

引用格式:

谢仲桂, 邓时铭, 程小飞, 陈湘艺, 何志刚, 李金龙, 苏东旭, 刘丽, 王冬武. 冬眠中华鳖的氨基酸营养评价[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(2): 231-239.

XIE Z G, DENG S M, CHENG X F, CHEN X Y, HE Z G, LI J L, SU D X, LIU L, WANG D W. Evaluation of amino acid nutrition of *Pelodiscus sinensi* during hibernation period[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2021, 47(2): 231-239.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



## 冬眠中华鳖的氨基酸营养评价

谢仲桂<sup>1,2</sup>, 邓时铭<sup>1,2</sup>, 程小飞<sup>1,2</sup>, 陈湘艺<sup>1</sup>, 何志刚<sup>1,2</sup>, 李金龙<sup>1,2</sup>, 苏东旭<sup>1</sup>, 刘丽<sup>1,2\*</sup>, 王冬武<sup>1,2\*</sup>

(1.湖南省水产科学研究所,湖南长沙 410153; 2.水生动物营养与品质调控湖南省重点实验室,湖南长沙 410153)

**摘要:**选取冬眠前、冬眠中、冬眠后 3 个时期平均体质量为(1000±50) g 的中华鳖各 6 只(雌雄各半)为材料,研究冬眠对中华鳖肌肉和裙边氨基酸组分的影响,并综合评价其氨基酸营养价值。结果表明:3 个时期,中华鳖肌肉和裙边均含有 17 种常见氨基酸,其中肌肉中谷氨酸质量分数最高,裙边中则是甘氨酸质量分数最高;冬眠前肌肉氨基酸总量显著高于冬眠中和冬眠后的( $P<0.05$ ),冬眠前和冬眠中裙边氨基酸总量显著高于冬眠后的( $P<0.05$ );肌肉必需氨基酸中,赖氨酸质量分数最高,中华鳖肌肉的必需氨基酸总量与氨基酸总量的比值(EAA/TAA)和必需氨基酸总量与非必需氨基酸总量的比值(EAA/NEAA)均显著高于裙边的( $P<0.05$ ),肌肉中 EAA/TAA 与 EAA/NEAA 均高于 FAO/WHO 理想蛋白质推荐标准(40%和 60%);肌肉的鲜味氨基酸总量、鲜味氨基酸总量与 17 种氨基酸总量的比值均显著低于裙边的( $P<0.05$ );在评价的 9 种必需氨基酸中,除冬眠中肌肉缬氨酸的氨基酸评分(AAS)和氨基酸比值系数(RC)最低外,其余处理均是蛋氨酸+胱氨酸(Met+Cys)总和的 AAS、RC 最低,且肌肉与裙边的 AAS、RC 间的差异均有统计学意义( $P<0.05$ ),各处理的 Met+Cys 总和的氨基酸化学评分均最低,说明中华鳖冬眠中肌肉第一限制性氨基酸组分为缬氨酸,其余时期肌肉和裙边中第一限制性氨基酸组分均为 Met+Cys,且肌肉中氨基酸平衡性要优于裙边;肌肉必需氨基酸指数(EAAI)均大于 70,为优质蛋白源;肌肉 EAAI、生物价和营养指数均显著高于裙边的( $P<0.05$ );中华鳖肌肉氨基酸灰色关联度(GC)是冬眠中的最低,而裙边 GC 则是冬眠中的最高,且肌肉的 GC 显著高于裙边的( $P<0.05$ ),说明冬眠中中华鳖肌肉氨基酸的平衡性不如冬眠前和冬眠后的,且裙边氨基酸的平衡性不如肌肉的;氨基酸聚类分析结果也表明中华鳖肌肉氨基酸配比比裙边氨基酸更为合理,其品质更佳。

**关键词:**中华鳖;冬眠;肌肉;裙边;氨基酸;营养评价

中图分类号: S917.4

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2021)02-0231-09

### Evaluation of amino acid nutrition of *Pelodiscus sinensi* during hibernation period

XIE Zhonggui<sup>1,2</sup>, DENG Shiming<sup>1,2</sup>, CHENG Xiaofei<sup>1,2</sup>, CHEN Xiangyi<sup>1</sup>, HE Zhigang<sup>1,2</sup>,  
LI Jinlong<sup>1,2</sup>, SU Dongxu<sup>1</sup>, LIU Li<sup>1,2\*</sup>, WANG Dongwu<sup>1,2\*</sup>

(1. Fisheries Research Institute of Hunan Province, Changsha, Hunan 410153, China; 2. Hunan Provincial Key Laboratory of Nutrition and Quality Control of Aquatic Animals, Changsha, Hunan 410153, China)

**Abstract:** To understand the amino acid compositions of the muscles and the calipashes in Chinese soft-shell

收稿日期: 2020-01-15

修回日期: 2020-03-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(31972766); 湖南省科技重大专项(2017NK1033); 湖南省重点研发计划项目(2018NK2074); 水生动物营养与品质调控湖南省重点实验室项目(2018TP1027)

作者简介: 谢仲桂(1977-), 男, 湖南衡山人, 硕士, 高级农艺师, 主要从事水产养殖研究, 183967031@qq.com; \*通信作者, 刘丽, 副研究员, 主要从事动物营养与品质调控研究, 460822360@qq.com; \*通信作者, 王冬武, 研究员, 主要从事水产养殖研究, 1309128968@qq.com

