

doi: 10.7541/2021.2020.102

江苏日本沼虾4个野生种群肌肉营养成分比较

唐金玉^{1,2} 叶建勇¹ 戴杨鑫³ 姜爱兰¹ 吴春¹

(1. 江苏省农业科学院宿迁农科所, 宿迁 223800; 2. 南京农业大学动物科技学院, 南京 210014;
3. 杭州市农业科学研究院水产研究所, 杭州 310024)

摘要: 对太湖、高邮湖、洪泽湖和骆马湖日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)的生长性状和肌肉营养进行评价与比较, 以为良种选育提供参考依据。结果发现: 日本沼虾4个野生种群间虾体全长、体长、体重和肌肉重差异明显, 但含肉率(33.99%—35.40%)无显著差异; 日本沼虾粗蛋白、粗脂肪、粗灰分和水分含量分别为17.73%—18.81%、1.40%—1.83%、1.07%—1.24%和78.44%—79.49%; 共检出氨基酸17种, 其中必需氨基酸7种, 必需氨基酸指数为70.51—74.09, 不同种群间His、Arg、Asp、Glu、氨基酸总量和非必需氨基酸总量差异显著; 共检出脂肪酸16种, 其中饱和脂肪酸10种, 不同种群间脂肪酸种类组成(C20:0和C14:1)和含量(C18:0、C18:2和C20:1)差异明显。在检测的4种常量元素(Na、K、Ca和Mg)和5种微量元素(Fe、Cu、Zn、Mn和Cr)中, 仅Fe和Mn在不同种群间差异显著。研究表明, 日本沼虾虾体规格的显著增加不会引起含肉率的明显变化; 肌肉中部分氨基酸、脂肪酸和矿物质受生活环境和食物资源的影响显著, 生产中需注意调节这些营养成分的添加。鉴于太湖种群的生长潜力及骆马湖种群氨基酸、脂肪酸和矿物质的营养价值较高, 可选择二者作为亲本来改善江苏日本沼虾种质。

关键词: 日本沼虾; 野生种群; 生长性状; 肌肉营养成分; 营养价值

中图分类号: S966.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2021)04-0801-08



日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)俗称青虾、河虾, 是我国重要的淡水养殖品种^[1, 2]。近年来, 我国日本沼虾养殖业蓬勃发展, 总产量已超过 27.2×10^3 kg^[3]。然而, 随着规模的扩大和产量的提高, 养殖虾出现性成熟提前、规格小、商品率低及抗病能力下降等种质退化现象, 极大地阻碍了我国日本沼虾产业的健康发展^[4, 5]。开展日本沼虾的良种选育, 培育高品质的苗种, 对促进我国淡水养殖业的可持续发展具有重要意义。

野生种质资源可为良种选育提供原始材料, 而营养品质是良种选育的重要参考指标^[6]。目前, 围绕野生日本沼虾肌肉营养成分和营养品质的评价已开展较多工作, 如不同地理种群的比较^[7-9], 日本沼虾与秀丽白虾(*Exopalaemon modestus*)^[10]、安氏白虾(*Exopalaemon annandalei*)^[11]、克氏原螯虾(*Procambarus clarkia*)^[12]等不同种类的比较等。然而, 针对同一区域野生群体肌肉营养组成和营养品

质研究的工作鲜见报道。江苏省境内湖泊众多, 野生资源丰富, 是日本沼虾良种选育的重要亲本采集地。本研究以江苏省4大湖泊(太湖、高邮湖、洪泽湖和骆马湖)野生日本沼虾为研究对象, 分别评价了4个种群肌肉营养组成和营养价值, 并与其他野生种群进行比较, 以为日本沼虾良种选育和高品质苗种的培育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

野生日本沼虾分别于2018年5月25日至6月3日捕自太湖(常州市武进区)、高邮湖(扬州市高邮市)、洪泽湖(宿迁市泗阳县)和骆马湖(宿迁市湖滨新区)等天然水域。利用活水池运回江苏省农业科学院宿迁农科所运河湾基地, 并分别暂养于基地池塘(400 m²)的网箱(3.0 m × 2.0 m × 1.5 m)中。池塘内NH₃-N、NO₂-N、TN、TP和COD_{Mn}分别为0.13、

收稿日期: 2020-05-07; 修订日期: 2020-09-17

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金(CX(18)2016); 宿迁市科技计划项目(农业)(L201802)资助 [Supported by Jiangsu Agricultural Science and Technology Innovation Fund (CX(18)2016); Suqian Science and Technology Plan (Agriculture) Fund (L201802)]

通信作者: 唐金玉, 助理研究员; E-mail: 11017030@zju.edu.cn

0、0.75、0.06和5.32 mg/L, 水草类型主要为伊乐藻(*Elodea canadensis*)、菹草(*Potamogeton crispus*)和茨藻(*Najas marina*)。向网箱内投喂南山饲料有限公司生产的南美白对虾配合饲料(粗蛋白含量40%), 饱食投喂1d(8:00和16:30各1次)后饥饿24h。

1.2 指标测定

每个种群随机挑选附肢完整且体长> 5.0 cm的日本沼虾100尾, 雌雄各占一半。测定每尾虾全长、体长和体重, 分别精确到0.01 cm和0.01 g。去除日本沼虾外壳后, 取出腹部肌肉并称重(精确到0.01 g)。将肌肉真空冷冻干燥至恒重, 研磨后混合均匀, 平均分为3份用于营养成分测定。肌肉中粗蛋白(凯氏定氮法)、粗脂肪(乙醚抽提法)、粗灰分(灼烧法)和水分(恒温烘干法)含量根据AOAC中方法测定^[13]; 氨基酸和脂肪酸种类组成及含量分别用氨基酸分析仪(Sykam S433D, Sykam Scientific Instrument, Munich, Germany)和气相色谱质谱联用仪(Agilent 7890B, Agilent Technologies Inc., California, USA)^[6]测定; K、Na、Ca和Mg等4种常量元素和Fe、Cu、Zn、Mn和Cr等5种微量元素含量利用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)^[10]测定。

