

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20210104001

http://www.yykxjz.cn/

赵仲孟, 张露, 赵瀚, 黄志鹏, 柯红雨, 段元亮, 李强, 周剑. 西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)肌肉的营养成分比较及评价. 渔业科学进展, 2022, 43(2): 129-136

ZHAO Z M, ZHANG L, ZHAO H, HUANG Z P, KE H Y, DUAN Y L, LI Q, ZHOU J. Analysis and evaluation of nutritive composition in muscles of *Acipenser baerii*, *Acipenser schrenckii*, and their hybrids. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(2): 129-136

西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)肌肉的营养成分比较及评价*

赵仲孟 张露 赵瀚 黄志鹏 柯红雨 段元亮 李强 周剑^①

(四川省农业科学院水产研究所 四川 成都 611730)

摘要 通过对西伯利亚鲟(*Acipenser baeri*)、施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)及其杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂, *Acipenser baerii*♀×*A. schrenckii*♂)的肌肉常规营养成分进行测定, 同时进行氨基酸和脂肪酸的测定, 从而对 3 种鲟鱼营养品质进行分析评价。结果显示, 除水分含量外, 杂交种肌肉中粗灰分、粗蛋白和粗脂肪含量均高于其亲本西伯利亚鲟和施氏鲟, 但均未达到显著差异($P>0.05$); 在 3 种鲟鱼肌肉中共检测出 16 种氨基酸, 其中, 包括 7 种必需氨基酸和 4 种鲜味氨基酸, 杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)肌肉中的氨基酸总量、必需氨基酸总量及鲜味氨基酸总量均高于其亲本西伯利亚鲟和施氏鲟。根据氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS), 3 种鲟鱼肌肉中第一限制氨基酸均为蛋氨酸+胱氨酸; 第二限制氨基酸均为缬氨酸。另外, 在杂交种肌肉中检测出亲本含有的 18 种脂肪酸外, 还另外检测出 4 种脂肪酸, 且杂交种肌肉中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量均显著高于亲本($P<0.05$)。在 3 种鲟鱼肌肉中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量最高的分别为棕榈酸(C16:0)、油酸(C18:1n9c)和亚油酸(C18:2n6c)。研究表明, 杂交种相比于亲本具有更高的食用价值和营养价值, 从而具有更明显的生产优势。

关键词 西伯利亚鲟; 施氏鲟; 杂交; 营养成分; 比较分析

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2022)02-0129-08

西伯利亚鲟(*Acipenser baeri*)和施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)是我国的 2 个重要养殖品种, 均隶属于鲟形目(Acipenseriformes)、鲟科(Acipenseridae)、鲟属(*Acipenser*)。在自然条件下, 施氏鲟主要分布于黑龙江水系(Krykhtin *et al*, 1997), 是该地区的特有种和重要经济鱼类, 该品种主要优势在于生长速度快, 但也

存在抗病力差、不耐运输, 且对活饵过于依赖较难驯化、在养殖过程中死亡率较高等缺点。而西伯利亚鲟在我国额尔齐斯河水系有少量分布, 虽然其生长速度慢, 但抗病力强, 耐运输(Birstein *et al*, 1993; 孙大江等, 2011)。我国于 2007 年前后将西伯利亚鲟和施氏鲟的杂交组合(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂, *Acipenser*

* 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系、优质特色淡水鱼工程产业链关键技术集成与示范(2018NZ0007)和亚冷水性鱼类养殖产业化研究与示范“创新能力培育”(2020YFN0134)共同资助 [This work was supported by China Agriculture Research System of MOF and MARA, the Key Technology Integration and Demonstration of High Quality Characteristic Freshwater Fish Engineering Industry Chain (2018NZ0007), and Research on Industrialization of Sub-Cold Water Fish Culture and Demonstration of “Cultivation of Innovation Ability” (2020YFN0134)].

