

马黎,张博,鲁绍雄,等.大型迪庆藏猪与野藏杂交猪肌肉全谱游离氨基酸比较[J].江西农业大学学报,2020,42(5):941-952.



大型迪庆藏猪与野藏杂交猪肌肉 全谱游离氨基酸比较

马黎¹,张博²,鲁绍雄^{3,4},张浩²,王孝义³,聂靖茹³,
刘诗意³,王琳³,严达伟^{3,4*},董新星^{3*}

(1.云南农业职业技术学院 畜牧兽医学院,云南 昆明 650212;2.中国农业大学 动物科学技术学院,北京 100094;
3.云南农业大学 动物科学技术学院,云南 昆明 650201;4.云南省动物营养与饲料重点实验室,云南 昆明 650201)

摘要:【目的】旨在研究大型迪庆藏猪与野猪藏猪杂交猪背最长肌熟肉全谱游离氨基酸含量及滋味差异。【方法】选择胎次相同、出生日期相近,体质量20 kg左右的迪庆藏猪和野猪×迪庆藏猪各12头(公母各半),采用相同饲料饲喂,100 kg左右屠宰,采集背最长肌,沸水蒸30 min后用高效液相色谱-四级杆离子阱串联质谱仪检测其全谱游离氨基酸成分及含量,计算并比较差异。【结果】在大型迪庆藏猪及野藏杂交猪背最长肌熟肉中均检测到33种游离氨基酸,野藏杂交猪肌肉全谱游离氨基酸总量、必需氨基酸总量与大型迪庆藏猪无差异($P>0.05$),鲜味氨基酸总量比大型迪庆藏猪低18.74%($P<0.05$),甘氨酸、谷氨酰胺、牛磺酸、磷酸乙醇胺含量分别比大型迪庆藏猪低25.07%、22.83%、52.28%、48.05%($P<0.05$),缬氨酸、酪氨酸、 β -丙氨酸、肌肽含量分别比大型迪庆藏猪高36.35%($P<0.05$)、46.70%($P<0.05$)、11.17%($P<0.05$)、29.76%($P<0.01$)。【结论】野猪杂交会使大型迪庆藏猪肌肉鲜味氨基酸总量、甘氨酸、谷氨酰胺、牛磺酸和磷酸乙醇胺含量降低,缬氨酸、酪氨酸、 β -丙氨酸和肌肽含量提高。与迪庆藏猪相比,野藏杂交猪肌肉氨基酸营养无差异,但是肉的鲜味下降,为大型迪庆藏猪的开发利用提供依据。

关键词:迪庆藏猪;野藏杂交猪;肌肉品质;全谱游离氨基酸;滋味

中图分类号:S828.211 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2020)05-0941-12

Comparison of Full Spectrum Free Amino Acid in Muscle of Large Diqing Tibetan Pig and Hybrid Wild Boar × Tibetan Pig

MA Li¹,ZHANG Bo²,LU Shao-xiong^{3,4},ZHANG Hao²,WANG Xiao-yi³,
NIE Jing-ru³,LIU Shi-yi³,WANG Lin³,YAN Da-wei^{3,4*},DONG Xin-xing^{3*}

(1.Yunnan Vocational and Technical College of Agriculture,Kunming,Yunnan 650212,China;2.College of Animal Science and Technology,China Agricultural University,Beijing 100094,China;3.College of Animal Science and Technology,Yunnan Agricultural University,Kunming,Yunnan 650201,China;4.The Key Laboratory of Nutrition and Feed of Yunnan Province,Kunming,Yunnan 650201,China)

收稿日期:2020-04-18 修回日期:2020-06-14

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD0501200)、云南省农业联合重点项目(2018FG001-003)和云南省重点研发计划项目(2018BB003)

Project supported by the National Key R & D Plan Project (2018YFD0501200), Yunnan Province Agriculture Joint Key Project (2018FG001-003) and Yunnan Key R & D Plan Project (2018BB003)

作者简介:马黎,orcid.org/0000-0002-3976-0432,935936939@qq.com;*通信作者:严达伟,教授,主要从事动物遗传育种研究,orcid.org/0000-0003-2659-783X,1302648630@qq.com;董新星,博士,主要从事动物遗传育种研究,orcid.org/0000-0002-9700-5603,86127447@qq.com。

Abstract: [Objective] The purpose of this experiment was to study the full-spectrum free amino acid content and taste difference of Diqing Tibetan pig (TP) and the effect of hybridizing with wild boar $\times$ Tibetan pig (WT). [Method] 12 TPs and 12 WTs with the same parity, similar birth dates, and weighing about 20 kg were selected to be fed with the same feed then slaughtered when they weighed about 100 kg. The longissimus dorsi (LD) was collected and steamed with boiling water for 30 minutes. The composition and content of FAA were detected by high performance liquid chromatography-quadrupole/linear ion trap mass spectrometry (HPLC-Q-Trap-MS), then the differences in FAA were calculated and compared. [Result] The results showed that 33 kinds of FAAs were detected in the LD of large TPs and WTs. There was no significant difference in total FAAs and essential amino acids (EAAs) of the LD between large TPs and WTs ($P > 0.05$). The total flavor amino acids in WTs were 18.74% lower than that in large TPs ($P < 0.05$), and the contents of glycine (Gly), glutamine (Glu), taurine (Tau) and *o*-phosphorylethanolamine (PEtN) in WTs were 25.07%, 22.83%, 52.28% and 48.05% lower than those in large TPs ($P < 0.05$), respectively. The contents of valine (Val), tyrosine (Tyr), β -alanine (bAla) and carnosine (Car) were 36.35% ($P < 0.05$), 46.70% ($P < 0.05$), 11.17% ($P < 0.05$) and 29.76% ($P < 0.01$) higher than those in large TPs, respectively. [Conclusion] In conclusion, crossbreeding with wild boars will reduce the total flavor amino acids and the contents of Gly, Glu, Tau, PEtN in large TP, and increase the contents of Val, Tyr, bAla and Car. Compared with TP, there was no difference in amino acid nutrition of WT, but the meat flavor decreased. In this study, the differences and changing regulation of free amino acid (FAA) in muscle of large Diqing Tibetan Pig (TP) and hybrid wild boar $\times$ Tibetan pig (WT) were analyzed to provide a basis for the development and utilization of large TP.