1.3 数据计算与统计分析

根据下列公式计算含肉率、氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)、必需氨基酸指数(EAAI)^[6]、动脉粥样硬化指数(AI)和血栓性指数(TI)^[15]:

含肉率(%)=(肌肉鲜重/体重)×100

$$AAS = \frac{\text{样品氨基酸含量 (mg/g Pro)}}{\text{WHO成人同种氨基酸需要量 (mg/g Pro)}}$$

$$CS = \frac{\text{样品氨基酸含量 (mg/g Pro)}}{\text{全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量(mg/g Pro)}}$$

$$EAAI = [(100A/AE) \times (100B/BE) \times \dots \times (100H/HE)]^{1/n}$$

$$AI = (C12:0 + 4 \times C14:0 + C16:0) / (\Sigma MUFA + n - 3 \Sigma PUFA + n - 6 \Sigma PUFA)$$

$$TI = (C14:0 + C16:0 + C18:0) / [0.5 \times \Sigma MUFA + 3 \times (n - 3 \Sigma PUFA) + 0.5 \times (n - 6 \Sigma PUFA) + (n - 3 \Sigma PUFA)]$$

6ΣPUFAs)]

式中, A、B、C、……、H为肌肉中必需氨基酸含量(% , 干重); AE、BE、CE、……、HE为全鸡蛋蛋白质的必需氨基酸含量(% , 干重); n为比较的氨基酸个数。

采用单因素方差分析(One-way ANOVA)检验日本沼虾4个野生种群生长性状和肌肉营养成分的差异, 用Tukey HSD's test进一步分析处理间的差异。取P<0.05为差异显著性水平。ANOVA利用SPSS 19.0(IBM® SPSS® Statistics)软件进行。

2 结果

2.1 生长性状

日本沼虾4个野生种群的全长、体长、体重和肌肉重差异显著(One-way ANOVA, P<0.05, 表1)。其中, 太湖种群全长、体长、体重和肌肉重显著高于骆马湖种群(Tukey HSD's test, P<0.05)。不同种群间含肉率无显著差异(One-way ANOVA, P>0.05)。含肉率按从高到低的次序排列为骆马湖>高邮湖>太湖>洪泽湖。

2.2 常规营养成分

日本沼虾4个野生种群之间粗蛋白、粗脂肪、粗灰分和水分无显著差异(One-way ANOVA, P>0.05, 表2)。粗蛋白按从高到低的次序排列为高邮湖>洪泽湖>骆马湖>太湖; 粗脂肪按从高到低的次序排列为骆马湖>洪泽湖>太湖>高邮湖。

2.3 氨基酸组成及含量

除Trp在酸水解过程中被破坏未测定外, 日本沼虾4个野生种群共检出氨基酸17种(表3), 其中必需氨基酸(EAA)7种: Lys、Phe、Thr、Ile、Leu、Val和Met; 半必需氨基酸2种: His和Arg; 非必需氨基酸8种: Asp、Ala、Glu、Gly、Ser、Cys、Pro和Tyr。不同种群间His、Arg、Asp、Glu、氨基酸总量(TAA)和非必需氨基酸总量(NEAA)差异显著(One-way ANOVA, P<0.05)。骆马湖种群Asp、Glu、NEAA和洪泽湖种群TAA、NEAA显著高于太湖种

表1 日本沼虾4个野生种群生长性状

Tab. 1 Growth traits of four wild *Macrobrachium nipponense* populations

种群Population	全长Total length (cm)	体长Body length (cm)	体重Wet weight (g)	肌肉重Muscle wet weight (g)	含肉率Flesh content rate (%)
太湖Taihu Lake	7.53±0.90 ^a	6.14±0.73 ^a	5.07±1.32 ^a	1.68±0.68 ^a	34.87±3.07
高邮湖Gaoyou Lake	6.59±0.75 ^b	5.73±0.65 ^{ab}	3.69±0.81 ^{ab}	1.26±0.37 ^b	34.90±5.83
洪泽湖Hongze Lake	7.11±0.68 ^{ab}	6.28±0.59 ^a	5.21±0.77 ^a	1.71±0.44 ^a	33.99±5.21
骆马湖Luoma Lake	6.12±0.99 ^b	5.41±0.84 ^b	3.41±0.73 ^b	1.18±0.57 ^b	35.40±4.22

注: 数据表示为平均值±标准差(n=100)。同一列标注不同上标字母表示差异显著(P<0.05); 下同

Notes: Data are expressed as Mean±SD (n=100). Different superscript letters indicate significant difference at 0.05 by Tukey HSD's test. The same applies below

表 2 日本沼虾4个野生种群肌肉常规营养成分

Tab. 2 Proximate components in muscle of four wild *Macrobrachium nipponense* populations (% wet weight, n=3)

种群 Population	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	粗灰分Ash	水分 Moisture
太湖Taihu Lake	17.73±0.49	1.69±0.26	1.07±0.02	79.49±0.28
高邮湖 Gaoyou Lake	18.81±0.62	1.40±0.29	1.24±0.01	78.53±1.12
洪泽湖 Hongze Lake	18.76±0.25	1.71±0.27	1.09±0.00	78.44±0.61
骆马湖 Luoma Lake	18.28±0.17	1.83±0.13	1.15±0.01	78.75±0.88

群和高邮湖种群(Tukey HSD's test, $P<0.05$)。比较而言, 骆马湖种群EAA、NEAA和鲜味氨基酸(DAA)含量最高, 其次为洪泽湖种群, 高邮湖种群含量最低。此外, 骆马湖种群EAA/TAA和EAA/NEAA最高, 而高邮湖种群最低。