赵仲孟, E-mail: 18227552594@163.com

① 通讯作者: 周剑, 副研究员, E-mail: zhoujian980@126.com

收稿日期: 2021-01-04, 收修改稿日期: 2021-02-04

baerii♀ × *A. schrenckii*♂)繁育成功。在养殖过程中,发现杂交种比其亲本具有明显的生产优势,主要体现在生长速度较快、肉质好、抗病力强和运输成活率高等。杂交种凭借其生产优势,在全国范围内迅速进行推广养殖,已成为我国商品鲟鱼养殖规模与产量最大的品种(孙大江等, 2011)。

目前,关于杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)的研究主要集中在生长性能、繁殖力、抗逆性和免疫等方面(朱华等, 2014; 齐茜等, 2017; 王念民等, 2010b; 王荻等, 2011)。朱华等(2014)比较了西伯利亚鲟(♀)×施氏鲟(♂)杂交 F₁ 及其母本西伯利亚鲟的苗种培育,发现随着年龄的增长,杂交 F₁ 生长速度明显快于西伯利亚鲟,说明杂交 F₁ 比其母本西伯利亚鲟的生长性能更加优良。王念民等(2010a)用施氏鲟同西伯利亚鲟和小体鲟(*Acipenser ruthenus*)进行正反杂交实验发现,杂种后代的生长速度比其亲本更具优势。此外,齐茜等(2017)对西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交 F₁ 进行繁殖力方面研究发现,杂交 F₁ 的平均受精率和孵化率高于其亲本西伯利亚鲟且开口率也是最高,因此,证明了杂交 F₁ 在繁殖力方面优于其亲本。对于免疫能力,王荻等(2011)研究发现,西伯利亚鲟(♀)×施氏鲟(♂)杂交 F₁ 的肝、肾、鳃、肌肉和血液等组织中免疫相关的超氧化物歧化酶(SOD)和酸性磷酸酶(ACP)活性高于其亲本。而对于西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)肌肉营养成分的研究相对较少,本研究通过对西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)肌肉营养成分进行分析测定,比较分析3种鲟鱼肌肉营养成分差异,旨在为杂交鲟的养殖和研究提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验材料及样品处理

本研究中,西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)均来自四川润兆渔业有限公司彭州军乐基地,西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种均为2018年11月同时段产卵受精,经孵化、驯化后同池饲养,且采用同样的饲喂方式。于2020年10月,随机选取健壮无伤、规格均一旦达到商品鱼规格的西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种各5尾。其中,西伯利亚鲟体长为25.19~27.72 cm,体重为1178.67~1272.81 g;施氏鲟体长为28.48~31.18 cm,体重为1377.53~1478.35 g;杂交种体长为32.46~36.22 cm,体重为1645.61~1720.26 g。每尾鱼为1个分析样品,每尾取肌肉样品100 g,取自两侧头盖骨后至尾鳍前的体背

肌肉,捣碎混匀后,经105℃烘干后保存。

1.2 检测方法

分别对每个肌肉样品进行常规营养成分测定:根据GB 5009.3-2016测定肌肉中水分;根据GB 5009.4-2016测定肌肉粗灰分含量;根据GB 5009.5-2016测定肌肉粗蛋白含量;根据GB 5009.6-2016测定肌肉粗脂肪含量。

分别对每个肌肉样品进行氨基酸和脂肪酸含量的测定:本实验氨基酸采用GB 5009.124-2016微波辅助酸水解法进行测定,脂肪酸采用GB 5009.168-2016法进行测定。

1.3 氨基酸营养价值评价

分别对西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种的氨基酸评分(amino acid score, AAS)、化学评分(chemical score, CS)和必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)进行计算,同时与FAO/WHO氨基酸评分模式和中国预防医学科学院营养与食品卫生所提出的全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式进行比较(刘俊利等, 2011; 周剑等, 2021),计算公式为:

$$AAS = \frac{\text{待测鲟鱼肌肉蛋白氨基酸含量(mg/g N)}}{\text{FAO/WHO评分模式氨基酸含量(mg/g N)}}$$

$$CS = \frac{\text{待测鲟鱼肌肉蛋白氨基酸含量(mg/g N)}}{\text{全鸡蛋蛋白质同种氨基酸含量(mg/g N)}}$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100A}{AE} \times \frac{100B}{BE} \times \frac{100C}{CE} \dots \times \frac{100F}{FE}}$$