turtle(*Pelodiscus sinensis*), and to comprehensively evaluate their nutritional value, we collected muscles and calipashes from 6 *P. sinensis* (3 males and 3 females) with an average weight of (1000±50) g during the three periods of pre-hibernation, mid-hibernation and post-hibernation. The results showed as follows: 17 amino acids were contained in both muscles and calipashes during the three periods of pre-hibernation, mid-hibernation and post-hibernation, where the mass fraction of glutamic acid was the highest in the muscles while it was glycine with the highest mass fraction in the calipashes, and the mass fractions of total 17 amino acids(TAA) in *P. sinensis* muscles during the pre-hibernation period(M1) was significantly higher than ones during the mid-hibernation period(M2) and post-hibernation period(M3)( $P<0.05$ ), however, those in the calipashes were significantly higher during both pre-hibernation period(S1) and mid-hibernation period(S2) than during post-hibernation period(S3)( $P<0.05$ ). Among the essential amino acids, the mass fraction of lysine was the highest in the muscles and the ratios of the mass fraction of essential amino acids(EAA) to TAA and EAA to total non-essential amino acids(NEAA) were significantly higher in the muscles than in the calipashes( $P<0.05$ ), which were also higher in the muscles than in the ideal FAO/WHO protein recommendations(40% and 60%). The mass fractions of total delicious amino acids(DAA) and the ratios of DAA/TAA were significantly lower in the muscles than in the calipashes( $P<0.05$ ). The results of amino acid score(AAS) and chemical score(RC) among evaluating 9 essential amino acids showed that except valine(Val) of muscle during M2, the AAS and RC of the methionine and cystine(Met+Cys) sum in the rest of the groups were the lowest ones, and their differences were statistically significant in the muscles and in the calipashes( $P<0.05$ ), the chemical score of Met+Cys was also the lowest one in the muscles and in the calipashes of all groups, which indicated that Val was the first restricted amino acid component of the muscles during M2, and Met+Cys was the one of both the muscles and the calipashes during the other two periods, and the balance peculiarities of amino acids in the muscles were superior to ones in the calipashes. The results of essential amino acid index(EAAI) higher than 70 indicated that the quality of muscle protein was a high quality protein source. There were significantly higher in the muscles than in the calipashes for EAAI, biological value and nutrition index in *P. sinensis*( $P<0.05$ ). The orders of the amino acids grey correlation(GC) in *P. sinensis* showed that GC in the muscles during M2 was the lowest one among three periods, while its in calipashes during S2 was the highest one, which were significantly higher in the muscles than in calipashes( $P<0.05$ ), which meant the balance of amino acids in *P. sinensis* of the muscles during M2 was inferior to the ones during M1 and M3, and its in the calipashes was inferior to the one in the muscles. The results of clustering tree analysis also showed that the amino acid proportions of the muscles were more reasonable than ones in the calipashes which revealed that the qualities of amino acids in the muscles were better than those in the calipashes.

**Keyword:** *Pelodiscus sinensis*; hibernation; muscle; calipash; amino acid composition; nutrition evaluation

蛋白质营养价值的高低是判定动物产品品质最重要的参数,而动物蛋白质营养价值的高低,又主要取决于所含氨基酸(尤其是必需氨基酸)的种类、数量及组成比例<sup>[1]</sup>。冬眠是很多动物在低温或食物缺乏等不良环境条件下的一种自我保护现象。在此过程中,动物机体的生理生化及组织成分会发生相应的调节变化。目前,对冬眠动物的研究主要集中在生理生化指标、组织结构及能量代谢的变化等<sup>[2-3]</sup>,而对于蛋白质代谢及氨基酸变化的研究尚少见。

中华鳖(*Pelodiscus sinensis*),属于爬行纲、龟鳖目、鳖科、鳖属,俗称甲鱼、王八、团鱼、脚鱼等,因其具有独特的滋补和药用价值而广受青睐<sup>[4-5]</sup>。蛋白质是动物必不可少的营养物质,是生命活动不可或缺的物质体现,其含量不足或质量过差,将会

影响中华鳖的生长、繁殖和健康。而氨基酸是组成蛋白质的基本单位,蛋白质在机体内的消化和吸收是通过氨基酸来完成的<sup>[6]</sup>。中华鳖为冷血变温性动物,受温度的制约而具有冬眠现象<sup>[7]</sup>。进入冬眠的中华鳖不进食,消耗体内积累的营养物质来维持生命<sup>[8]</sup>。目前,关于中华鳖冬眠前后氨基酸营养变化的研究少见报道。本研究中,以冬眠前、冬眠中、冬眠后的中华鳖为试验对象,对其氨基酸组分特点进行分析与评价,旨在为进一步研究中华鳖冬眠期间的营养变化机理提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验动物

于2017年10月至2018年4月,从湖南省水产科学研究所内池塘中选取冬眠前(2017年10月26

日,水温 18.2 °C)、冬眠中(2018 年 1 月 26 日,水温 4.5 °C)、冬眠后(2018 年 4 月 26 日,水温 15.3 °C) 3 个时期的中华鳖各 6 只(雌雄各半),平均体质量为(1000±50) g。

## 1.2 样品处理

取 3 个时期各 6 只中华鳖的腿部肌肉和裙边,分别进行绞碎混匀后制成肌肉混合样本和裙边混合样本。每个样本分成 3 份重复样本,于-20 °C 冰箱保存,备用。冬眠前、冬眠中、冬眠后肌肉样品分别记为 M1、M2、M3;裙边样品分别记为 S1、S2、S3。

## 1.3 氨基酸的测定

依照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准食品中氨基酸的测定》<sup>[9]</sup>,采用盐酸水解法对中华鳖样品进行前处理,用德国产 Syknam S7130 氨基酸全自动分析仪测定样品氨基酸质量分数。结果以鲜质量为基础计算。

## 1.4 营养价值评价

目前,动物产品营养价值评价方法主要包括氨基酸评分(AAS)、氨基酸化学评分(CS)、氨基酸比值系数(RC)、氨基酸比值系数分(SRC)、必需氨基酸指数(EAAI)、生物价(BV)、营养指数(NI)、灰色关联度(GC)和聚类分析法等。这些方法常以联合国粮农组织/世界卫生组织(FAO/WHO)的必需氨基酸组成及其含量为参评标准<sup>[10]</sup>。

按照陈玉芹等<sup>[11]</sup>的方法进行中华鳖氨基酸评分。AAS 越高,说明该蛋白质的营养价值越高。

CS 是以第一限制性氨基酸为依据评定蛋白质营养价值的方法,即样品中氨基酸含量与标准蛋白质(全鸡蛋蛋白质)中相应氨基酸含量关系的比较<sup>[12]</sup>。