Keywords: Diqing Tibetan pig; hybrid wild boar $\times$ Tibetan pig; muscle quality; full spectrum free amino acid; taste

【研究意义】随着我国经济社会的发展和消费结构升级,人们的饮食观念已从“吃得饱”向“吃得好”转变,消费者比以往更加关注农产品品质^[1],开展猪肉风味品质的研究,不仅有助于猪肉特色风味品质的精准定位、优质风味猪肉制品的资源挖掘和品种培育,对特色风味猪肉的生产指导和消费引导也具有重要的借鉴和指导意义。【前人研究进展】肉的风味、质地、营养和安全性是影响人们对畜禽肉取舍的决定因素,肉的风味包括滋味和香味,游离氨基酸(free amino acid, FAA)又称非蛋白氨基酸,是一类重要的味道活性成分,肉中游离氨基酸的种类和含量会直接影响其滋味^[2],还可作为前体物与还原糖发生 Maillard 反应和 Strecker 降解反应以影响肉品风味^[2-3],吡嗪和含硫化合物是火腿中重要的挥发性芳香成分,来自于 Maillard 反应和 Strecker 氨基酸降解反应,其前体物质是 FAA^[4],含硫的 Cys 与还原糖反应可生成重要的含硫肉味物质,含氮的游离氨基酸则与糖反应可生成吡嗪等含氮风味化合物^[5]。特定比例的各种 FAA 产生金华火腿滋味和风味特性,来自于 Maillard 反应的挥发性风味物质与温度提高和 FAA 的显著增加呈正相关, Glu 是金华火腿中的主要鲜味物质^[6],猪肉汤中游离氨基酸含量呈现随熬煮时间延长逐渐增加的趋势,谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、天冬氨酸是猪肉汤鲜味浓郁的重要原因之一^[7]。迪庆藏猪是典型的高原型猪种,分为大、中、小三型,大型猪又称大尺猪或大架子猪,体型高大,成年体质量可达 70~150 kg,嘴筒长而粗,耳中等大稍微下垂,背腰长而平直,腹大而不下垂,飞节上部有 2~3 道皱褶,尾粗而长;中型猪又称二虎头猪,头大小适中,耳小微侧伸,体型介于大型和小型之间;小型猪又称荷包猪,头小嘴尖,耳小灵敏^[8],具有肉质细嫩、肉味鲜美等特点^[9]。野猪是重要的兽类资源之一,近年来,部分地方为提高猪的瘦肉率和抗病力,满足人们对野猪肉的猎奇心理,通过人工驯养野猪并与家猪杂交生产野家杂交猪(特种野猪)。据报道:特种野猪具有肉味鲜美、风味独特的优点^[10],有学者分析了子午岭野家杂猪^[11]、阿坝州半野血藏猪^[12]和放牧型合作猪^[13]的挥发性风味成分。【本研究切入点】到目前为止,未见迪庆藏猪及野藏杂交猪肌肉全谱游离氨基酸的报道。【拟解决的关键问题】本试验采用高效液相色谱串联质谱对大型迪庆藏猪和野猪 $\times$ 大型迪庆藏猪(野藏杂交猪)背最长肌熟肉全谱游离氨基酸进行检测和分析,探明大型迪庆

藏猪的肉品滋味特性、营养价值及野猪杂交对其肌肉全谱游离氨基酸的影响,为特种野猪肉品滋味评价提供依据,为大型迪庆藏猪的深入研究和开发利用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选择胎次相同,出生日期相近,体质量 20 kg 左右的大型迪庆藏猪和野藏杂交猪各 12 头(公母各半),在云南省香格里拉市绿源生态种养专业合作社藏猪养殖基地进行饲养试验,试验期 210 d,各组猪只体质量见表 1。

表 1 试验猪只分组
Tab.1 Group of experimental pigs

品种(组合) Breeds(Crossbreed)	头数/头 n	开始日龄/d Beginning age	开始体质量/kg Initial weight	结束日龄/d Finishing age	结束体质量/kg Finishing weight
大型迪庆藏猪 Large Diqing Tibetan pig	12	120.00±2.00	20.16±0.74	330.00±2.00	106.40±2.07
野猪×大型迪庆藏猪 Wild boar×Tibetan pig	12	119.00±3.00	19.80±0.79	329.00±3.00	106.88±1.10

同行无字母或肩标字母相同表示差异不显著($P>0.05$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),下同

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), and with different capital letter superscripts mean significant difference ($P<0.01$).The same as below

1.2 日粮组成及营养水平

参照我国猪饲养标准 NY/T65-2004 设计前、后期 2 个阶段的日粮配方,各阶段的配方组成及营养水平见表 2。

表 2 试验饲粮组成及营养水平(干物质基础)
Tab.2 Composition and nutrient levels of experimental diets(DM basis) %

项目 Items	含量 Contents		项目 Items	含量 Contents	
	20~60 kg阶段 Stage of 20~60 kg live weight	60~110 kg阶段 Stage of 60~110 kg live weight		20~60 kg阶段 Stage of 20~60 kg live weight	60~110 kg阶段 Stage of 60~110 kg live weight
原料 Ingredients			营养水平 Nurient levels ²⁾		
玉米 Corn	60.50	61.30	消化能/(MJ·kg ⁻¹) DE	13.31	13.27
豆粕 Soybean meal	16.00	13.20	蛋白质 CP	15.20	14.21
小麦麸 Wheat bran	8.50	8.50	粗纤维 CF	5.06	5.47
米糠 Rice bran	8.00	10.00	钙 Ca	0.55	0.46
鱼粉 Fish meal	3.00	3.00	总磷 Total P	0.46	0.37
预混料 Premix ¹⁾	4.00	4.00			
合计 Total	100.00	100.00			

¹⁾预混料为每千克饲粮提供: V_A 1 200 IU, VD₃ 140 IU, VE 10 IU, VK₃ 0.5 mg, VB₁ 1.2 mg, VB₂ 4.5 mg, VB₆ 3.0 mg, 烟酸 nicotinic acid 6.50 mg, 泛酸 6.0 mg, 叶酸 0.3 mg, 生物素 0.05 mg, Ca 0.46 kg, P 0.46 kg, Fe(as ferrous sulfate) 55 mg, Cu(as copper sulfate) 3.0 mg, Mn(as manganese sulfate) 2.0 mg, Zn(as zinc sulfate) 50 mg, I(as potassium iodide) 0.13 mg, Se(as sodium selenite) 0.14 mg. ²⁾营养水平为计算值

¹⁾The premix provided the following per kg of diets: V_A 1 200 IU, VD₃ 140 IU, VE 10 IU, VK₃ 0.5 mg, VB₁ 1.2 mg, VB₂ 4.5 mg, VB₆ 3.0 mg, pantothenic acid 6.0 mg, folic acid 0.3 mg, biotin 0.05 mg, Ca 0.46 kg, P 0.46 kg, Fe(as ferrous sulfate) 55 mg, Cu (as copper sulfate) 3.0 mg, Mn(as manganese sulfate) 2.0 mg, Zn(as zinc sulfate) 50 mg, I(as potassium iodide) 0.13 mg, Se(as sodium selenite) 0.14 mg. ²⁾Nutrient levels were all calculated values