AAS和CS公式中,氨基酸含量(mg/g)=鲟鱼肌肉鲜样氨基酸含量百分比/鲟鱼肌肉鲜样粗蛋白含量百分比×6.25×1000。

EAAI公式中, n 为氨基酸中需要比较的必需氨基酸个数;AE、BE、…、FE为全鸡蛋蛋白质的必需氨基酸含量(mg/g N);A、B、…、F为鲟鱼肌肉中蛋白质的必需氨基酸含量(mg/g N)。

1.4 数据统计

采用SPSS 16.0软件进行统计分析,独立样本 t 检验进行西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种样本间的差异分析,方差齐性检验使用Levene's test进行,平均值±标准差(Mean±SD)表示描述性统计值。

2 结果

2.1 基本营养成分

杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)肌肉中粗灰分、

粗蛋白和粗脂肪含量均高于其亲本西伯利亚鲟和施氏鲟, 但均未达到显著差异($P>0.05$), 而杂交种肌肉中水分含量低于其亲本西伯利亚鲟和施氏鲟, 差异也并不显著($P>0.05$)(表 1)。

2.2 氨基酸组成

在西伯利亚鲟、施氏鲟及杂交种个体的肌肉中

共检测出 16 种氨基酸, 氨基酸总量分别为(16.34±0.39)%、(16.11±0.47)%和(16.75±0.67)%。杂交种肌肉中必需氨基酸总量显著高于施氏鲟($P<0.05$), 同时高于西伯利亚鲟但无显著性差异($P>0.05$)。除此之外, 氨基酸总量和鲜味氨基酸总量均在杂交种肌肉中含量最高, 但差异并不显著($P>0.05$)(表 2)。

西伯利亚鲟肌肉中必需氨基酸总量占氨基酸总

表 1 西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)肌肉中主要营养物质(平均值±标准差) (%湿重)

Tab.1 Nutrient components in muscles of the *A. baerii*, *A. schrenckii* and *A. baerii* × *A. schrenckii* (Mean±SD) (% wet weight)

品种 Species	水分 Moisture/%	粗灰分 Ash/(g/100g)	粗蛋白 Crude protein/(g/100 g)	粗脂肪 Crude fat/(g/100 g)
西伯利亚鲟(♀)×施氏鲟(♂) <i>A. baerii</i> (♀)× <i>A. schrenckii</i> (♂)	73.36±2.59	1.10±0.06	17.64±0.69	7.96±2.43
西伯利亚鲟 <i>A. baerii</i>	74.68±0.88	1.03±0.06	16.92±0.38	6.82±0.65
施氏鲟 <i>A. schrenckii</i>	75.08±0.72	1.02±0.04	16.92±0.52	7.82±0.92

表 2 西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)肌肉中氨基酸组成(平均值±标准差) (%湿重)

Tab.2 Amino acids composition in muscles of the *Acipenser baerii*, *Acipenser schrenckii* and *A. baerii* × *A. schrenckii* (g/100 g) (Mean±SD) (% wet weight)