RC 为与模式氨基酸相当量的 1 份样品氨基酸的比值,着重分析各种必需氨基酸相对于 FAO/WHO 模式或全蛋模式氨基酸的离散程度,RC 值最小即为第一限制性氨基酸(FLAA)。若 RC=1,则表示样品氨基酸含量与标准模式氨基酸一致;若 RC>1,则样品氨基酸相对过剩;若 RC<1,则样品氨基酸相对不足<sup>[13]</sup>。

根据 RC 求得 SRC,若必需氨基酸的变异系数(CV)越分散,则必需氨基酸在氨基酸平衡生理作用

方面所提供的贡献越大,则 CV 变大, SRC 变小,蛋白质的营养价值越差,相比较而言, SRC 越接近 100,其营养价值相对越高<sup>[14-15]</sup>。

EAAI 采用何志刚等<sup>[12]</sup>和李伟等<sup>[16]</sup>的方法进行计算, EAAI 越接近 100,表明样品蛋白中必需氨基酸组成与标准蛋白的越接近,其营养价值也越高。

BV 按照 OSER<sup>[17]</sup>的方法进行分析,是指每 100 g 食物来源蛋白质转化成人体蛋白质的质量。BV 值越高,说明该种蛋白质经过吸收消化后的利用程度越高。

NI 参照沈畅萱等<sup>[18]</sup>的方法进行评价。

GC 按雷兴刚等<sup>[19]</sup>的方法,以 FAO/WHO 推荐的必需氨基酸为参考样本,冬眠前、冬眠中、冬眠后中华鳖肌肉和裙边的必需氨基酸组成 1 个灰色系统,计算其与 FAO/WHO 推荐的必需氨基酸灰色关联度(GC)。GC 越高,说明样品蛋白质的氨基酸平衡性越好。

利用 SPSS 24.0 对 3 个时期中华鳖肌肉和裙边的氨基酸进行聚类分析,即综合中华鳖肌肉和裙边氨基酸评价参数,采用系统聚类法中组间连接法和平方欧式距离系数对其进行聚类分析。

所有数据经 Excel 2010 处理,运用 SPSS 24.0 进行单因素方差分析;若差异有统计学意义,再采用 Duncan's 进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 中华鳖的氨基酸组成

从表 1 中可以看出,3 个时期,中华鳖肌肉和裙边均含有 17 种常见氨基酸,且氨基酸总量(TAA)均随时间的推移依次减少;肌肉中缬氨酸(Val)、蛋氨酸(Met)、苏氨酸(Thr)、甘氨酸(Gly)质量分数和 TAA 及鲜味氨基酸总量(DAA)在冬眠前与冬眠中的差异有统计学意义( $P<0.05$ ), Met 和赖氨酸(Lys)质量分数在冬眠中与冬眠后的差异有统计学意义( $P<0.05$ );裙边中 Val、Met、脯氨酸(Pro)质量分数和必需氨基酸总量(EAA)、非必需氨基酸总量(NEAA)、支链氨基酸总量(BCAA)在冬眠前与冬眠中的差异有统计学意义( $P<0.05$ ), Val、亮氨酸(Leu)、苯丙氨酸(Phe)、Lys、天冬氨酸(Asp)、丝氨酸(Ser)、Gly、组氨酸(His)、Pro 质量分数和 TAA、EAA、

DAA、BCAA、药味氨基酸总量(MAA)在冬眠中与冬眠后的差异有统计学意义( $P<0.05$ )；肌肉必需氨基酸中，Lys 质量分数最高，且随时间的推移逐渐递减，而除胱氨酸(Cys)和 S2 的 Val 外，裙边中必需氨基酸质量分数均显著低于肌肉中的( $P<0.05$ )；中华鳖肌肉和裙边必需氨基酸总量与 17 种氨基酸总量的比值(EAA/TAA)分别为 42.05%~43.19%、21.80%~28.18%，肌肉和裙边必需氨基酸总量与非

必需氨基酸总量的比值(EAA/NEAA)分别为 72.55%~76.02%、27.88%~39.24%，肌肉的 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 均显著高于裙边( $P<0.05$ )，且肌肉中 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 均高于 FAO/WHO 理想蛋白质推荐标准(40%和 60%)，裙边的 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 均远低于 FAO/WHO 理想蛋白质推荐标准。