2.4 氨基酸营养品质

根据AAS和CS, 在排除Trp的情况下, 日本沼虾4个野生种群肌肉中Lys评分最高(表4), 超过FAO推荐值和全鸡蛋水平(高邮湖种群CS除外); Val评分最低, 为野生日本沼虾第一限制性氨基酸。根据

AAS评分结果, 氨基酸由高到低排序为Lys>Met-Cys>Phe-Tyr>Ile>Leu>Thr>Val; 根据CS评分结果, 氨基酸由高到低排序为Lys>Leu>Phe-Tyr>Ile>Thr>Met-Cys>Val。不同种群之间EAAI无显著性差异(One-way ANOVA, $P>0.05$)。比较而言, 骆马湖种群EAAI最高, 其次为洪泽湖种群, 高邮湖种群最低。

2.5 脂肪酸组成及含量

日本沼虾4个野生种群共检出脂肪酸16种(表5), 其中饱和脂肪酸(SFA)6种、单不饱和脂肪酸(MUFA)4种和多不饱和脂肪酸(PUFA)6种。在16种脂肪酸中, 太湖种群未检出C20:0, 高邮湖种群未检出C20:0和C14:1。不同种群间C18:0、C18:2、C20:1含量差异显著(One-way ANOVA, $P<0.05$)。ΣSFA含量由高到低排序为洪泽湖>太湖>高邮湖>骆马湖, ΣMUFA含量由高到低排序为骆马湖>洪泽湖>太湖>高邮湖, ΣPUFA含量由高到低排序为骆马湖>太湖>洪泽湖>高邮湖。PUFA中具重要生理功能的EPA(C20:5)和DHA(C22:6)的总含量, 在太湖种群中最高, 高邮湖种群最低。

2.6 矿物质

日本沼虾4个野生种群肌肉中常量元素以K含

表 3 日本沼虾4个野生种群肌肉氨基酸组成及含量

Tab. 3 Amino acid composition and contents in muscle of four wild *Macrobrachium nipponense* populations (% dry weight)

氨基酸类别 Amino acid species	氨基酸名称 Amino acid name	太湖 Taihu Lake	高邮湖 Gaoyou Lake	洪泽湖 Hongze Lake	骆马湖 Luoma Lake
必需氨基酸EAA	赖氨酸Lys	7.37±0.01	7.29±0.12	7.60±0.22	7.61±0.10
	苯丙氨酸Phe	3.43±0.05	3.37±0.04	3.55±0.06	3.61±0.04
	苏氨酸Thr	3.20±0.01	3.15±0.04	3.31±0.08	3.33±0.00
	异亮氨酸Ile	3.75±0.03	3.71±0.09	3.89±0.10	3.96±0.05
	亮氨酸Leu	6.29±0.06	6.19±0.05	6.49±0.17	6.56±0.09
	缬氨酸Val	3.67±0.03	3.64±0.13	3.82±0.12	3.88±0.01
	蛋氨酸Met	2.49±0.01	2.42±0.07	2.55±0.00	2.56±0.00
半必需氨基酸semi-EAA	组氨酸His	1.86±0.00 ^{ab}	1.75±0.04 ^b	1.97±0.04 ^a	1.90±0.03 ^{ab}
	精氨酸Arg	5.82±0.07 ^a	5.03±0.02 ^b	6.29±0.18 ^a	5.22±0.08 ^b
非必需氨基酸NEAA	天冬氨酸Asp	8.32±0.01 ^c	8.02±0.12 ^d	8.73±0.00 ^a	8.44±0.03 ^b
	丙氨酸Ala	6.00±0.07	6.06±0.03	6.10±0.22	6.41±0.14
	谷氨酸Glu	13.32±0.01 ^b	13.28±0.08 ^b	13.53±0.09 ^b	13.81±0.01 ^a
	甘氨酸Gly	4.57±0.13	4.62±0.09	4.41±0.12	4.40±0.20
	丝氨酸Ser	3.05±0.04	3.03±0.12	3.17±0.03	3.05±0.03
	胱氨酸Cys	1.31±0.01	1.46±0.06	1.21±0.18	1.38±0.02
	脯氨酸Pro	3.04±0.11	3.02±0.06	3.22±0.09	3.02±0.16
	酪氨酸Tyr	3.02±0.06	2.92±0.04	3.17±0.02	3.03±0.08
	氨基酸总量TAA	80.52±0.14 ^b	78.35±0.13 ^b	83.01±0.83 ^a	82.18±0.26 ^{ab}
	必需氨基酸总量EAA	27.72±0.19	26.72±0.31	28.66±0.75	28.96±0.26
	非必需氨基酸总量NEAA	45.12±0.03 ^b	44.85±0.12 ^b	46.09±0.22 ^a	46.10±0.04 ^a
鲜味氨基酸总量DAA		32.21±0.21	31.98±0.15	32.76±0.44	33.06±0.30
EAA/TAA(%)		34.42±0.17	34.10±0.38	34.52±0.56	35.24±0.20
EAA/NEAA(%)		61.43±0.38	59.58±0.59	62.16±1.33	62.83±0.61

量为最高, 其次为Na、Ca和Mg; 微量元素以Zn含量为最高, Cr含量最少。不同种群间Mn和Fe含量差异显著(One-way ANOVA, $P<0.05$), 其中高邮湖种群Mn含量显著高于骆马湖种群(Tukey HSD's

test, $P<0.05$), 而太湖种群Fe含量显著高于洪泽湖种群(Tukey HSD's test, $P<0.05$)。比较而言, 骆马湖种群Na、Ca、Mg和Cu含量最高, 而太湖种群Zn、Fe和Cr含量最高(表 6)。

表 4 日本沼虾4个野生种群肌肉必需氨基酸组成评价

Tab. 4 Essential amino acids composition in muscle of four wild *Macrobrachium nipponense* populations