1.3 试验方法

1.3.1 试验猪的饲养管理 试验猪饲养在同一幢半封闭水泥地面猪舍,小栏群养,4头/栏。日投料3次、自由采食,每天称剩余料量并计算日采食量,自由饮水,免疫、驱虫等按猪场正规要求进行。

1.3.2 肌肉游离氨基酸含量测定 当试验猪平均体质量达100 kg左右时进行屠宰,取左侧胴体第1至第2腰椎处背最长肌约100 g,置于蒸锅上层沸水蒸30 min后,置于自封袋内-20℃速冻并送至凡星博奥(北京)科技有限公司进行游离氨基酸测定。

主要仪器与试剂:HPLC-MS/MS(LC液相:戴安公司;Ultimate3000-MS质谱:美国AB公司,API 3200 Q TRAP);MSLAB-45+AA氨基酸试剂盒(批号:MSLAB45160701#);分析纯甲醇、己腈等均购自fisher。

液相色谱条件:色谱柱MSLab45AA-C18(150 mm×4.6 mm×5 μm),柱温:50℃,流速:1 mL/min,流动相:A水相,水(1%甲酸);B有机相,乙腈(1%甲酸),进样量:5 μL。

质谱条件:+ESI电喷雾离子源(electron spray ionization, ESI),喷雾电压+5 500 V,雾化气55 psi,辅助气60 psi,MRM多反应监测扫描,碰撞气设为Medium,雾化温度500℃,气帘气20 psi,碰撞室射出电压2.0 V,射入电压10 V。

1.3.3 氨基酸呈味特征 不同种类氨基酸具有不同呈味特征,氨基酸呈味特征按文献[14-16]确定。

1.4 数据处理

所有数据用SAS V9.0软件进行单因素方差分析,所用模型为:

$$Y_{ij} = \mu + a_i + e_{ij}$$

模型中, Y_{ij} 为性状观察值, μ 为群体均数, a_i 为处理效应, e_{ij} 为随机误差效应。根据以上模型,采用SAS9.0的GLM过程进行数据的统计分析,结果以“最小二乘均数±标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 大型迪庆藏猪及野藏杂交猪肌肉全谱游离氨基酸比较

在大型迪庆藏猪和野藏杂交猪背最长肌熟肉中均检测到9种人体必需氨基酸、10种非必需氨基酸、14种非蛋白质编码氨基酸(表3),含量较多的游离氨基酸是Car、Ans、Ile、Tau、Ala、Gln、Gly、Sar,这8种氨基酸之和分别占全谱游离氨基酸总量的95.25%、95.42%;野藏杂交猪Gly、Gln、Tau、PEtN含量显著低于大型迪庆藏猪($P<0.05$),Val、Tyr、bAla含量显著高于大型迪庆藏猪($P<0.05$),Car含量极显著高于大型迪庆藏猪($P<0.01$)。

2.2 大型迪庆藏猪与野藏杂交猪肌肉呈味氨基酸比较

游离氨基酸是重要的滋味呈味和香味前体物质,除游离氨基酸的绝对含量外,各种游离氨基酸之间的相对平衡也是决定肉类滋味的因素^[17],由表4可以看出,大型迪庆藏猪、野藏杂交猪风味(鲜味、甜味)氨基酸与不良风味(苦味、酸味)氨基酸的比值分别为0.91、0.84,野藏杂交猪肌肉鲜味氨基酸总量比大型迪庆藏猪低18.74%($P<0.05$)。

2.3 大型迪庆藏猪及野藏杂交猪肌肉鲜味游离氨基酸比较

由表5可见,在大型迪庆藏猪和野藏杂交猪背最长肌熟肉中含量最高的鲜味游离氨基酸是Ala,其次是Gln和Ser,野藏杂交猪Gln含量比大型迪庆藏猪低22.83%($P<0.05$),Asp、Ser、Glu、Ala的含量也有降低的趋势($P>0.05$)。

2.4 大型迪庆藏猪及野藏杂交猪肌肉甜味游离氨基酸比较

由表6可见,大型迪庆藏猪和野藏杂交猪背最长肌熟肉中含量最高的甜味游离氨基酸是Ala,其次是Gln和Gly,野藏杂交猪Gln、Gly含量分别比大型迪庆藏猪低22.83%、25.07%($P<0.05$),Val含量比大型迪庆藏猪高36.35%($P<0.05$)。

2.5 大型迪庆藏猪与野藏杂交猪肌肉酸味游离氨基酸比较

表7可见,大型迪庆藏猪背最长肌熟肉中含量最高的酸味游离氨基酸是Ser,其次是Glu和His,野藏杂交猪最高的是Thr,其次是Ser和His,野猪杂交对大型迪庆藏猪肌肉酸味游离氨基酸无显著影响($P>0.05$)。

表 3 野藏杂交猪和大型迪庆藏猪的肌肉全谱游离氨基酸含量($n=12, \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Tab.3 Contents of free amino acids in muscles of large Diqing Tibetan pig and its hybrid wild boar