表 1 冬眠中华鳖肌肉和裙边的氨基酸组成及质量分数

Table 1 The amino acid compositions and mass fractions of the muscles and the calipashes in <i>Pelodiscus sinensis</i> during hibernation period %							
处理	必需氨基酸质量分数						
	Val <sup>①</sup>	Met <sup>②</sup>	Ile <sup>①②</sup>	Leu <sup>①②</sup>	Thr	Phe <sup>②</sup>	Lys <sup>②</sup>
M1	(0.99±0.01)b	(0.41±0.01)b	(0.87±0.03)a	(1.48±0.11)a	(0.76±0.00)b	(0.76±0.02)a	(1.69±0.08)a
M2	(0.79±0.02)c	(0.55±0.03)a	(0.72±0.02)a	(1.48±0.07)a	(0.83±0.05)a	(0.77±0.02)a	(1.63±0.03)a
M3	(0.86±0.02)bc	(0.48±0.00)b	(0.87±0.04)a	(1.41±0.06)a	(0.81±0.04)ab	(0.72±0.01)a	(1.45±0.08)b
S1	(0.58±0.01)d	(0.14±0.00)d	(0.44±0.01)b	(0.85±0.03)b	(0.61±0.04)c	(0.55±0.02)b	(0.74±0.03)c
S2	(1.58±0.05)a	(0.24±0.00)c	(0.36±0.00)b	(0.84±0.04)b	(0.54±0.01)cd	(0.59±0.01)b	(0.83±0.03)c
S3	(0.51±0.01)d	(0.21±0.00)c	(0.37±0.01)b	(0.68±0.02)c	(0.50±0.01)d	(0.47±0.01)c	(0.63±0.03)d
处理	必需氨基酸质量分数		EAA	非必需氨基酸质量分数			
	Cys	Tyr		Asp <sup>③</sup>	Ser	Glu <sup>②③</sup>	Gly <sup>②③</sup>
M1	0.03±0.00	(0.65±0.01)a	(7.64±0.21)a	(1.74±0.04)a	(0.67±0.01)c	(3.15±0.14)a	(1.46±0.07)c
M2	0.02±0.00	(0.66±0.01)a	(7.45±0.16)a	(1.77±0.08)a	(0.71±0.04)c	(2.88±0.12)a	(0.88±0.03)d
M3	0.06±0.00	(0.63±0.01)a	(7.29±0.57)a	(1.68±0.08)a	(0.71±0.03)c	(2.92±0.09)a	(0.83±0.06)d
S1	0.03±0.00	(0.32±0.00)b	(4.26±0.11)c	(1.49±0.05)b	(1.00±0.02)a	(2.56±0.09)b	(4.22±0.11)a
S2	0.02±0.00	(0.34±0.00)b	(5.34±0.11)b	(1.48±0.02)b	(0.96±0.06)a	(2.13±0.12)bc	(4.08±0.03)a
S3	0.02±0.00	(0.29±0.00)b	(3.68±0.16)d	(1.17±0.06)c	(0.80±0.02)b	(1.96±0.06)c	(3.34±0.16)b
处理	非必需氨基酸质量分数				NEAA	TAA	DAA
	Ala <sup>③</sup>	His	Arg <sup>②</sup>	Pro			
M1	(1.01±0.05)b	(0.66±0.02)a	(1.15±0.07)b	(0.69±0.02)c	(10.53±0.64)c	(18.17±0.05)a	(7.36±0.64)c
M2	(1.04±0.04)b	(0.66±0.00)a	(1.16±0.05)b	(0.70±0.01)c	(9.80±0.96)c	(17.25±0.17)b	(6.57±0.28)d
M3	(1.01±0.02)b	(0.57±0.02)a	(1.34±0.07)b	(0.66±0.03)c	(9.72±0.49)c	(17.01±0.04)b	(6.44±0.14)d
S1	(1.76±0.04)a	(0.40±0.01)b	(1.69±0.05)a	(2.16±0.08)a	(15.28±0.68)a	(19.54±0.05)a	(10.03±0.23)a
S2	(1.59±0.08)a	(0.49±0.02)b	(1.65±0.11)a	(1.23±0.04)b	(13.61±0.65)b	(18.95±0.06)a	(9.28±0.21)a
S3	(1.47±0.05)a	(0.33±0.00)c	(1.64±0.07)a	(2.01±0.05)a	(12.72±0.89)b	(16.40±0.06)b	(7.94±0.26)b
处理	BCAA	MAA	EAA/NEAA	EAA/TAA	DAA/TAA	MAA/TAA	
M1	(3.34±0.19)a	(12.71±0.63)a	(72.55±1.59)b	(42.05±2.47)a	(40.51±0.89)c	69.95±3.69	
M2	(2.99±0.08)a	(11.84±0.57)a	(76.02±2.69)a	(43.19±0.21)a	(38.09±2.16)d	68.64±2.67	
M3	(3.14±0.09)a	(11.70±0.51)a	(75.00±3.38)a	(42.86±2.96)a	(37.86±1.59)d	68.78±2.87	
S1	(1.87±0.07)c	(12.68±0.18)a	(27.88±0.13)d	(21.80±0.66)c	(51.33±0.94)a	64.89±0.59	
S2	(2.78±0.09)b	(12.20±0.28)a	(39.24±1.64)c	(28.18±0.86)b	(48.97±1.32)b	64.38±3.39	
S3	(1.56±0.06)c	(10.47±0.37)b	(28.93±1.30)d	(22.44±1.24)c	(48.41±2.01)b	63.84±1.89	

①、②、③分别示支链氨基酸、药味氨基酸、鲜味氨基酸；同列不同字母示处理间的差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

中华鳖肌肉和裙边中 Asp、谷氨酸(Glu)、Gly 和丙氨酸(Ala)等 4 种鲜味氨基酸总量(DAA)、Gly 质量分数、鲜味氨基酸总量与 17 种氨基酸总量的

比值(DAA/TAA)均随时间的推移而逐渐降低；所测得的 17 种氨基酸中，肌肉中 Glu 质量分数最高，裙边中则是 Gly 质量分数最高，裙边中 Gly 质量分

数是肌肉中的 3 倍以上,肌肉的 DAA 和 DAA/TAA 均显著低于裙边的( $P<0.05$ )。以上结果表明,中华鳖裙边鲜味要优于肌肉的,且随时间的推移,肌肉和裙边的鲜味均有变差的趋势。

肌肉样品中支链氨基酸的 Leu 和异亮氨酸(Ile)质量分数在 3 个时期间的差异均无统计学意义,但 M2 的 Val 质量分数最低,且显著低于冬眠前的;裙边样品中,S2 的 Val 质量分数最高,是 S1 和 S3 的 Val 质量分数的近 3 倍,差异有统计学意义( $P<0.05$ )。从整体上看,Glu、Gly、Asp、精氨酸(Arg)、Phe、Met、Ile、Leu 和 Lys 等 9 种药用氨基酸总量(MAA)随时间的推移有逐渐递减的趋势,且除 Gly 和 Arg 外,肌肉中其余 7 种药用氨基酸质量分数均显著高于裙边的( $P>0.05$ );药用氨基酸总量占 17 种氨基酸总量的比值(MAA/TAA)为 63.84% ~ 69.95%,肌肉的 MAA/TAA 高于裙边的,但差异无统计学意义( $P>0.05$ )。