氨基酸 Amino acids	西伯利亚鲟(♀)×施氏鲟(♂) <i>A. baerii</i> (♀)× <i>A. schrenckii</i> (♂)	西伯利亚鲟 <i>A. baerii</i>	施氏鲟 <i>A. schrenckii</i>
天门冬氨酸# Asp	1.73±0.07	1.70±0.03	1.67±0.03
苏氨酸* Thr	0.78±0.03	0.76±0.02	0.76±0.02
丝氨酸 Ser	0.74±0.04 ^a	0.70±0.02 ^b	0.72±0.03 ^{a,b}
谷氨酸# Glu	2.70±0.13	2.59±0.07	2.64±0.06
甘氨酸# Gly	0.84±0.13	0.80±0.05	0.80±0.13
丙氨酸# Ala	0.97±0.06	0.97±0.03	0.97±0.04
缬氨酸* Val	0.87±0.05 ^a	0.87±0.05 ^a	0.77±0.03 ^b
蛋氨酸* Met	0.59±0.04 ^{a,b}	0.60±0.06 ^a	0.53±0.02 ^b
异亮氨酸* Ile	0.78±0.05	0.77±0.05	0.75±0.02
亮氨酸* Leu	1.35±0.06	1.34±0.02	1.34±0.04
酪氨酸 Tyr	0.67±0.05	0.66±0.02	0.62±0.03
苯丙氨酸* Phe	0.75±0.05	0.75±0.35	0.71±0.02
赖氨酸* Lys	1.70±0.07 ^a	1.65±0.05 ^{a,b}	1.60±0.07 ^b
组氨酸 His	0.65±0.03 ^a	0.55±0.04 ^b	0.61±0.01 ^a
精氨酸 Arg	1.06±0.05	1.03±0.05	1.01±0.04
脯氨酸 Pro	0.56±0.07	0.59±0.13	0.61±0.05
氨基酸总量 W _{TAA}	16.75±0.67	16.34±0.39	16.11±0.47
必需氨基酸总量 W _{EAA}	6.82±0.33 ^a	6.74±0.21 ^{a,b}	6.45±0.27 ^b
鲜味氨基酸总量 W _{DAA}	6.24±0.31	6.06±0.17	6.07±0.25
非必需氨基酸总量 W _{NEAA}	9.92±0.44	9.60±0.20	9.65±0.37
W _{EAA} /W _{TAA} /%	40.70±0.01 ^{a,b}	41.24±0.00 ^a	40.08±0.01 ^b
W _{EAA} /W _{NEAA} /%	68.75±0.01 ^{a,b}	70.20±0.00 ^a	66.84±0.01 ^b
W _{DAA} /W _{TAA} /%	37.25±0.01	37.11±0.01	37.67±0.00

注: * 鱼类必需氨基酸; # 鲜味氨基酸。同一行数据具有不同上标字母表示差异显著($P<0.05$), 下同

Note: * Essential amino acids; # Flavor amino acid. Different superscript letters in the same row indicate significant difference ($P<0.05$). The same as below

量的比值(W_{EAA}/W_{TAA})和必需氨基酸总量占非必需氨基酸总量的比值(W_{EAA}/W_{NEAA})均为最高,显著高于施氏鲟,与杂交种无显著差异。除此之外,肌肉中鲜味氨基酸总量占氨基酸总量的比值(W_{DAA}/W_{TAA})最高的是施氏鲟,但均未达到显著差异($P>0.05$)(表2)。

2.3 肌肉营养品质评价

通过计算得出西伯利亚鲟、施氏鲟及杂交种肌肉的氨基酸评分值(ASS)和化学评分值(CS),西伯利亚鲟肌肉中必需氨基酸的ASS值为1.01~1.80,CS值为0.58~1.30;施氏鲟肌肉中必需氨基酸的ASS值为0.89~1.74,CS值为0.51~1.34;杂交种肌肉中必需氨基酸的ASS值为0.95~1.77,CS值为0.54~1.37(表3)。根据ASS评分和CS评分,西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种肌肉中的第一限制氨基酸均为蛋氨酸+胱氨酸;第二限制氨基酸均为缬氨酸。

2.4 脂肪酸组成

在西伯利亚鲟和施氏鲟肌肉中共检测出18种脂肪酸,包括饱和脂肪酸(SFA, saturated fatty acid)7种,单不饱和脂肪酸(MUFA, monounsaturated fatty acid)3种,多不饱和脂肪酸(PUFA, polyunsaturated fatty acid)8种。而在杂交种肌肉中除西伯利亚鲟和施氏鲟

肌肉中检测出的18种脂肪酸外,在SFA中还检测出二十三酸(C23:0);MUFA中还检测出顺-10-十七碳一烯酸(C17:1n7);以及在PUFA中还检测出顺-8,11,14-二十碳三烯酸(C20:3n6)和顺-13,16-二十二碳二烯酸(C22:2n6)(表4)。

