAA 含量较家畜低,但在蛋白质平衡性及蛋白质吸收利用率方面,家禽血液样品优于家畜血液样品。随着我国“绿色”发展理念的深入贯彻落实,人们充分认识到畜禽屠宰血液副产品的巨大价值,近年来我国畜禽血液资源的综合利用得到了较快的发展,但仍有相当余量的畜禽血液资源未得到充分利用,开发潜力较大。本研究从蛋白质营养价值的角度,应用国际最新氨基酸平衡模式谱,系统比较分析了 6 种家畜和 3 种家禽血液的营养价值,为畜禽血液在食品行业上的资源化综合利用提供有益的参考依据。

#### 参考文献:

- [1]汪正熙,王卫,张旭,等. 畜禽血精深加工利用及其研究进展[J]. 农产品加工,2020(6):67-71.
- [2]张露娟. 畜禽血液在食品工业中的应用[J]. 农产品加工,2019(10):58-62.
- [3]邹礼根,赵芸,姜慧燕,等. 农产品加工副产物综合利用技术[M]. 杭州:浙江大学出版社,2013:181-184.
- [4]张柏林,裴家伟,于宏伟. 畜产品加工学[M]. 北京:化学工业出版社,2008:139-142.
- [5]周光宏. 畜产品加工现状与趋势[J]. 中国食品学报,2011,11(9):231-240.
- [6]Phillips S M, Chevalier S, Leidy H J. Protein “requirements” beyond the RDA: implications for optimizing health[J]. Applied Physiology Nutrition and Metabolism, 2016, 41(5):565-572.
- [7]Wu G. Dietary requirements of synthesizable amino acids by animals: a paradigm shift in protein nutrition[J]. Journal of Animal Science and Biotechnology, 2014, 5(1):34.
- [8]黄群,马美湖,杨抚林,等. 畜禽血液血红蛋白的开发利用[J]. 肉类工业,2003(10):19-25.
- [9]王玲. 畜禽血液的开发利用与研究进展[J]. 畜牧兽医杂志, 2018, 37(5):42-43.
- [10]郑召君,张日俊. 畜禽血液的开发与研究进展[J]. 饲料工业, 2014, 35(17):65-70.
- [11]张丽萍,李开雄. 畜禽副产物综合利用技术[M]. 北京:中国轻工业出版社,2009:256-365.