必需氨基酸EAA	FAO评分模式 The FAO score model (mg/g pro)	鸡蛋蛋白评分 模式The egg score model (mg/g pro)	太湖Taihu Lake		高邮湖Gaoyou Lake		洪泽湖Hongze Lake		骆马湖Luoma Lake	
			AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS
异亮氨酸Ile	2.50	3.31	0.94±0.01	0.71±0.01	0.93±0.09	0.70±0.03	0.97±0.02	0.73±0.02	0.99±0.01	0.75±0.01
亮氨酸Leu	4.40	5.34	0.89±0.02	0.74±0.01	0.88±0.02	0.72±0.07	0.92±0.02	0.76±0.03	0.93±0.01	0.77±0.01
赖氨酸Lys	3.40	4.41	1.35±0.01	1.04±0.03	1.23±0.06	0.95±0.06	1.40±0.04	1.08±0.03	1.40±0.02	1.08±0.01
苏氨酸Thr	2.50	2.92	0.80±0.00	0.68±0.00	0.79±0.04	0.67±0.04	0.83±0.02	0.71±0.02	0.83±0.00	0.71±0.00
缬氨酸Val	3.10	4.10	0.74±0.01	0.56±0.08	0.73±0.02	0.56±0.05	0.77±0.02	0.58±0.06	0.78±0.01	0.59±0.05
蛋-胱氨酸Met-Cys	2.20	3.86	1.07±0.01	0.62±0.01	1.10±0.04	0.63±0.02	1.07±0.03	0.61±0.02	1.12±0.00	0.64±0.00
苯丙-酪氨酸Phe-Tyr	3.80	5.65	1.06±0.02	0.71±0.01	1.03±0.03	0.70±0.01	1.11±0.01	0.74±0.03	1.09±0.03	0.73±0.01
必需氨基酸指数 EAAI			71.09±0.53		70.51±0.38		73.16±1.20		74.09±0.51	

表 5 日本沼虾4个野生种群肌肉脂肪酸组成及含量

Tab. 5 Fatty acid composition and contents in muscle of four wild *Macrobrachium nipponense* populations (%)

脂肪酸营养参数Fatty acid nutritional index	太湖Taihu Lake	高邮湖Gaoyou Lake	洪泽湖Hongze Lake	骆马湖Luoma Lake
C14:0	1.89±0.08	1.99±0.25	1.94±0.03	2.32±0.30
C16:0	20.20±0.07	20.86±0.83	18.89±0.71	20.05±1.53
C18:0	8.97±0.02 ^b	10.76±0.05 ^a	8.13±0.63 ^{bc}	7.24±0.08 ^c
C20:0	—	—	0.44±0.25	0.28±0.08
C22:0	14.68±0.11	11.49±5.57	17.02±0.54	13.55±2.05
C24:0	1.24±0.05	1.17±0.02	1.46±0.07	1.13±0.18
ΣSFA	46.97±0.16	46.26±4.47	47.87±0.34	44.56±0.04
C14:1	0.30±0.02	—	0.29±0.05	0.28±0.02
C16:1	4.75±0.85	4.18±1.56	7.41±0.16	7.36±2.24
C18:1	15.53±1.16	16.18±2.05	13.34±0.23	15.29±1.74
C20:1	0.54±0.04 ^{ab}	0.60±0.05 ^a	0.43±0.02 ^b	0.44±0.04 ^{ab}
ΣMUFA	21.12±1.96	20.95±3.66	21.48±0.46	23.36±0.44
C18:2n-6	9.57±0.21 ^{ab}	9.25±0.13 ^b	9.54±0.04 ^{ab}	9.89±0.09 ^a
C18:3 n-3	2.67±0.48	1.86±0.71	2.45±0.08	2.98±0.97
C20:2 n-6	0.80±0.06	0.85±0.21	0.84±0.03	0.84±0.02
C20:4 n-6	0.32±0.00	0.39±0.03	0.33±0.04	0.32±0.01
C20:5 n-3(EPA)	8.85±2.76	7.92±1.64	7.68±0.65	8.40±1.98
C22:6 n-3(DHA)	4.26±0.97	4.38±0.30	4.98±0.31	4.53±1.32
ΣPUFA	26.45±3.52	24.63±2.94	25.81±0.92	26.95±2.23
EPA+DHA	13.10±3.73	12.29±3.34	12.66±0.96	12.93±3.30
总脂肪酸含量Total FA	94.74	91.84	96.16	94.87
AI	0.58±0.02	0.63±0.03	0.56±0.01	0.58±0.08
TI	0.49±0.07	0.57±0.08	0.46±0.02	0.45±0.08

注: SFA. 饱和脂肪酸; MUFA. 单不饱和脂肪酸; PUFA. 多不饱和脂肪酸; EPA. 花生五烯酸; DHA. 二十二碳六烯酸; Total FA. 总脂肪含量

Note: SFA. saturated fatty acid; MUFA. monounsaturated fatty acid; PUFA. polyunsaturated fatty acid; EPA. eicosapentaenoic acid; DHA. docosahexaenoic acid; Total FA: total amount of fatty acid

3 讨论

3.1 生长性状

含肉率是评价亲本种质、水产品品质和经济性状的重要指标^[6]。江苏省四大湖泊野生日本沼虾含肉率为33.99%—35.40%, 低于南湾水库野生抱卵虾(36.3%)^[12]和选育6代的鄱阳湖虾(37.6%)^[16], 但高于南湾水库野生雄虾(31.5%)^[12]和养殖虾(32.86%)^[17]。生长阶段、生活环境、食物资源和产地均会对日本沼虾含肉率产生影响^[12, 17]。在本研究中, 日本沼虾4个野生种群间虾体全长、体长、体重和肌肉重差异显著, 但含肉率相差较小, 且全长、体长、体重和肌肉重从高到低的排序结果与含肉率的排序结果相反, 表明日本沼虾(体长>5 cm)腹部肌肉随着虾体规格的增大逐渐增加, 但其占个体的比重逐渐下降; 同时, 虾体规格的显著增加不会造成含肉率的明显降低。太湖日本沼虾成年虾在全长、体长和体重等方面具有一定优势, 表明其生长潜力较其他3个种群高, 可考虑将其作为改善日本沼虾生长性能的备选亲本之一。