杂交种肌肉SFA占肌肉干重的1.69%,显著高于西伯利亚鲟的1.31%和施氏鲟的1.33% ($P<0.05$);杂交种肌肉MUFA占肌肉干重的2.51%,显著高于西伯利亚鲟的1.84%和施氏鲟的1.96% ($P<0.05$);杂交种肌肉PUFA占肌肉干重的3.38%,同样显著高于西伯利亚鲟的2.79%和施氏鲟的2.69% ($P<0.05$)。在西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种肌肉中SFA含量最高的是棕榈酸(C16:0);MUFA含量最高的是油酸(C18:1n9c);而PUFA在肌肉中含量最高的是亚油酸(C18:2n6c)。

3 讨论

3.1 常规营养成分分析

鱼体肌肉中粗蛋白和粗脂肪等含量的高低是衡量鱼类营养价值的重要指标。其中,蛋白质是组成动物一切细胞、组织的重要成分,机体所有重要的组成部分都需要蛋白质的参加。食品中蛋白质含量的多少,虽然不能决定一种食品营养价值的高低,但评定

表3 西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交后代肌肉中氨基酸评分和化学评分
Tab.3 Comparative analysis of AAS and CS in muscles between the *A. baerii*,
A. schrenckii and *A. baerii* × *A. schrenckii*

必需氨基酸 EAA	西伯利亚鲟(♀)×施氏鲟(♂) <i>A. baerii</i> (♀)× <i>A. schrenckii</i> (♂)			西伯利亚鲟 <i>A. baerii</i>			施氏鲟 <i>A. schrenckii</i>			FAO评分 模式标准 含量 FAO score model	全鸡蛋 蛋白质 标准含量 Egg score model
	氨基酸 含量 Amino acid contents	氨基酸 评分值 AAS	化学 评分值 CS	氨基酸 含量 Amino acid contents	氨基酸评 分值AAS	化学 评分值 CS	氨基酸 含量 Amino acid contents	氨基酸评 分值AAS	化学 评分值 CS		
亮氨酸 Leu	478	1.09	0.90	495	1.13	0.93	494	1.12	0.93	440	534
异亮氨酸 Ile	276	1.10	0.83	283	1.13	0.85	277	1.11	0.84	250	331
赖氨酸 Lys	602	1.77	1.37	611	1.80	1.39	590	1.74	1.34	340	441
苏氨酸 Thr	277	1.11	0.95	280	1.12	0.96	282	1.13	0.97	250	292
缬氨酸 Val	307	0.99**	0.75**	323	1.04**	0.79**	284	0.92**	0.69**	310	411
苯丙+酪氨酸 Phe+Tyr	504	1.33	0.89	523	1.38	0.93	493	1.30	0.87	380	565
蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	209	0.95*	0.54*	222	1.01*	0.58*	196	0.89*	0.51*	220	386
总计 Total	2653			2737			2616			2190	2960
必需氨基酸 指数 EAAI		86.02			89.39			84.45			

注: *为第一限制性氨基酸; **为第二限制性氨基酸

Note: * indicate the first limiting amino acids; ** indicate the second limiting amino acids

表 4 西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交后代肌肉中脂肪酸组成及含量(平均值±标准差) (%湿重)
Tab.4 Fatty acids composition in muscles of of the *A. baerii*, *A. schrenckii* and
A. baerii × *A. schrenckii* (Mean±SD) (% wet weight)