游离氨基酸 Free amino acids		大型迪庆藏猪 Large Diqing Tibetan pig	野藏杂交猪 Wild boar×Tibetan pig
必需氨基酸 Essential amino acid	异亮氨酸 Ile	710.91±171.25	600.12±132.65
	缬氨酸 Val	33.04±3.65 ^b	45.05±2.83 ^a
	亮氨酸 Leu	31.61±2.80	37.51±2.17
	赖氨酸 Lys	26.31±6.83	40.03±5.29
	组氨酸 His	22.05±2.21	24.12±1.72
	苏氨酸 Thr	20.69±2.54	25.75±1.97
	苯丙氨酸 Phe	19.94±2.04	21.70±1.58
	色氨酸 Trp	11.81±1.14	14.78±0.89
	蛋氨酸 Met	8.29±1.02	11.39±0.79
非必需氨基酸 Non-essential amino acids	丙氨酸 Ala	174.24±19.88	143.74±15.40
	谷氨酰胺 Gln	124.50±9.06 ^a	96.08±7.02 ^b
	甘氨酸 Gly	108.90±9.69 ^a	81.60±7.51 ^b
	脯氨酸 Pro	36.65±3.05	43.76±2.36
	丝氨酸 Ser	34.80±2.95	25.72±2.29
	精氨酸 Arg	30.83±2.47	37.96±1.92
	谷氨酸 Glu	26.15±2.76	22.62±2.14
	酪氨酸 Tyr	16.81±1.57 ^b	24.66±1.22 ^a
	天门冬酰胺 Asn	11.21±0.78	12.17±0.61
	天门冬氨酸 Asp	3.41±0.45	2.25±0.35
非蛋白质编码氨基酸 Non-protein-coding amino acids	肌肽 Car	5 907.84±364.50 ^b	7 665.79±282.30 ^a
	鹅肌肽 Ans	951.71±158.81	893.50±123.00
	牛磺酸 Tau	383.90±50.98 ^a	183.20±39.49 ^b
	肌氨酸 Sar	63.09±6.01	59.72±4.66
	磷酸乙醇胺 PEtN	16.44±1.81 ^a	8.54±1.40 ^b
	瓜氨酸 Cit	14.51±2.18	15.25±1.69
	β-丙氨酸 bAla	14.33±3.44 ^b	15.93±2.66 ^a
	鸟氨酸 Orn	14.26±0.89	15.15±0.69
	5-羟基赖氨酸 Hyl	9.79±1.55	8.56±1.20
	2-氨基正丁酸 Abu	5.80±1.13	4.00±0.55
	羧基脯氨酸 Hyp	4.20±0.27	3.61±0.21
	同型丝氨酸 Hser	3.20±0.32	3.34±0.24
	乙醇胺 EtN	2.03±0.55	1.85±0.43
	γ-氨基丁酸 GABA	1.85±0.18	1.89±0.14
	必需氨基酸总量 Total essential amino acid	884.65±21.50	820.45±16.15
	非必需氨基酸总量 Total non-essential amino acids	567.50±5.20	490.56±4.07
	非蛋白质编码氨基酸总量 Total non-protein-coding amino acids	7 392.95±42.30	8 880.30±32.70
	全谱游离氨基酸总量 Total free amino acids	8 845.10±570.10	10 190.50±441.60

同行无字母或肩标字母相同表示差异不显著($P>0.05$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),下同

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), and with different capital letter superscripts mean significant difference ($P<0.01$). The same as below

表 4 大型迪庆藏猪及野猪杂交猪肌肉呈味游离氨基酸含量 ($n=12, \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Tab.4 Contents of taste amino acids in muscles of large
Diqing Tibetan pig and its hybrid wild boar

呈味游离氨基酸 Taste free amino acids	大型迪庆藏猪 Large Diqing Tibetan pig	野藏杂交猪 Wild boar×Tibetan pig
鲜味氨基酸 Flavor amino acids	371.39±36.13 ^a	301.80±27.98 ^b
甜味氨基酸 Sweet amino acids	627.91±64.08	581.06±49.63
酸味氨基酸 Sour amino acids	118.31±11.70	112.63±9.06
苦味氨基酸 Bitter amino acids	984.35±201.64	942.60±156.19

表 5 大型迪庆藏猪及野猪杂交猪肌肉鲜味游离氨基酸含量 ($n=12, \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Tab.5 Contents of flavor amino acids in muscles of large
Diqing Tibetan pig and its hybrid wild boar

鲜味游离氨基酸 Flavor free amino acids	大型迪庆藏猪 Large Diqing Tibetan pig	野藏杂交猪 Wild boar×Tibetan pig
丙氨酸 Ala	174.24±19.88	143.74±15.40
谷氨酰胺 Gln	124.50±9.06 ^a	96.08±7.02 ^b
丝氨酸 Ser	34.80±2.95	25.72±2.29
谷氨酸 Glu	26.15±2.76	22.62±2.14
蛋氨酸 Met	8.29±1.02	11.39±0.79
天冬氨酸 Asp	3.41±0.45	2.25±0.35

表 6 大型迪庆藏猪及野猪杂交猪肌肉甜味游离氨基酸含量 ($n=12, \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Tab.6 Contents of sweet amino acids in muscles of large
Diqing Tibetan pig and its hybrid wild boar

甜味游离氨基酸 Sweet free amino acids	大型迪庆藏猪 Large Diqing Tibetan pig	野藏杂交猪 Wild boar×Tibetan pig
丙氨酸 Ala	174.24±19.88	143.74±15.40
谷氨酰胺 Gln	124.50±9.06 ^a	96.08±7.02 ^b
甘氨酸 Gly	108.9±9.69 ^a	81.60±7.51 ^b
脯氨酸 Pro	36.65±3.05	43.76±2.36
丝氨酸 Ser	34.80±2.95	25.72±2.29
缬氨酸 Val	33.04±3.65 ^b	45.05±2.83 ^a
精氨酸 Arg	30.83±2.47	37.96±1.92
赖氨酸 Lys	26.31±6.83	40.03±5.29
组氨酸 His	22.05±2.21	24.12±1.71
苏氨酸 Thr	20.69±2.54	25.75±1.97
蛋氨酸 Met	8.29±1.02	11.39±0.79
羟基脯氨酸 Hyp	4.20±0.27	3.61±0.21
天冬氨酸 Asp	3.41±0.45	2.25±0.35

2.6 大型迪庆藏猪与野藏杂交猪肌肉苦味游离氨基酸比较

由表 8 可见,大型迪庆藏猪及野藏杂交猪背最长肌熟肉中含量最高的苦味游离氨基酸是 Ile,其次是 Pro 和 Val;野藏杂交猪 Val、Tyr 含量比大型迪庆藏猪高 36.35%、46.70% ($P<0.05$),除 Ile、Hyp 外,Pro、Leu、Arg 等 10 种苦味氨基酸也有提高的趋势 ($P>0.05$)。

表 7 大型迪庆藏猪与野猪杂交猪肌肉酸味游离氨基酸含量($n=12, \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Tab.7 Contents of sour amino acids in muscles of large
Diqing Tibetan pig and its hybrid wild boar

酸味游离氨基酸 Sour free amino acid	大型迪庆藏猪 Large Diqing Tibetan pig	野藏杂交猪 Wild boar×Tibetan pig
丝氨酸 Ser	34.80±2.95	25.72±2.29
谷氨酸 Glu	26.15±2.76	22.62±2.14
组氨酸 His	22.05±2.21	24.12±1.71
苏氨酸 Thr	20.69±2.54	25.75±1.97
天门冬酰胺 Asn	11.21±0.78	12.17±0.61
天冬氨酸 Asp	3.41±0.45	2.25±0.35

表 8 大型迪庆藏猪与野猪杂交猪肌肉苦味游离氨基酸含量($n=12, \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Tab.8 Contents of bitter amino acids in muscles of large
Diqing Tibetan pig and its hybrid wild boar