3.2 常规营养成分

生活环境及食物资源可影响生物的生理和生化指标^[18], 如Huang等^[19]发现, 饲料原料组成显著影响养殖日本沼虾肌肉中粗脂肪含量。在本研究中, 江苏省四大湖泊日本沼虾粗蛋白、粗脂肪、粗灰分和水分含量分别为17.73%—18.81%、1.40%—1.83%、1.07%—1.24%和78.44%—79.49%, 介于野生虾粗蛋白、粗脂肪、粗灰分和水分17.08%—19.16%、1.19%—1.84%、1.11%—1.37%和77.53%—80.60%的变化范围^[7-10, 12, 20], 表明野生日本沼虾肌肉中上述指标的变化幅度不大, 也反映出生长阶段、生活环境和食物资源等对野生虾常规营养成分的影响有限。其原因可能与野生日本沼虾对水质条件要求较高及天然水域日本沼虾喜食的食物资源较为丰富有关。

3.3 氨基酸及其营养品质

氨基酸种类、组成和含量是评价水产品质量

的重要指标。日本沼虾4个野生种群肌肉中His、Arg、Asp、Glu、TAA和NEAA差异显著, 表明生活环境和食物资源等对半必需氨基酸和部分非必需氨基酸的积累及氨基酸总量具有显著影响; 其中, 骆马湖种群所处的水域环境有助于鲜味氨基酸Glu、Asp的积累及NEAA的增加, 而洪泽湖水域有助于半必需氨基酸His、Arg的积累及NEAA和TAA的增加。水域环境如何影响日本沼虾肌肉中必需氨基酸、半必需氨基酸和非必需氨基酸的积累有待于进一步探讨。

动物蛋白质的鲜美程度与鲜味氨基酸的组成和含量有关^[12]。日本沼虾受生活环境、食物资源和食物中氨基酸含量等因素影响, 其肌肉中鲜味氨基酸含量不同, 但总体变化范围在31.63%—37.53%^[7, 12, 20, 21]。Glu和Asp是呈鲜味的特征性氨基酸, 其中Glu的鲜味最强^[6]。在本研究中, 骆马湖种群Glu含量高于其他3个种群, Asp含量高于太湖种群和高邮湖种群, 且鲜味氨基酸总量相对最高, 表明骆马湖野生日本沼虾比其他种群更加鲜美。蛋白质的营养价值取决于8种人体所需必需氨基酸的构成比例及含量^[22]。在排除Trp的情况下, 骆马湖种群肌肉中Lys、Phe、Thr、Ile、Leu、Val、Met、EAA、EAA/TAA和EAA/NEAA相对最高, 表明骆马湖日本沼虾氨基酸的营养品质略高于其他种群。

必需氨基酸指数(EAAI)可反映肌肉中必需氨基酸含量与标准蛋白质之间的接近程度^[23]。日本沼虾4个野生种群EAAI变化范围为70.51—74.09, 高于哈氏仿对虾(*Parapenaeopsis hardwickii*)、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)、安氏白虾、秀丽白虾、罗氏沼虾(*M. rosenbergii*)和南美蓝对虾(*Penaeus stylirostris*), 与日本对虾(*P. japonicus*)接近^[10, 11, 22], 说明日本沼虾必需氨基酸满足率高, 与谷物搭配膳食可提高人体对蛋白质的利用效率。骆马湖种群EAAI相对高于其他湖泊野生虾, 显示骆马湖虾肌肉中必需氨基酸组成及含量更接近标准蛋白质, 更符合人体消化吸收必需氨基酸的最佳比例。必需氨

表6 日本沼虾4个野生种群肌肉矿物质含量

Tab. 6 Contents of mineral elements in muscle of four wild *Macrobrachium nipponense* populations (mg/kg)

种群 Population	钾(K) Kalium	钠(Na) Sodium	钙(Ca) Calcium	镁(Mg) Magnesium	锰(Mn) Manganese	锌(Zn) Zinc	铁(Fe) Iron	铬(Cr) Chromium	铜(Cu) Copper	总量 Total amount
太湖Taihu Lake	14790.2± 303.5	7462.5± 53.0	5495.3± 106.1	1175.5± 94.0	4.51± 0.28 ^{ab}	63.25± 1.63	35.65± 3.61 ^a	0.034± 0.006	10.9± 0.85	27037.31± 391.17
高邮湖Gaoyou Lake	14356.0± 490.4	8682.3± 34.7	6068.2± 29.7	1211.8± 57.9	6.43± 0.76 ^a	63.07± 5.71	28.32± 8.55 ^{ab}	—	13.5± 1.21	30425.23± 1745.93
洪泽湖Hongze Lake	15871.1± 802.2	7838.5± 810.7	5765.4± 289.9	1191.7± 106.1	3.23± 0.85 ^{ab}	60.20± 3.96	17.53± 3.11 ^b	0.028± 0.009	10.3± 1.08	30756.75± 3459.42
骆马湖Luoma Lake	12742.4± 349.8	9142.5± 385.1	6739.3± 923.3	1233.2± 111.7	2.72± 0.54 ^b	62.25± 3.18	24.05± 1.34 ^{ab}	0.017± 0.003	16.15± 0.92	29960.67± 1777.19