## 2.2 氨基酸营养评价结果

由表 2 可知,在评价的 9 种必需氨基酸中,除

M2 的 Val 的氨基酸评分(AAS)、氨基酸比值系数(RC)最低外,其余处理均是 Met+Cys 总和的 AAS、RC 最低,且肌肉与裙边的 AAS、RC 间的差异均有统计学意义( $P<0.05$ );各处理的 Met+Cys 总和的氨基酸化学评分(CS)均为最低,除 S2 的 Val 外,肌肉中其余必需氨基酸的 AAS 和 CS 均显著高于裙边中的( $P<0.05$ )。此结果说明,中华鳖冬眠中肌肉第一限制性氨基酸组分为 Val,其余时期肌肉和裙边中第一限制性氨基酸组分均为 Met+Cys,且肌肉中氨基酸平衡性要优于裙边。各时期肌肉中 Lys 的 AAS、CS 和 RC 值均为最高且大于 1,而所有裙边样品中所评价的 9 种必需氨基酸中,S2 的 Val 的 AAS、CS 和 RC 最高且大于 1,说明中华鳖肌肉中赖氨酸含量较丰富,而裙边中缬氨酸含量较丰富。3 个时期肌肉必需氨基酸指数(EAAI)均大于 70,为优质蛋白源;肌肉 EAAI、氨基酸比值系数分(SRC)、生物价(BV)均随时间的推移呈逐渐升高的趋势;肌肉的 EAAI、BV、营养指数(NI)均显著高于裙边的( $P<0.05$ ),除 S2 外,肌肉和裙边的 SRC 间的差异无统计学意义( $P>0.05$ )。

表 2 冬眠中华鳖肌肉和裙边氨基酸营养价值评价结果

Table 2 Assess parameters results of amino acid nutritional value of the muscles and the calipashes in <i>Pelodiscus sinensis</i> during hibernation period							
处理	氨基酸评分(AAS)						
	Thr	Val	Ile	Leu	Lys	Met+Cys	Phe+Tyr
M1	(0.90±0.04)a	(0.95±0.06)b	(1.03±0.06)a	(1.00±0.08)a	(1.48±0.10)a	(0.60±0.04)a*	(1.10±0.08)a
M2	(1.21±0.09)a	(0.93±0.06)b*	(1.06±0.06)a	(1.23±0.07)a	(1.75±0.14)a	(0.95±0.03)a	(1.37±0.09)a
M3	(1.00±0.09)a	(0.86±0.06)b	(1.08±0.04)a	(0.99±0.07)a	(1.32±0.14)a	(0.77±0.03)a*	(1.10±0.09)a
S1	(0.67±0.02)b	(0.52±0.03)c	(0.48±0.02)b	(0.53±0.03)b	(0.60±0.04)b	(0.21±0.01)b*	(0.63±0.04)b
S2	(0.59±0.01)b	(1.38±0.05)a	(0.39±0.02)b	(0.52±0.03)b	(0.67±0.04)b	(0.32±0.01)b*	(0.67±0.02)b
S3	(0.61±0.01)b	(0.50±0.02)c	(0.44±0.01)b	(0.47±0.01)b	(0.57±0.03)b	(0.32±0.00)b*	(0.61±0.02)b
处理	氨基酸化学评分(CS)						
	Thr	Val	Ile	Leu	Lys	Met+Cys	Phe+Tyr
M1	(0.77±0.03)b	(0.72±0.04)b	(0.78±0.06)a	(0.83±0.05)a	(1.14±0.07)a	(0.34±0.02)a*	(0.74±0.03)b
M2	(1.04±0.08)a	(0.70±0.04)b	(0.80±0.06)a	(1.01±0.05)a	(1.35±0.07)a	(0.54±0.02)a*	(0.92±0.04)a
M3	(0.85±0.07)b	(0.65±0.02)b	(0.82±0.06)a	(0.82±0.02)a	(1.02±0.05)a	(0.44±0.02)a*	(0.74±0.04)b
S1	(0.58±0.04)c	(0.39±0.02)c	(0.36±0.02)b	(0.44±0.02)b	(0.47±0.02)b	(0.12±0.00)b*	(0.43±0.01)c
S2	(0.50±0.04)c	(1.04±0.06)a	(0.29±0.02)b	(0.43±0.01)b	(0.51±0.02)b	(0.18±0.00)b*	(0.45±0.01)c
S3	(0.52±0.04)c	(0.38±0.00)c	(0.34±0.01)b	(0.39±0.01)b	(0.44±0.01)b	(0.18±0.00)b*	(0.41±0.00)c
处理	氨基酸比值系数(RC)						
	Thr	Val	Ile	Leu	Lys	Met+Cys	Phe+Tyr
M1	(0.89±0.04)b	(0.94±0.07)b	(1.02±0.06)a	(0.99±0.04)a	(1.47±0.08)a	(0.59±0.04)b*	1.09±0.05
M2	(1.00±0.05)b	(0.77±0.04)c*	(0.87±0.04)a	(1.01±0.06)a	(1.44±0.08)a	(0.78±0.06)a	1.12±0.04
M3	(0.98±0.05)b	(0.84±0.03)bc	(1.06±0.06)a	(0.97±0.06)a	(1.29±0.08)b	(0.75±0.06)a*	1.08±0.05
S1	(1.29±0.09)a	(1.00±0.07)b	(0.93±0.06)a	(1.03±0.05)a	(1.16±0.06)c	(0.40±0.00)c*	1.22±0.04
S2	(0.91±0.09)b	(2.13±0.14)a	(0.60±0.03)b	(0.80±0.05)b	(1.02±0.07)c	(0.50±0.00)b*	1.03±0.04
S3	(1.23±0.09)a	(1.00±0.07)b	(0.89±0.03)a	(0.95±0.04)a	(1.13±0.07)c	(0.63±0.02)b*	1.22±0.03

表 2(续)

处理	必需氨基酸指数(EAAI)	氨基酸比值系数分(SRC)	生物价(BV)	营养指数(NI)	灰色关联度(GC)	GC 排序
M1	(72.40±5.04)a	(75.79±6.04)a	(67.20±5.87)a	(13.30±0.87)a	(0.76±0.68)a	2
M2	(73.55±5.45)a	(78.29±6.17)a	(68.47±5.40)a	(13.44±0.49)a	(0.68±0.70)a	3
M3	(74.10±5.98)a	(83.77±5.58)a	(69.10±2.89)a	(12.70±0.40)a	(0.79±0.57)a	1
S1	(36.42±2.05)b	(72.76±6.32)a	(28.00±2.04)b	(6.06±0.64)b	(0.46±0.35)b	5
S2	(43.19±4.07)b	(50.02±2.05)b	(35.38±2.22)b	(7.89±0.67)b	(0.47±0.32)b	4
S3	(38.89±4.04)b	(80.67±6.56)a	(30.69±2.42)b	(6.65±0.43)b	(0.45±0.33)b	6