苦味游离氨基酸 Bitter free amino acid	大型迪庆藏猪 Large Diqing Tibetan pig	野藏杂交猪 Wild boar×Tibetan pig
异亮氨酸 Ile	710.91±171.25	600.12±132.65
脯氨酸 Pro	36.65±3.05	43.76±2.36
缬氨酸 Val	33.04±3.65 ^b	45.05±2.83 ^a
亮氨酸 Leu	31.61±2.80	37.51±2.17
精氨酸 Arg	30.83±2.47	37.96±1.92
赖氨酸 Lys	26.31±6.83	40.03±5.29
组氨酸 His	22.05±2.21	24.12±1.71
苏氨酸 Thr	20.69±2.54	25.75±1.97
苯丙氨酸 Phe	19.94±2.04	21.70±1.58
酪氨酸 Tyr	16.81±1.57 ^b	24.66±1.22 ^a
色氨酸 Trp	11.81±1.14	14.78±0.89
天门冬酰胺 Asn	11.21±0.78	12.17±0.61
蛋氨酸 Met	8.29±1.02	11.39±0.79
羟脯氨酸 Hyp	4.20±0.27	3.61±0.21

3 讨论与结论

3.1 野猪杂交对大型迪庆藏猪肌肉游离氨基酸的影响

本试验发现,野藏杂交猪背最长肌熟肉中甘氨酸(Gly)、谷氨酰胺(Gln)、牛磺酸(Tau)、磷酸乙醇胺(PEtN)含量显著低于大型迪庆藏猪($P<0.05$),缬氨酸(Val)、酪氨酸(Tyr)、 β -丙氨酸(bAla)含量显著高于大型迪庆藏猪($P<0.05$),肌肽(Car)含量极显著高于大型迪庆藏猪($P<0.01$)。Gly、Gln、Tau 下降及 Val、Tyr、bAla、Car 含量提高的可能原因是:野猪杂交后的野藏杂交猪依然有一定野性,与人的亲和性较差、胆小怕人,饲养中为躲避饲养管理人员,运动量加大、Gly 含量提高,能量需要增加,正常供能不足、Val 含量提高;机体一方面通过调控酪氨酸代谢途径提高 Tyr 含量以提高运动耐受力,调控谷氨酰胺代谢途径释放肌肉 Gln 氧化供能提供运动能力,引起 Gln 下降;另一方面,机体调控 bAla、Car、Tau 代谢通路,bAla 提高以提高短期高强度运动能力,bAla 提高引起 Car 提高、Tau 下降,机体供能增加,弥补其运动量加大而增加的能耗需要。据研究,Gly 作为一种抑制性神经递质,其含量减少反映动物运动

量增加,饮食增加或机体代谢提高^[18];Val为生糖氨基酸,属支链氨基酸(Branched-Chain Amino Acids, BCAA)之一,BCAA是唯一主要在肝外组织氧化的必需氨基酸,主要氧化部位在肌肉^[19],BCAA在体内分解产生ATP的效率高于其他氨基酸,当饥饿、长时间运动时,BCAA在脑和肌肉中的氧化量会提高^[20],Val含量升高,表明其参与的代谢反应受阻,Val在体内造成了积累,Val产生能量减少,一定程度上造成了体内供能不足^[21];游离Tyr是合成甲状腺素的前体物质,甲状腺的功能状态与机体代谢产热以及热调节有关,在机体代谢过程中,酪氨酸转氨酶催化肝脏中的Tyr脱去氨基,转变成酮酸,然后降解供能^[22],给运动小鼠注射Tyr能够通过抑制5-羟色胺生成而抑制运动性食欲减退,提高小鼠采食量和运动耐受力^[23];Gln是生糖氨基酸,是糖异生供能的重要能源物质,运动中骨骼肌收缩消耗大量能量,在糖氧化供能不足的情况下,Gln糖异生作用增强,Gln经谷氨酰胺酶脱氢水解,生成Glu,Glu在转氨酶催化后直接进入三羧酸循环氧化供能,提高运动能力^[24],骨骼肌是体内主要合成和储藏Gln的场所^[25],在应激状态下,动物的Gln需要急剧增加,为满足需要,骨骼肌内的Gln库大量释放Gln以满足机体在此状态下对Gln分解代谢的强烈需求^[26];bAla是 α -丙氨酸的同分异构体,bAla除了参与维生素泛酸和辅酶A的组成外,在机体内的主要作用是合成Car^[27],无论是职业运动员还是普通人群,合理补充bAla后可提高短时间高强度运动的能力^[28];Car由肌肽合成酶利用bAla和L-组氨酸合成^[29],合成Car的速率主要受bAla影响,外源添加bAla有利于提高肌肽合成酶米氏常数值,增加Car含量^[30-31],肌肉中Car含量是影响动力性和等长收缩运动的运动能力的决定性因素之一^[32],Car含量提高能够增强短时间、大强度项目运动员的运动机能^[33],但因bAla与Tau在细胞摄取时具有相同的转运载体,bAla升高可能对Tau的摄取产生竞争抑制^[34],引起Tau降低^[35-38]。但是本研究测定的是熟肉中的全谱游离氨基酸,不能确定氨基酸及其衍生物的变化究竟是野猪杂交导致还是猪肉加热蒸制导致,尚需测定生肉中的全谱氨基酸,用氨基酸代谢通路分析软件分析代谢物上/下调情况、变量权重和显著性变化,了解其在生命活动过程中参与的代谢通路^[1],进一步利用体外细胞试验及模式动物试验加以验证;PEtN降低的原因则有待进一步研究。

Gly是最简单的氨基酸,作为肉类天然防腐剂,是清除自由基的强效抗氧化剂^[39],在体内参与嘌呤类、卟啉类、肌酸等多种活性物质合成,在某些病理情况下Gly可表现出抗损伤、抗炎、免疫调节和细胞保护作用^[40-42],Gly对正常饮食和高脂饮食小鼠都有降低体重和体脂含量的作用,并能降低血脂,有预防肝脂肪变的作用^[43],在运动情况下Gly是人体重要的能源物质—肌酸的重要原料^[44-45];Gln具有增加蛋白质的合成、维持肠黏膜的完整、作为免疫细胞复制的原料等生理功能,在外科手术后,胃肠道疾病,减轻肿瘤化疗相关黏膜炎、黏膜萎缩,慢性阻塞性肺病等危重症治疗方面有较好的应用^[46];Tau在维持视觉功能、调节渗透压、调节Ca²⁺稳定、抗氧化、免疫调节、抗细胞凋亡等方面功能齐全^[47-49],在抗癌^[50]、抗肿瘤^[51]、保护心血管^[52]等方面具有重要药理作用;野藏杂交猪肌肉Gly、Gln和Tau下降说明其食用后的生理功能降低。Val能够抑制组织蛋白的降解,改善畜禽胴体品质,低蛋白质饲料补充Val能提高肉鸡生长性能和抗氧化能力^[53];Tyr是黑色素合成的前体物质^[54],在一定的Tyr水平范围内,提高日粮Tyr水平可提高泰和乌骨鸡血清及组织中游离Tyr含量、组织中黑色素含量和生产性能^[55];Car浓度的增加可使钙蛋白酶活化加快,从而加快肌肉熟化,提高肌肉嫩度,改善肉质^[56],Car作为一种天然抗氧化剂,对猪肉匀浆中脂类氧化有显著抑制作用,可以延长冷鲜肉的保存时间^[57],在人体细胞内,Car作为一种天然的抗糖基化试剂,同时保护细胞免受糖基化终产物引起的其它伤害^[58],具有抗氧化、抗衰老、抗疲劳、维持pH稳定等特性,在治疗白内障、自闭症和帕金森等疾病方面也具有一定的作用^[59-60],在预防神经性疾病方面也具有一定的药理学作用^[61];野藏杂交猪肌肉Val、Tyr、bAla和Car提高,食用后的生理功能较好。迪庆藏猪和野藏杂交猪肌肉中Gly、Gln、Car等小分子功能活性物质有高有低,两种猪肉的营养生理功能各有千秋。