氨基酸评分反映蛋白质构成与利用率之间的关系。在AAS(或CS)评分模式下,4个种群必需氨基酸评分的排序结果基本相同;但同一种群在不同评分模式下必需氨基酸评分的排序结果差异较大,表明7种必需氨基酸评分的排序结果与种群无关,而与评分模式有关。骆马湖日本沼虾AAS或CS与其他种群无显著差异,但7种必需氨基酸的评分均为最高,表明骆马湖种群蛋白质被人体利用的效率最高。上述结果表明,骆马湖日本沼虾肌肉中蛋白质更鲜美,氨基酸营养品质更好,可被人体利用的效率更高,说明骆马湖日本沼虾蛋白质营养品质相对高于其他种群。

3.4 脂肪酸

脂肪酸是脂类物质的组成部分,对动物的生长、发育和繁殖具有重要影响^[24]。研究发现,虾类肌肉中脂肪酸组成和含量具有种类特异性^[9]。比较日本沼虾与罗氏沼虾、哈氏仿对虾、近缘新对虾(*Metapenaeus affinis*)、刀额新对虾(*M. ensis*)、南极磷虾(*Euphausia superba*)等^[22, 25, 26]发现,不同虾类脂肪酸的种类组成和含量差异较大,但脂肪酸C16:0、C18:1、C18:2和C20:5均是含量最多的SFA、MUFA和PUFA,说明种类特异性对虾类肌肉SFA、MUFA和PUFA中占优势地位的脂肪酸种类影响有限。水温、食物资源丰度、食物中脂肪与蛋白质比例和脂肪酸类型可影响日本沼虾肌肉中脂肪酸的种类组成和含量^[9, 27]。在本研究中,不同种群间脂肪酸C20:0和C14:1组成不同,C18:0、C18:2和C20:1含量差异明显,表明湖泊水域环境对日本沼虾肌肉中脂肪酸组成和含量具有显著影响。不同地理种群或品系水生生物在相同条件下养殖,其肌肉中脂肪酸组成不同,说明遗传因素对肌肉中脂肪酸的影响大于养殖环境^[7, 28]。因此,肌肉中脂肪酸组成及含量可作为日本沼虾亲本选择的重要标准。研究表明,高含量的PUFA能显著增加香味^[8],其中n-3 PUFA和n-6 PUFA可预防冠心病、高血压、糖尿病和癌症^[29],而动脉粥样硬化指数(AI)和血栓性指数(TI)对动脉粥样硬化和血栓形成具有较好的指示作用^[30]。在本研究中,骆马湖野生虾检测到16种脂肪酸(6种SFA、4种MUFA和6种PUFA),高于国内其他地区野生虾肌肉中脂肪酸种类数^[7, 8, 20],同时其MUFA、PUFA、n-3 PUFA、n-6 PUFA和DHA+EPA相对较高,AI和TI相对较低,表明骆马湖野生虾具有较高的食用价值、营养价值和保健价值。

3.5 矿物质

日本沼虾肌肉中常量元素以K、Na、Ca和Mg

较为丰富,其含量由高到低排序为K>Na>Ca>Mg;而微量元素中,Zn含量最高,Mn和Cr含量较少^[10, 14, 20]。日本沼虾对生活环境和饵料中的矿物元素均有较强的富集作用^[31],造成不同水域野生虾肌肉中矿物质含量差别较大。在本研究中,4个野生种群Mn和Fe含量差异明显,表明江苏省四大湖泊中Mn和Fe差别较大。肌肉中的矿物质不仅影响肌肉营养价值,而且影响肌肉产品的货架期和风味^[23]。Fe呈咸味,Mn呈苦味。高邮湖种群Mn含量显著高于骆马湖,表明高邮湖虾苦味更重;而太湖种群Fe显著高于洪泽湖,表明太湖虾咸味更重。比较而言,骆马湖种群Na、Ca、Mg和Cu含量相对最高,而太湖虾Zn、Fe和Cr含量相对最高,说明骆马湖种群常量元素和太湖种群微量元素相对较高,二者肌肉矿物质营养价值更高。

综上所述,江苏省日本沼虾4个野生种群由于生活环境、食物资源和产地的改变,其生长性状(全长、体长、体重和肌肉重)和肌肉中氨基酸含量(His、Arg、Asp、Glu、TAA和NEAA)、脂肪酸组成(C20:0和C14:1)和含量(C18:0、C18:2、C20:1)、矿物质(Mn和Fe)含量差异显著。比较而言,太湖日本沼虾生长潜力、肌肉中DHA+EPA、Zn、Fe和Cr含量高于其他种群,而骆马湖日本沼虾在肌肉鲜美程度、营养品质(氨基酸、脂肪酸和矿物质)、保健价值和被人体吸收利用效率等方面具有一定优势,二者可以作为亲本来改善江苏省日本沼虾种质。

参考文献:

- [1] Fu H T, Wan Q S, Fu C P, *et al.* Screening of microsatellite markers associated with growth traits in *Macrobrachium nipponense* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, **34**(5): 1043-1048. [傅洪拓, 万青山, 付春鹏, 等. 青虾生长性状相关的微卫星标记筛选 [J]. 水生生物学报, 2010, **34**(5): 1043-1048.]
- [2] Cui F, Yu Y Y, Bao F Y, *et al.* Genetic diversity analysis of the oriental river prawn (*Macrobrachium nipponense*) in Huaihe River [J]. *Mitochondrial DNA Part A*, 2018, **29**(5): 737-744.
- [3] China Fishery Statistical Yearbook [C]. Beijing: China Agriculture Press, 2017: 24. [2017中国渔业统计年鉴 [C]. 北京: 中国农业出版社, 2017: 24.]
- [4] Fu H T, Gong Y S, Wu Y, *et al.* Artificial interspecific hybridization between *Macrobrachium* species [J]. *Aquaculture*, 2004, **232**(1-4): 215-223.
- [5] Fu H T, Jiang S F, Xiong Y W. Current status and prospects of farming the giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) and the oriental river prawn (*Macrobrachium nipponense*) in China [J]. *Aquaculture Research*, 2012, **43**(7): 993-998.