“\*”示第一限制性氨基酸；同列不同字母示处理间差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

从表 2 可知，冬眠后、冬眠前、冬眠中的中华鳖肌肉必需氨基酸的 GC 依次减少；冬眠中、冬眠前、冬眠后的中华鳖裙边必需氨基酸的 GC 依次减少，且肌肉的 GC 显著高于裙边的( $P<0.05$ )，肌肉 GC 的排序均在裙边前。可见，中华鳖肌肉氨基酸的平衡性远优于裙边的。

从图 1 可知，当主增量间距为 1.5 时，可将 3 个时期中华鳖肌肉和裙边的氨基酸分为 2 大类，第 I 大类包括中华鳖肌肉的氨基酸，第 II 类包括中华鳖裙边的氨基酸；当主增量间距为 5 时，第 II 类又分为 2 个亚类，第一亚类为冬眠前、冬眠中裙边的氨基酸，第二亚类为冬眠后裙边的氨基酸。结合氨基酸各评价指标综合分析，中华鳖肌肉氨基酸的配比比裙边的更为合理，其品质更佳。

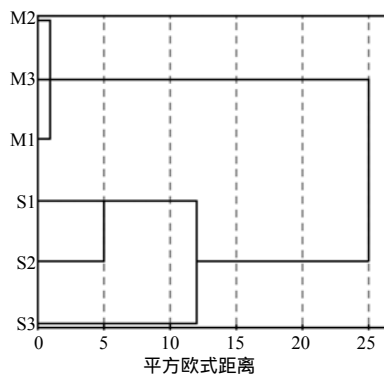


图 1 冬眠中华鳖肌肉和裙边的氨基酸聚类结果

Fig.1 Clustering tree result of amino acids of the muscles and calipashes in *Pelodiscus sinensis* during hibernation period

### 3 讨论与结论

本研究中，受低温少食等环境胁迫的影响，冬眠中华鳖肌肉和裙边的氨基酸总量存在差异，中华鳖肌肉和裙边均含有 17 种常见氨基酸，其氨基酸总量随着时间的推移而逐渐降低。中华鳖入冬前，许

多养殖户通常会尽可能多投喂一些蛋白质和脂肪含量高的饲料，以使其机体能积累、贮存足够量的营养物质顺利过冬。中华鳖在冬眠过程中，通过消耗蛋白质和能量以维持基础代谢等生理活动，是导致其肌肉和裙边氨基酸总量逐渐降低的主要原因。

必需氨基酸的种类、数量及比例是衡量动物产品蛋白质的营养价值主要因素<sup>[12]</sup>。本研究中，3 个时期，中华鳖肌肉的 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 均显著高于裙边的，肌肉中 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 均高于 FAO/WHO 理想蛋白质推荐标准(40%和 60%)，而裙边的均远低于该标准。可见，中华鳖肌肉为优质蛋白质来源，而裙边氨基酸比例不平衡。钱国英等<sup>[20]</sup>对绍兴野生鳖、仿生鳖和温室鳖肌肉与裙边氨基酸的研究结果表明，其裙边的必需氨基酸低于肌肉的，但鲜味氨基酸比例远高于肌肉的。本研究中，中华鳖肌肉必需氨基酸中，Lys 质量分数最高。对于以粮谷类蛋白质为主食的消费者，建议多吃中华鳖肌肉，可达到蛋白质互补、弥补赖氨酸不足、提高膳食蛋白质营养价值的目的。

动物产品肉质是否鲜美，一定程度上取决于其鲜味氨基酸的组成与含量。本研究中，Glu、Asp、Gly 和 Ala 等 4 种鲜味氨基酸总量随着时间的推移逐渐降低，且肌肉中的总量显著低于裙边中的；在所测得的 17 种氨基酸中，肌肉中 Glu 质量分数远远高于其他氨基酸，裙边中则是 Gly 质量分数最高，裙边中 Gly 质量分数是肌肉中的 3 倍以上，说明中华鳖裙边鲜味及甘甜味要优于肌肉，且随着时间的推移，鲜味品质越来越差。方燕等<sup>[21]</sup>研究也发现，温室鳖、池塘鳖、野生鳖等 3 种中华鳖种肌肉中 Glu 质量分数最高，裙边则是 Gly 质量分数最高，占呈味氨基酸总量的 34%~36%，认为这是中华鳖裙边比肌肉更鲜美的原因之一。本试验结果与其一致。

本研究中，3 个时期中，肌肉样品中支链氨基

酸的 Leu 和 Ile 质量分数的差异无统计学意义,但冬眠中的 Val 质量分数最低,且显著低于冬眠前的,而裙边 Val 质量分数在冬眠中则最高,是冬眠前和冬眠后的裙边 Val 质量分数的近 3 倍。当处于安静状态时,人体骨骼肌总能耗的 14% 由 BCAA 氧化过程提供,成为机体内重要的能量来源<sup>[22-23]</sup>。这说明冬眠中的环境温度最低,中华鳖需要动员大量的 BCAA 提供热量,以抵御恶劣环境的入侵。本研究中,中华鳖样本中 MAA/TAA 为 63.84%~69.95%,肌肉的 MAA/TAA 略高于裙边的,但差异无统计学意义,说明冬眠对中华鳖药用氨基酸质量分数影响不大。

本研究中,CS 评价表明,冬眠不会改变中华鳖肌肉和裙边中第一限制性氨基酸,所有时期均为 Met+Cys;AAS 和 RC 评价表明,除冬眠中肌肉第一限制性氨基酸为 Val 外,其余处理第一限制性氨基酸均为 Met+Cys。此结果说明中华鳖的肌肉和裙边中 Met+Cys 含量不足,这与其他关于中华鳖的研究结果<sup>[24]</sup>一致,也与部分鱼类研究结果<sup>[25-26]</sup>相似。本研究中,各时期肌肉中 Lys 的 AAS、CS 和 RC 值均为最高且大于 1,而裙边中则是冬眠中期 Val 的最高且大于 1,说明中华鳖肌肉中 Lys 含量较丰富,而裙边中 Val 含量较丰富。本研究中,中华鳖肌肉 EAAI 随时间的推移呈逐渐升高的趋势,均大于 70,为裙边 EAAI 近 2 倍的水平,明显高于大口黑鲈(52.89)<sup>[25]</sup>、黄斑篮子鱼(61.07)<sup>[27]</sup>等鱼类,说明中华鳖肌肉是一种优质蛋白源,且冬眠不影响其质量,但中华鳖裙边的氨基酸质量不高,这与氨基酸评分结果相一致。本研究中,除冬眠中裙边外,肌肉和裙边的 SRC 间的差异无统计学意义,但肌肉的 EAAI、BV 和 NI 均显著高于裙边的,表明与裙边氨基酸相比,肌肉氨基酸的组成比例更合理和平衡。