3.2 野猪杂交对大型迪庆藏猪的肌肉全谱游离氨基酸营养价值的影响

氨基酸是生命的基石,也是蛋白质的组成单位。自然界中已发现的氨基酸有180多种,人体内重要

的氨基酸有40多种,包含10种必需氨基酸、20多种蛋白氨基酸和一些有重要生理意义的氨基酸,统称为“全谱氨基酸”^[1]。本试验中,大型迪庆藏猪和野藏杂交猪均检测到33种氨基酸,大型迪庆藏猪必需氨基酸总量(884.65 ± 21.50) mg/kg、非必需氨基酸总量(567.50 ± 5.20) mg/kg有高于野藏杂交猪(820.45 ± 16.15 mg/kg、 490.56 ± 4.07 mg/kg)的趋势($P > 0.05$),非蛋白质编码氨基酸总量($7\,392.95 \pm 42.30$) mg/kg有低于野藏杂交猪($8\,880.30 \pm 32.70$) mg/kg的趋势($P > 0.05$),说明野藏杂交猪肌肉食用后的氨基酸营养价值有可能不如迪庆藏猪,但其非蛋白编码氨基酸等功能活性物质有高于迪庆藏猪的趋势,其营养生理功能有可能要好于迪庆藏猪。

3.3 野猪杂交对大型迪庆藏猪肌肉滋味的影响

本试验发现,大型迪庆藏猪肌肉风味(鲜味、甜味)氨基酸与不良风味(苦味、酸味)氨基酸的比值(0.91)高于野藏杂交猪(0.84);野藏杂交猪肌肉鲜味氨基酸总量显著低于大型迪庆藏猪($P < 0.05$);鲜味Gln含量显著低于大型迪庆藏猪($P < 0.05$),鲜味Asp、Ser、Glu、Ala含量也有低于大型迪庆藏猪的趋势($P > 0.05$);甜味Gly低于大型迪庆藏猪($P < 0.05$);苦味Tyr、Val含量显著高于大型迪庆藏猪($P < 0.05$),His、Arg、Pro等10种苦味氨基酸也有高于大型迪庆藏猪的趋势($P > 0.05$),说明野猪杂交后导致大型迪庆藏猪肌肉风味(鲜味、甜味)氨基酸含量下降,苦味氨基酸含量增加,野藏杂交猪肌肉鲜美滋味不如大型迪庆藏猪。在大型迪庆藏猪及野藏杂交猪背最长肌熟肉中均检测到33种游离氨基酸,以Car、Ans、Ile、Tau、Ala、Gln、Gly和Sar为主要成分,野藏杂交猪与大型迪庆藏猪全谱游离氨基酸总量、必需氨基酸总量、非必需氨基酸总量及非蛋白质编码氨基酸总量差异不显著。野猪杂交会降低大型迪庆藏猪背最长肌熟肉Gly、Gln、Tau、PEtN含量,提高Val、Tyr、bAla和Car含量。野藏杂交猪肌肉鲜味氨基酸总量低于大型迪庆藏猪,肌肉鲜美滋味不如大型迪庆藏猪。

参考文献:

- [1] 许彦阳,姚桂晓,刘平香,等.代谢组学在农产品营养品质检测分析中的应用[J].中国农业科学,2019,52(18):3163-3176.
Xu Y Y, Yao G X, Liu P X, et al. Review on the application of metabolomic approaches to investigate and analysis the nutrition and quality of agro-products[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(18): 3163-3176.
- [2] Dashdorj D, Amma T, Hwang I. Influence of specific taste-active components on meat flavor as affected by intrinsic and extrinsic factors: an overview[J]. European Food Research and Technology, 2015, 241(2): 157-171.
- [3] Jurado A, Garcia C, Timon M L, et al. Effect of ripening time and rearing system on amino acid-related flavour compounds of Iberian ham[J]. Meat Science, 2007, 75(4): 585-594.
- [4] Careri M, Mangia A, Barbieri G, et al. Sensory property relationship to chemical data of Italian-type dry-cured ham[J]. Journal of Food Science, 2006, 58(5): 968-972.
- [5] Farmer L J. The role of nutrients in meat flavor formation[J]. Proceedings of the Nutrition Society, 1994, 53(2): 327-330.
- [6] 章建浩,周光宏,朱健辉,等.金华火腿传统加工过程中游离氨基酸和风味物质的变化及其相关性[J].南京农业大学学报,2004,27(4):96-100.
Zhang J H, Zhou G H, Zhou J H, et al. Changes of free-amino acid and volatile flavor compounds and its correlations in traditional processing of Jinhua ham[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2004, 27(4): 96-100.
- [7] 杨平,王瑶,宋焕禄,等.不同熬制条件下猪肉汤中滋味成分的变化[J].中国食品学报,2018,18(12):247-260.
Yang P, Wang Y, Song H L, et al. Analysis of non-volatile flavor components in pork broth with different cooking conditions[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(12): 247-260.
- [8] 云南省畜牧局,云南省家畜家禽品种编写委员会.云南省家畜家禽品种志[M].昆明:云南科技出版社,1987:221-228.
Animal husbandry bureau of Yunnan Province, Editorial board of breeding of livestock and poultry of Yunnan Province. Breeds of Livestock and Poultry in Yunnan Province[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1987: 221-228.
- [9] 严达伟,赵桂英,苟潇,等.迪庆藏猪肉质特性的研究[J].云南农业大学学报,2007,22(1):86-91.
Yan D W, Zhao G Y, Gou X, et al. Study on characteristics of Diqing Tibetan pig's meat quality[J]. Journal of Yunnan Agricultural University(Natural Science), 2007, 22(1): 86-91.