- [6] Tian J, Xu Q Q, Tian L, *et al.* The muscle composition analysis and flesh quality of *Procambarus clarkia* in the Dongting Lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2017, **41**(4): 870-877. [田娟, 徐巧情, 田罗, 等. 洞庭湖克氏原螯虾肌肉成分分析及品质特性分析 [J]. *水生生物学报*, 2017, **41**(4): 870-877.]
- [7] Ni J, Zhao X Q, Chen L Q, *et al.* A comparison of nutritional quality in muscle of *Macrobrachium nipponense* from four populations [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2003, **10**(3): 212-215. [倪娟, 赵晓勤, 陈立侨, 等. 日本沼虾4种群肌肉营养品质的比较 [J]. *中国水产科学*, 2003, **10**(3): 212-215.]
- [8] Zhang X. Preliminary studies on genetic characteristics and nutritional quality of wild and cultured populations of *Macrobrachium nipponense* in Jiangsu area [D]. Nanjing: Nanjing Agriculture University, 2008: 63-73. [张鑫. 江苏地区野生及养殖日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)群体遗传特征及营养品质的初步研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2008: 63-73.]
- [9] Lavajoo F, Biuki N A, Khanipour A, *et al.* An invasive shrimp species, *Macrobrachium nipponense*, in Anzali wetland demonstrated a potential source for commercial fishing [J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2018, **27**(9): 975-985.
- [10] Zhang T Q, Lin H, Ge J C, *et al.* The evaluation of muscle nutritional composition and flesh quality of *Macrobrachium nipponense* and *Exopalaemon modestus* from the Luoma Lake [J]. *Feed Research*, 2008(1): 59-63. [张彤晴, 林海, 葛家春, 等. 日本沼虾和秀丽白虾野生群体肌肉营养成分分析 [J]. *饲料研究*, 2008(1): 59-63.]
- [11] Zhuang P, Song C, Zhang L Z. Comparison of nutritive components of *Exopalaemon annandalei* and *Macrobrachium nipponense* collected from the Yangtze Estuary [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2008, **54**(5): 822-829. [庄平, 宋超, 章龙珍. 长江口安氏白虾与日本沼虾营养成分比较 [J]. *动物学报*, 2008, **54**(5): 822-829.]
- [12] Li L C. The evaluation of muscle nutritional composition in the oriental river prawn *Macrobrachium nipponense* and red swamp crayfish *Procambarus clarkia* from Nannan Lake [J]. *Reservoir Fisheries*, 2005, **25**(3): 28-29. [李林春. 南湾水库日本沼虾和克氏原螯虾肌肉营养成分分析 [J]. *水利渔业*, 2005, **25**(3): 28-29.]
- [13] AOAC. Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists International [M]. 16th ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists, 1995.
- [14] Jia Y Y, Zhao B N, Yao Q Y, *et al.* Evaluation of microelement and amino acids in the muscle of oriental river prawn *Macrobrachium nipponense* [J]. *Shandong Journal of Traditional Chinese Medicine*, 1991, **10**(6): 35-36. [贾元印, 赵勃年, 姚乾元, 等. 青虾中微量元素和氨基酸的含量测定 [J]. *山东中医杂志*, 1991, **10**(6): 35-36.]
- [15] Turan H, Sönmez G, Kaya Y. Fatty acid profile and proximate composition of the thornback ray (*Raja clavata* L. 1758) from the Sinop coast in the Black sea [J]. *Journal of Fisheries Sciences*, 2007, **1**(2): 97-103.
- [16] Wang J H, Cao C L, Ren J, *et al.* Muscle nutrient components analysis of shrimp, *Macrobrachium nipponense*, from Poyang Lake [J]. *Journal of Nanchang University (Natural Science)*, 2011, **35**(4): 380-383. [王军花, 曹春玲, 任杰, 等. 鄱阳湖日本沼虾肌肉营养成分分析 [J]. *南昌大学学报(理科版)*, 2011, **35**(4): 380-383.]
- [17] Feng G N, Han G M, Wang A M, *et al.* Analysis and evaluation of nutrition components in the muscle of four kinds of shrimp [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2011, **50**(5): 1004-1007. [封功能, 韩光明, 王爱民, 等. 4种常规养殖虾肌肉营养成分分析与评价 [J]. *湖北农业科学*, 2011, **50**(5): 1004-1007.]
- [18] Bakhtiyar Y, Langer S. Seasonal variation in the proximate body composition of *Macrobrachium dayanum* (Henderson, 1893) (Decapoda, Caridea) from Gho-Manhasa stream, Jammu, North India [J]. *Acta Biologica Turcica*, 2016, **29**(3): 89-98.
- [19] Huang Y J, Zhang N N, Fan W J, *et al.* Soybean and cottonseed meals are good candidates for fishmeal replacement in the diet of juvenile *Macrobrachium nipponense* [J]. *Aquaculture International*, 2018, **26**(1): 309-324.
- [20] Liu X L, Jiang J F, Wu H M, *et al.* Analysis of nutritional components in the muscle of hybrid oriental river prawn "Taihu No. 1" cultured in coastal saline-alkaline pond [J]. *Fishery Modernization*, 2017, **44**(5): 67-72. [刘肖莲, 姜巨峰, 吴会民, 等. 滨海型盐咸水域杂交青虾“太湖1号”肌肉营养成分分析 [J]. *渔业现代化*, 2017, **44**(5): 67-72.]
- [21] Wu Y, Gong Y S, Xiong Y W, *et al.* Evaluation of nutritive quality and nutritional composition of muscle in hybrid oriental prawns named "Taihu No. 1" [J]. *Freshwater Fisheries*, 2011, **41**(1): 72-77. [吴滢, 龚永生, 熊贻伟, 等. 杂交青虾“太湖1号”肌肉营养成分分析 [J]. *淡水渔业*, 2011, **41**(1): 72-77.]
- [22] Shi Y H, Zhang G Y, Liu Y S, *et al.* Comparison of muscle nutrient composition between wild and cultured sword prawn (*Parapenaeopsis hardwickii*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, **37**(5): 768-776. [施永海, 张根玉, 刘永士, 等. 野生及养殖哈氏仿对虾肌肉营养成分的分析与比较 [J]. *水产学报*, 2013, **37**(5): 768-776.]
- [23] Cheng H H, Xie C X, Li D P, *et al.* The study of muscular nutritional components and fish quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) in ecological model of cultivating grass carp with grass [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2016, **40**(7): 1050-1059. [程辉辉, 谢从新, 李大鹏, 等. 种青养鱼模式下草鱼肌肉营养成分和品质特性 [J]. *水产学报*, 2016, **40**(7): 1050-1059.]
- [24] Luo N, Ding Z L, Kong Y Q, *et al.* An evaluation of increasing linolenic acid level in the diet of *Macrobrachium nipponense*: Lipid deposition, fatty acid composition and expression of lipid metabolism-related genes [J].