有研究表明,灰色关联度法能在一定程度上代替生物学法对蛋白质的评定<sup>[28-29]</sup>。本研究中,3 个时期中,中华鳖肌肉的 GC 是冬眠中的最低,而裙边的 GC 则是冬眠中的最高,且肌肉的高于裙边的,说明冬眠对肌肉的 GC 影响大于裙边的,这可能是由于冬眠中环境温度低,中华鳖肌肉需要消耗更多的能量而影响了其平衡性的缘故。氨基酸聚类分析结果也表明,肌肉为第一大类,裙边为第二大类。结合氨基酸各评价指标综合分析,表明中华鳖肌肉氨基酸的配比

比裙边氨基酸的更为合理,其品质更佳。

综上所述,受低温少食等环境胁迫的影响,冬眠中华鳖肌肉和裙边的氨基酸总量存在差异。冬眠环境影响中华鳖肌肉和裙边的氨基酸的组成及营养价值。以 FAO/WHO 的必需氨基酸组成及其质量分数为参评标准,中华鳖肌肉的氨基酸组成、比例与之较吻合;裙边的鲜味优于肌肉,但氨基酸组成平衡程度差于肌肉。从氨基酸营养评价来看,中华鳖的肌肉蛋白为一种优质蛋白源,具有较好的营养价值。

#### 参考文献:

- [1] 李本旺,黄启成,莫介化,等. 投喂 3 种不同饲料的中华鳖品质比较分析及评价[J]. 广东农业科学, 2012, 39(16): 125-128.  
LI B W, HUANG Q C, MO J H, et al. Analysis and evaluation on nutritional composition in muscles of softshelled turtle, *Trionyx sinensis*, feeding with three kinds of food[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012, 39(16): 125-128.
- [2] 张建红,侯天德,王小龙,等. 白条锦蛇冬眠期及出眠后血液中某些生化指标的比较[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(29): 12727-12728.  
ZHANG J H, HOU T D, WANG X L. Comparison of some blood biochemical indices of *Elaphe diene* during and after hibernation[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(29): 12727-12728.
- [3] 康旭,刘重斌,王子仁,等. 荒漠沙蜥冬眠前与冬眠中期肝脏、胰腺、脂肪体超微结构的比较[J]. 动物学杂志, 2005, 40(6): 103-107.  
KANG X, LIU C B, WANG Z R, et al. Ultrastructure of the liver, pancreas and fat body in *Phrynocephalus przewalskii* during pre-hibernation and mid-hibernation periods[J]. Chinese Journal of Zoology, 2005, 40(6): 103-107.
- [4] LIU L, JIANG G M, PENG Z T, et al. The effect of high fat diet on daily rhythm of the core clock genes and muscle functional genes in the skeletal muscle of Chinese soft-shelled turtle(*Trionyx sinensis*)[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 2017, 213: 17-27.
- [5] 刘丽,伍远安,李传武,等. 高脂对中华鳖肝脏组织中 microRNA 及相关基因表达的影响[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2018, 41(6): 34-43.  
LIU L, WU Y A, LI C W, et al. The impact of high fat diet on the expressions of microRNA and the related genes in the liver of Chinese soft-shelled turtles (*Pelodiscus sinensis*)[J]. Journal of Natural Science of