- [10] 张家富,何若钢,覃小荣,等.特种野猪胴体及肉质性状的研究[J].养猪,2012(6):57-59.
Zhang J F, He R G, Qin X R, et al. The study about carcass and meat quality of crossbred from wild boar and pigs[J]. Swine Production, 2012(6):57-59.
- [11] 陈国顺.子午岭野家杂种猪和合作猪肉质特性比较及风味挥发性成分的提取与分析[D].兰州:甘肃农业大学,2004.
Chen G S. Comparison of meat quality and analysis of flavor chemical components of crossbred pigs bred by *Sus scrofa* from Ziuling Mountain and Hezuo pig[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University In Partial Fulfilment of the Requirements, 2004.
- [12] 蔡原,赵有璋,蒋玉梅,等.顶空固相微萃取-气-质联用检测合作猪肉挥发性风味成分[J].西北师范大学学报(自然科学版),2006,42(4):74-78.
Cai Y, Zhao Y Z, Jiang Y M, et al. Determination of volatile compounds of Hezuo swine by GC-MS and headspace solid phase microextraction[J]. Journal of Northwest Normal University (Natural Science), 2006, 42(4):74-81.
- [13] 李铁志,王明,雷激.阿坝州半野血藏猪肉挥发性风味物质的研究[J].食品科技,2015,40(10):124-130.
Li T Z, Wang M, Lei J. Volatile flavor compounds of semi-wild-blood Aba Tibetan pork[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(10):124-130.
- [14] Kirimura J, Shimizu A, Kimizuka A, et al. Contribution of peptides and amino acids to the taste of foods[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1969, 17(4):689-695.
- [15] Shallenberger R S. Taste chemistry[M]. London: Blackie Academic and Professional, 1993:226-233.
- [16] Chen D W, Zhang M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3):1200-1205.
- [17] Lotfy S N, Fadel H H, Ei-ghorab A H, et al. Stability of encapsulated beef-like flavourings prepared from enzymatically hydrolysed mushroom proteins with other precursors under conventional and microwave heating[J]. Food Chemistry, 2015, 187(15):7-13.
- [18] Zheng P, Gao H C, Li Q, et al. Plasma metabolomics as a novel diagnostic approach for major depressive disorder[J]. Journal of Proteome Research, 2012, 11(3):1741-1748.
- [19] 王艳华,许梓荣.支链氨基酸对泌乳母猪的营养研究进展[J].中国畜牧杂志,2002,38(1):43-46.
Wang Y H, Xu Z R. The nutritional study of branched-chain amino acids on lactating sows[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2002, 38(1):43-46.
- [20] 易孟霞,易学武,贺喜,等.仔猪缬氨酸需要量的研究进展[J].动物营养学报,2014,26(3):578-584.
Yi M X, Yi X W, He X, et al. Valine requirement of piglets: a review [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(3):578-584.
- [21] 王振召,魏斌斌,陈峥,等.基于核磁共振技术的临床尿毒症的代谢组学研究[J].分析化学,2018,46(9):1415-1423.
Wang Z Z, Wei B B, Chen Z, et al. Nuclear magnetic resonance-based investigation of uremia by metabolomic Analysis[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2018, 46(9):1415-1423.
- [22] Tur J A, Rial R V, Tur J, et al. Effect of thyroidal state on the gastrointestinal transit and emptying of young broilers[J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1987, 87A(3):665-670.
- [23] Avraham Y, Hao S, Mendelson S, et al. Tyrosine improves appetite, cognition, and exercise tolerance in activity anorexia[J]. Medical Science Sports Exercise, 2001, 33(12):2104-2110.
- [24] 曹桂霞,李世昌,白俊伟.谷氨酰胺对机体免疫系统和运动能力的影响[J].中国临床康复,2006,10(16):150-152.
Cao G X, Li S C, Bai J W. Effect of glutamine on immune system and sports ability[J]. Chinese Journal of Clinical Rehabilitation, 2006, 10(16):150-152.
- [25] Bergstrom J, Furs P, Noree L O, et al. Intracellular free amino acid concentration in human muscle tissue[J]. Journal of Applied Physiology, 1974, 36(6):693-697.
- [26] 马洪龙,韩飞,李爱科,等.谷氨酰胺及其结合肽的研究进展[J].粮油食品科技,2014,22(3):76-81.
Ma H L, Han F, Li A K, et al. Research progress in glutamine and its bound peptide[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2014, 22(3):76-81.
- [27] Liu M P, Beigelman L, Levy E, et al. The discrete roles of hepatocytes and non-parenchymal cells in uridine catabolism as a component of uridine homeostasis[J]. The American journal of physiology, 1998, 274(61):G1018-23.