- [12] 汤 驰, 廖清超, 时士成, 等. 驴血资源综合开发利用途径展望[J]. 现代畜牧兽医, 2019(2): 16–19.
- [13] 周 伟, 杨焕民, 张丽萍. 3 种东北鹅血液生物活性成分检测及营养分析评价[J]. 中国兽医学报, 2019, 39(12): 2398–2404.
- [14] 李 静, 陈建兴, 李东岳, 等. 凝固条件对驴血豆腐加工品质的影响[J]. 食品工业, 2020, 41(3): 103–106.
- [15] 王 尧, 张 杰, 韩 璐, 等. 鹅血食用价值及其深度开发的研究进展[J]. 中国畜牧杂志, 2013, 49(8): 68–70, 72.
- [16] 米丽班·霍加艾合买提, 阿迪拉·吐尔孙塔依, 马合木提·买买提明. 马血凝血酶原纯化方法的比较研究[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版), 2018, 37(2): 58–62.
- [17] 周媛媛. 菌酶联合制备兔血抗氧化低聚肽[C]//四川省食品科学技术学会学术年会论文集, 2019: 225–237.
- [18] WHO/FAO/UNU. Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint WHO/FAO/UNU expert consultation [M]. Geneva: WHO Press, 2007: 276.
- [19] IOM. Dietary Reference Intakes: Energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acid, cholesterol, protein and amino acids [M]. Washington DC: the National Academies Press, 2005: 12–15.
- [20] Seligson F H, Mackey L N. Variable predictions of protein quality by chemical score due to amino acid analysis and reference pattern [J]. The Journal of Nutrition, 1984, 114(4): 682–691.
- [21] Oser B L. Method for integrating essential amino acid content in the nutritional evaluation of protein [J]. Journal of the American Dietetic Association, 1951, 27(5): 396–402.
- [22] 朱圣陶, 吴 坤. 蛋白质营养价值评价——氨基酸比值系数法[J]. 营养学报, 1988, 10(2): 187–190.
- [23] Phillips S M. Current concepts and unresolved questions in dietary protein requirements and supplements in adults [J]. Frontiers in Nutrition, 2017, 4: 13.
- [24] 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 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [25] 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 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [26] 国家市场监督管理总局、中国国家标准化管理委员会. 饲料中含硫氨基酸的测定离子交换色谱法: GB/T 15399—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [27] 王光慈. 食品营养学[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2001: 20–40.
- [28] Boye J, Wijesinha – Bettoni R, Burlingame B. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method [J]. The British Journal of Nutrition, 2012, 108 (Suppl2): S183–S211.
- [29] Almeida F N, Htoo J K, Thomson J, et al. 比较美国血制品饲喂断奶仔猪的氨基酸消化率[J]. 饲料工业, 2013, 34(14): 59–64.
- [30] 邹国庆, 吴明文, 张秀民, 等. 喷雾干燥血球蛋白粉体外消化率的测定[J]. 养殖与饲料, 2012(7): 9–11.
- [31] 黄 群, 马美湖, 杨抚林, 等. 畜禽血的开发利用[J]. 肉类研究, 2003(3): 37–40.
- [32] 杨月欣, 王光亚, 潘兴昌. 中国食物成分表[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2009: 300–345.
- [33] USDA. USDA Food Composition Databases[DB/OL]. (2018–9–23)[2018–10–24]. <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>.
- [34] 程 祥, 熊 华, 胡居吾, 等. 富硒花生油和富硒花生蛋白的基本性质研究[J]. 中国油脂, 2013, 38(7): 95–97.
- [35] 李春燕, 迟翠翠, 翟二林, 等. 苹果籽蛋白与大豆蛋白的营养分析比较[J]. 中国农学通报, 2011, 27(20): 119–122.
- [36] 李聚才, 刘自新, 王 川, 等. 不同杂交育肥牛背最长肌氨基酸含量分析研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2013(7): 56–59.
- [37] 李聚才, 刘自新, 王 川, 等. 不同杂交肉牛背最长肌氨基酸含量分析[J]. 肉类研究, 2012, 26(9): 19–22.
- [38] 李兴美, 周 波, 任同苏, 等. 不同体重阶段的东海淮猪肌肉脂肪酸和氨基酸含量分析[J]. 畜牧与兽医, 2011, 43(1): 32–35.
- [39] 吴妹英, 曹长贤, 张 力, 等. 不同品种猪肌肉脂肪酸和氨基酸含量[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2009, 38(2): 166–170.
- [40] Ren M C, Habte – Tsion H M, Liu B, et al. Dietary leucine level affects growth performance, whole body composition, plasma parameters and relative expression of TOR and TNF –  $\alpha$  in juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. Aquaculture, 2015, 448: 162–168.
- [41] Yang Q Q, Suen P K, Zhang C Q, et al. Improved growth performance, food efficiency, and lysine availability in growing rats fed with lysine – biofortified rice [J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 1389.
- [42] 范镇基. L – 缬氨酸[J]. 氨基酸通讯, 1979(2): 41–44.
- [43] Zeisel S H, Blusztajn J K. Choline and human nutrition [J]. Annual Review of Nutrition, 1994, 14: 269–296.
- [44] Kralik G, Kralik Z. Poultry products enriched with nutraceuticals have beneficial effects on human health [J]. Medicinski Glasnik, 2017, 14(1): 1–7.
- [45] Gaul S S. The profile method of flavour analysis [J]. Advance of Food Research, 1957(7): 1–40.
- [46] 王 喆, 袁希平, 王安奎, 等. 牛品种、性别对高档牛肉粗蛋白和氨基酸含量的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2011(5): 633–638.
- [47] 戚巍巍, 徐为民, 徐幸莲, 等. 传统风鸭加工过程中非蛋白氮和游离氨基酸的变化[J]. 江苏农业学报, 2008, 24(2): 190–193.
- [48] Toldrá F, Aristoy M C, Flores M. Contribution of muscle aminopeptidases to flavor development in dry – cured ham [J]. Food Research International, 2000, 33(3): 181–185.