- Hunan Normal University, 2018, 41(6): 34-43.
- [6] 陈壮, 梁萌青, 郑珂珂, 等. 饲料蛋白水平对鲈鱼生长、体组成及蛋白酶活力的影响[J]. 渔业科学进展, 2014, 35(2): 51-59.  
CHEN Z, LIANG M Q, ZHENG K K, et al. Impact of dietary protein level on growth performance, body composition and protease activity of juvenile *Lateolabrax japonicus*[J]. Progress in Fishery Sciences, 2014, 35(2): 51-59.
- [7] 刘云, 杨小林, 王朝莉. 中华鳖冬眠期与活动期部分生理生化性质的比较研究[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2002, 39(S1): 82-84.  
LIU Y, YANG X L, WANG C L. Comparative studies on partial physiology and biochemistry of *Amyda sinensis* during activation and hibernation[J]. Journal of Sichuan University(Natural Science Edition), 2002, 39(S1): 82-84.
- [8] 井润贞, 黄晨西, 牛翠娟. 体质量对中华鳖(*Pelodiscus sinensis*)生化组成和质量能的影响[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2007, 43(6): 661-665.  
JING R Z, HUANG C X, NIU C J. Effect of body mass on biochemical composition and massic energy of the soft-shelled turtle(*Pelodiscus sinensis*)[J]. Journal of Beijing Normal University(Natural Science), 2007, 43(6): 661-665.
- [9] GB 5009.124—2016 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定[S].  
GB 5009.124—2016 National standards for food safety determination of amino acids in foods[S].
- [10] 赵桂华, 梁悦, 王宇, 等. 中国林蛙肉的营养成分分析与评价[J]. 营养学报, 2007, 29(6): 623-624.  
ZHAO G H, LIANG Y, WANG Y, et al. Analysis and evaluation of the nutritional components of frog flesh of *Rana chinensis*[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2007, 29(6): 623-624.
- [11] 陈玉芹, 尹红星, 王应清, 等. 辣木茶的氨基酸分析及营养价值评定[J]. 南方农业学报, 2017, 48(7): 1280-1285.  
CHEN Y Q, YIN H X, WANG Y Q, et al. Amino acid components and nutritional value in *Moringa oleifera* Lam. tea[J]. Journal of Southern Agriculture, 2017, 48(7): 1280-1285.
- [12] 何志刚, 王冬武, 徐永福, 等. 黑斑蛙肌肉营养成分分析及评价[J]. 中国饲料, 2018(17): 74-77.  
HE Z G, WANG D W, XU Y F, et al. Analysis and evaluation of nutrient composition in the muscle of *Rana nigromaculata*[J]. China Feed, 2018(17): 74-77.
- [13] 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.  
ZHU S, WU K. Nutritional evaluation of protein: ratio coefficient of amino acid[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 1988, 10(2): 187-190.
- [14] ASTERMARK J, HOGG P J, BJÖRK I, et al. Effects of gamma-carboxyglutamic acid and epidermal growth factor-like modules of factor IX on factor X activation. Studies using proteolytic fragments of bovine factor IX[J]. Journal of Biological Chemistry, 1992, 267(5): 3249-3256.
- [15] 闫景彩, 陈金龙, 陈瑜. 氨基酸平衡性评价指标的比较[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2009, 35(2): 213-216.  
YAN J C, CHEN J L, CHEN Y. An evaluation about the indexes of amino acids balance[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2009, 35(2): 213-216.
- [16] 李伟, 李迪, 肖调义, 等. 草鱼和赤眼鲮及其正交 F<sub>1</sub> 代的肌肉营养特性比较[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2017, 43(1): 52-57.  
LI W, LI D, XIAO T Y, et al. Comparison the muscle nutritional characteristics on grass carp *Ctenopharyngodon idellus*(♀), barbel chub *Squaliobarbus curriculus*(♂) and their crossing generation F<sub>1</sub>[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2017, 43(1): 52-57.
- [17] 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.
- [18] 沈畅萱, 王修俊, 黄珊. 贵州三穗特色麻鸭蛋成分分析及营养评价[J]. 食品与机械, 2017, 33(12): 55-60.  
SHEN C X, WANG X J, HUANG S. The analysis and evaluation of nutrients of sansui's characteristic sheldrake duck eggs[J]. Food & Machinery, 2017, 33(12): 55-60.
- [19] 雷兴刚, 邓君明, 麦康森. 灰色关联度分析法评价蛋白质营养价值的可行性探讨[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2010, 25(4): 545-550.  
LEI X G, DENG J M, MAI K S. Research on the feasibility of gray relation analysis in nutritional evaluation of protein[J]. Journal of Yunnan Agricultural University(Natural Science), 2010, 25(4): 545-550.
- [20] 钱国英, 朱秋华. 不同生长条件对中华鳖营养成分的影响[J]. 营养学报, 2001, 23(2): 181-183.  
QIAN G Y, ZHU Q H. Effects of different growth conditions on nutritional components of Chinese soft shelled turtle (*Trionyx sinensis*)[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2001, 23(2): 181-183.
- [21] 方燕, 过世东. 中华鳖肌肉和裙边基本品质的研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(7): 194-196.  
FANG Y, GUO S D. Study on the basic quality of muscle and skirt of *Trionyx sinensis*[J]. Science and Technology



- of Food Industry, 2007, 28(7): 194-196.
- [22] WIŚNIK P, CHMURA J, ZIEMBA A W, et al. The effect of branched chain amino acids on psychomotor performance during treadmill exercise of changing intensity simulating a soccer game[J]. Physiologie Appliquee, Nutrition et Metabolisme, 2011, 36(6): 856-862.
- [23] HSU M C, CHIEN K Y, HSU C C, et al. Effects of BCAA, arginine and carbohydrate combined drink on post-exercise biochemical response and psychological condition[J]. Chinese Journal of Physiology, 2011, 54(2): 71-78.
- [24] 王广军, 陈鹏飞, 余德光, 等. 佛罗里达鳖与中华鳖不同部位营养成分的比较分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(11): 350-355.
- WANG G J, CHEN P F, YU D G, et al. Comparison and analysis of nutritional composition in different tissues of Florida soft-shelled turtle (*Apalone ferox*) and Chinese soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*)[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(11): 350-355.
- [25] 樊佳佳, 白俊杰, 李胜杰, 等. 大口黑鲈“优鲈 1 号”选育群体肌肉营养成分和品质评价[J]. 中国水产科学, 2012, 19(3): 423-429.
- FAN J J, BAI J J, LI S J, et al. Nutrient composition and nutritive quality of the muscle of *Micropterus salmoides*, “Youlu No.1”[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(3): 423-429.
- [26] 赵婷婷, 刘奕, 汪学杰, 等. 布氏罗非鱼肌肉营养成分分析与评价[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2015, 41(2): 184-189.
- ZHAO T T, LIU Y, WANG X J, et al. Analysis and assessment for nutritional components of *Tilapia butikoferi*[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2015, 41(2): 184-189.
- [27] 庄平, 宋超, 章龙珍, 等. 黄斑篮子鱼肌肉营养成分与品质的评价[J]. 水产学报, 2008, 32(1): 77-83.
- ZHUANG P, SONG C, ZHANG L Z, et al. Evaluation of nutritive quality and nutrient components in the muscle of *Siganus oramin*[J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(1): 77-83.
- [28] 宋晓青, 张天博, 贾云虹, 等. 婴儿配方乳粉中蛋白质的营养评价及氨基酸分析研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(1): 292-298.
- SONG X Q, ZHANG T B, JIA Y H, et al. Progress in nutritional evaluation and amino acid composition analysis of proteins in infant formula milk power[J]. Food Science, 2016, 37(1): 292-298.
- [29] 杨秀娟, 陶琳丽, 邓斌, 等. 菲牛蛭与蛋白饲料原料氨基酸平衡的灰色关联度分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2019, 34(1): 43-49.
- YANG X J, TAO L L, DENG B, et al. Analysis of grey relational degree of amino acid balance between protein feed raw materials and *Hirudinaria manillensis*[J]. Journal of Yunnan Agricultural University(Natural Science), 2019, 34(1): 43-49.

责任编辑: 邹慧玲

英文编辑: 柳正