- [28] Berti Z P, Donner A F, Guerini D S C. Effects of beta-alanine supplementation on performance and muscle fatigue in athletes and non-athletes of different sports: a systematic review[J]. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 2017, 57(9):1132.
- [29] Suidasari S, Stautemas J, Uragami S, et al. Carnosine content in skeletal muscle is dependent on vitamin B6 status in rats[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2016, 2:39.
- [30] Lukasiewicz M, Puppel K, Kuczynska B, et al. β -Alanine as a factor influencing the content of bioactive dipeptides in muscles of Hubbard Fles chickens[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2015, 95(12):2562-2565.
- [31] Trexler E T, Smith-ryan A E, Stout J R, et al. International society of sports nutrition position stand: Beta-Alanine[J]. *Journal of International Society of Sports Nutrition*, 2015, 12(1):30.
- [32] Suzuki Y, Ito O, Mukai n, et al. High level of skeletal muscle carnosine contributes to the latter half of exercise performance during 30-s maximal cycle ergometer sprinting[J]. *The Japanese Journal of Physiology*, 2002, 52(2):199-205.
- [33] 孙景权, 叶碧璇, 周海涛, 等. 天然 β -丙氨酸提高运动能力及其机制的研究进展[J]. *中国食物与营养*, 2015, 21(6):64-68.
- Sun J Q, Ye B X, Zhou H T, et al. Research progress on function of β -Alanine on exercise and its mechanism[J]. *Food and Nutrition in China*, 2015, 21(6):64-68.
- [34] Horvath D M, Murphy R M, Mollica J P, et al. The effects of taunine and β -alanine supplementation on taurine transporter protein and fatigue resistance in skeletal muscle from mdx mice[J]. *Anine Acids*, 2016, 48(11):2635-2645.
- [35] Hoffman J, Ratamess N A, Ross R, et al. β -Alanine and the hormonal response to exercise[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 2008, 29(12):952-958.
- [36] Hu X X, Hongtrakul K, Ji C, et al. Effect of carnosine on growth performance, carcass characteristics, meat quality and oxidative stability in broiler chickens[J]. *Journal of Poultry Science*, 2009, 46(4):296-302.
- [37] Cuisinier C, Welle J M D, Verbeeck R K, et al. Role of taurine in osmoregulation during endurance exercise[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2002, 87(6):489-495.
- [38] Artioli G G, Gualano B, Smith A, et al. The role of β -alanine supplementation on muscle carnosine and exercise performance[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2010, 42(6):1162-1173.
- [39] Fand Y Z, Yang S, Wu G Y. Free radicals, antioxidants, and nutrition[J]. *Nutrition*, 2002, 18(10):872-879.
- [40] Xu F L, You H B, Li X H, et al. Glycine attenuates endotoxin-induced liver injury by downregulating TLR4 signaling in Kupffer cells[J]. *American Journal of Surgery*, 2008, 196(1):139-148.
- [41] Yamashina S, Ikejima K, Enomoto N, et al. Glycine as a therapeutic immuno-nutrient for alcoholic liver disease[J]. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 2005, 29(11):162-165.
- [42] Pal P B, Pal S, Das J, et al. Modulation of mercury-induced mitochondria-dependent apoptosis by glycine in hepatocytes[J]. *Amino Acids*, 2012, 42(5):1669-1683.
- [43] 刘靖, 陆大祥, 王华东, 等. 甘氨酸对小鼠体重及脂质代谢的影响[J]. *中国病理生理杂志*, 2005, 21(6):1143-1146.
- Liu J, Lu D X, Wang H D, et al. Effect of glycine on body weight and Lipid metabolism in mice[J]. *Chinese Journal of Pathophysiology*, 2005, 21(6):1143-1146.
- [44] Shoham S, Javitt D C, Heresco-Levy U. High dose glycine nutrition affects glial cell morphology in rat hippocampus and cerebellum[J]. *International Journal of Neuropsychopharmacology*, 1999, 2(1):35-40.
- [45] Shoham S, Javitt D C, Heresco-Levy U. Chronic high-dose glycine nutrition: effects on rat brain cell morphology[J]. *Biological Psychiatry*, 2001, 49(10):876-885.
- [46] 王晶, 左小霞, 张晔. 谷氨酰胺临床应用研究进展[J]. *人民军医*, 2013, 56(4):469-470.
- Wang J, Zuo X X, Zhang Y. Research progress on clinical application of glutamine[J]. *People's Military Surgeon*, 2013, 56(4):469-470.
- [47] Zhang X L, Wang X H, Zhang J, et al. Effects of taurine on alterations of neurobehavior and neurodevelopment key proteins expression in infant rats by exposure to hexabromocyclododecane[J]. *Oxygen Transport to Tissue xxxiii*, 2017:119-130.
- [48] Ripps H, Shen W. Review: taurine: a "very essential" amino acid[J]. *Molecular Vision*, 2012, 18(274-77):2673-86.
- [49] Murakami S. Role of taurine in the pathogenesis of obesity[J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2015, 59(7):

- 1353-1363.
- [50] Zhang X, Tu S, Wang Y, et al. Mechanism of taurine-induced apoptosis in human colon cancer cells[J]. *Acta Biochimica Et Biophysica Sinica*, 2014, 46(4): 261.
- [51] 宋玉美, 贺瑜, 梁柏莹, 等. 牛磺酸对裸鼠乳腺癌模型肿瘤生长的影响及其机制[J]. *中国癌症防治杂志*, 2016, 8(5): 269-272.
- Song Y M, He Y, Liang B Y, et al. Effects of taurine on tumor growth in a nude mouse breast cancer model[J]. *Chinese Journal of Oncology Prevention and Treatment*, 2016, 8(5): 269-272.
- [52] Thaeomor A, Teangphuck P, Chaisakul J, et al. Perinatal taurine supplementation prevents metabolic and cardiovascular effects of maternal diabetes in adult rat offspring[J]. *Advances in Experimental Medicine & Biology*, 2017, 975: 295.
- [53] 陈将, 刘国华, Pirzadeh S A, 等. 低蛋白质饲料补充缬氨酸对肉鸡生长性能、屠宰性能和血清指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(4): 1604-1612.
- Chen J, Liu G H, Pirzadeh S A, et al. Effects of valine supplementation in low-protein diets on growth performance slaughter performance and serum indices of broilers[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(4): 1604-1612.
- [54] 朱庆, 周海龙. 乌骨鸡黑色素生成的分子机理[J]. *中国家禽学报*, 2003, 7(1): 115-117.
- Zhu Q, Zhou H L. Molecular mechanism of melanin production in silky fowl[J]. *Chinese Poultry Science*, 2003, 7(1): 115-117.
- [55] 赵艳平, 黎观红, 瞿明仁, 等. 日粮酪氨酸水平对9-12周龄泰和乌骨鸡生产性能及组织黑色素含量的影响[J]. *饲料工业*, 2010, 31(3): 26-30.
- Zhao Y P, Li G H, Qu M R, et al. Effects of dietary tyrosine levels on production performance and tissue melanin content of Thai and Silky fowls aged 9-12 weeks[J]. *Feed Industry*, 2010, 31(3): 26-30.
- [56] Mannion A F, Jakeman P M, Dunnett M, et al. Carnosine and anserine concentrations in the quadriceps femoris muscle of healthy humans[J]. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 1992, 64(1): 47-50.
- [57] 邢子鑫, 朱秋劲. 肌肽对猪肉的氧化抑制和保鲜作用[J]. *肉类研究*, 2009, 128(10): 8-12.
- Xing Z X, Zhu Q J. Studies on antioxidant activities and refreshment of carnosine for pork[J]. *Meat Research*, 2009, 128(10): 8-12.
- [58] Boldyrev A A, Gallant S C, Sukhich G T. Carnosine the protective, anti-aging peptide[J]. *Bioscience Reports*, 1999, 19(6): 581-588.
- [59] Pierro F D, Bertuccioli A, Bressan A, et al. Carnosine-based supplement[J]. *Nurafoods*, 2011, 10(2/3): 43-47.
- [60] Guiotto A, Calderan A, Ruzza P, et al. Carnosine and carnosine-related antioxidants: a review[J]. *Current Medicinal Chemistry*, 2005, 12(20): 2293-2315.
- [61] Pavlin M, Rossetti G, De Vivo M, et al. Carnosine and homocarnosine degradation mechanisms by the human carnosinase enzyme CN1: insights from multiscale simulations[J]. *Biochemistry*, 2016, 55(19): 2772-2784.