- Aquaculture Nutrition*, 2018, **24**(2): 758-767.
- [25] Dinçer M T, Aydın İ. Proximate composition and mineral and fatty acid profiles of male and female shrimps (*Metapenaeus affinis*, H. Milne Edwards, 1837) [J]. *Turkish of Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 2014, **38**(4): 445-451.
- [26] Jiang Q X, Li S J, Xu Y S, *et al.* Nutrient compositions and properties of Antarctic krill (*Euphausia superba*) muscle and processing by-products [J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2016, **25**(3): 434-443.
- [27] Zhang N N, Ma Q Q, Fan W J, *et al.* Effects of the dietary protein to energy ratio on growth, feed utilization and body composition in *Macrobrachium nipponense* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2017, **23**(2): 313-321.
- [28] Grahl-Nielsen O, Jacobsen A, Christophersen G, *et al.* Fatty acid composition in adductor muscle of juvenile scallops (*Pecten maximus*) from five Norwegian populations reared in the same environment [J]. *Biochemical Systematic and Ecology*, 2010, **38**(4): 478-488.
- [29] Tsape K, Sinanoglou V J, Miniadis-Meimaroglou S. Comparative analysis of the fatty acid and sterol profiles of widely consumed Mediterranean crustacean species [J]. *Food Chemistry*, 2010, **122**(1): 292-299.
- [30] Deniz Ayas Y O A, Hatice Y. The effects of season on fat and fatty acids contents of shrimp and prawn species [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2013, **115**(3): 356-362.
- [31] Sarkar T, Masihul Alam M, Parvin N, *et al.* Assessment of heavy metals contamination and human health risk in shrimp collected from different farms and rivers at Khulna-Satkhira region, Bangladesh [J]. *Toxicology Reports*, 2016(3): 346-350.

COMPARISON OF MUSCLE NUTRITIONAL COMPOSITIONS OF FOUR WILD ORIENTAL RIVER PRAWN *MACROBRACHIUM NIPPONENSE* POPULATIONS IN JIANGSU PROVINCE

TANG Jin-Yu^{1,2}, YE Jian-Yong¹, DAI Yang-Xin³, JIANG Ai-Lan¹ and WU Chun¹

(1. Suqian Institute of Agricultural Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Suqian 223800, China; 2. College of Animal Science & Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210014, China; 3. Institute of Fisheries Research, Hangzhou Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310024, China)

Abstract: Recently, the oriental river prawn *Macrobrachium nipponense* aquaculture industry has suffered the degeneration of genetic characterization, which presents a significant obstacle to the sustainable development of freshwater aquaculture. To select the excellent breeding and cultivate high-quality larvae of *M. nipponense*, we explored the nutritional composition of edible muscle as an essential indicator of selection breeding by studying the growth traits and nutritional composition of wild *M. nipponense* from the four largest lakes including Taihu Lake, Gaoyou Lake, Hongze Lake and Luoma Lake in Jiangsu Province. Results showed that the flesh content rate of *M. nipponense* ranged from 33.99% to 35.40%, and no significant difference was found among the four wild populations though the total length, body length, wet weight and muscle wet weight were obviously different. The changes in crude protein, crude lipid, ash and moisture of *M. nipponense* muscle were 17.73%—18.81%, 1.40%—1.83%, 1.07%—1.24% and 78.44%—79.49%, respectively. Total 17 amino acids, including 7 essential amino acids, were identified in muscle, and the essential amino acid index (EAAI) was 70.51 to 74.09. The contents of His, Arg, Asp, Glu, total amino acid and nonessential amino acid were distinctly different in the *M. nipponense* from the four natural waters. Total 16 fatty acids, including 10 unsaturated fatty acids, were found, and the fatty acid composition (C20:0 and C14:1) and contents (C18:0, C18:2 and C20:1) were obviously affected by various available food resource and environmental factors. The mineral elements, including 4 macroelements (Na, K, Ca and Mg) and 5 microelements (Fe, Cu, Zn, Mn and Cr), were monitored and the contents of Fe and Mn were significantly different among the four wild populations. These findings indicate that the flesh contents are similar among various size of *M. nipponense*, and that the food availability and environmental factors may significantly affect some amino acids, fatty acids and mineral elements. Thus, it is necessary to maintain these nutritive substances during the aquaculture period. Taihu Lake shrimp and Luoma Lake shrimp can be served as seed shrimp to improve the genetic characterization of *M. nipponense* in Jiangsu Province.

Key words: *Macrobrachium nipponense*; Wild population; Growth traits; Muscle nutritional composition; Nutritional value