脂肪酸 Fatty acid	西伯利亚鲟(♀)×施氏鲟(♂) <i>A. baerii</i> (♀)× <i>A. schrenckii</i> (♂)	西伯利亚鲟 <i>A. baerii</i>	施氏鲟 <i>A. schrenckii</i>
	含量 Content		
C14:0	0.097±0.040	0.079±0.010	0.072±0.040
C15:0	0.018±0.010	0.015±0.000	0.013±0.000
C16:0	1.260±0.500	0.990±0.110	0.950±0.060
C17:0	0.030±0.010 ^a	0.020±0.000 ^b	0.020±0.000 ^b
C18:0	0.250±0.090 ^a	0.170±0.010 ^b	0.210±0.030 ^{a,b}
C20:0	0.020±0.010 ^a	0.010±0.000 ^{a,b}	0.010±0.010 ^b
C22:0	0.010±0.000 ^a	0.030±0.000 ^b	0.060±0.010 ^c
C23:0	0.006±0.000	未检出(定量限: 0.003 3)	未检出(定量限: 0.003 3)
Σ SFA	1.690±0.660 ^a	1.310±0.130 ^b	1.330±0.110 ^b
C16:1n7	0.180±0.090	0.150±0.020	0.120±0.010
C17:1n7	0.015±0.015	未检出(定量限: 0.003 3)	未检出(定量限: 0.003 3)
C18:1n9c	2.290±1.020	1.680±0.170	1.830±0.180
C22:1n9	0.030±0.040	0.010±0.000	0.010±0.000
Σ MUFA	2.510±1.160 ^a	1.840±0.190 ^b	1.960±0.180 ^b
C18:2n6c	2.060±0.830	1.710±0.140	1.620±0.140
C18:3n6	0.090±0.020	0.090±0.020	0.080±0.010
C18:3n3	0.400±0.180	0.300±0.040	0.320±0.030
C20:2	0.110±0.050	0.090±0.010	0.100±0.010
C20:3n6	0.040±0.010	未检出(定量限: 0.003 3)	未检出(定量限: 0.003 3)
C20:3n3	0.020±0.010	0.020±0.000	0.030±0.000
C20:4n6	0.070±0.010	0.070±0.010	0.080±0.010
C22:2n6	0.006±0.000	未检出(定量限: 0.003 3)	未检出(定量限: 0.003 3)
C20:5n3	0.130±0.060	0.110±0.010	0.100±0.000
C22:6n3	0.450±0.160	0.370±0.030	0.370±0.030
Σ PUFA	3.380±1.320 ^a	2.790±0.220 ^b	2.690±0.790 ^b

一种食品蛋白质营养价值时,应以蛋白质含量为基础(李华, 2013)。本研究中,杂交种个体肌肉中粗蛋白含量(17.64%)高于西伯利亚鲟和施氏鲟,具有较好的优势。同时高于同规格的俄罗斯鲟(*Acipenser gueldenstaedti*)、达氏鲟(*Acipenser dabryanus*)、中华鲟(*Acipenser sinensis*)、匙吻鲟(*Polyodon spathula*)等鲟形目鱼类,低于小体鲟、达氏鳇(*Huso dauricus*)等(杨太有等, 2005; 龚全等, 2012; 尹洪滨等, 2004; 沈硕等, 2009)。脂肪是鱼类能量的来源,本研究中,杂交种肌肉中粗脂肪含量(7.96%)高于西伯利亚鲟和施氏鲟,同时高于俄罗斯鲟、达氏鲟、匙吻鲟、中华鲟、小体鲟、达氏鳇等鲟形目鱼类(杨太有等, 2005; 龚全等, 2012; 尹洪滨等, 2004; 沈硕等, 2009)。因此,杂交种肌肉中粗蛋白和粗脂肪含量较高,可作为杂交选育的指标,且相比其亲本和其他鲟形目鱼类具有较好

的优势,是一种营养价值较高的鱼类。除此之外,杂交种肌肉中粗灰分含量也高于其亲本,而水分含量低于其亲本,这也是影响其营养价值的重要原因之一。

3.2 氨基酸组成比较

肌肉营养品质的评定主要受蛋白质中氨基酸的影响,根据 FAO/WHO 的理想模式,必需氨基酸占氨基酸总量的比值(W_{EAA}/W_{TAA})为 40%左右,必需氨基酸与非必需氨基酸的比值(W_{EAA}/W_{NEAA})在 60%以上为质量较好的蛋白质(高露娇等, 2011; Pellet *et al*, 1980)。本研究中,西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种肌肉的 W_{EAA}/W_{TAA} 和 W_{EAA}/W_{NEAA} 值均符合优质蛋白质的要求。而 3 种鲟鱼肌肉中 W_{EAA}/W_{TAA} 和 W_{EAA}/W_{NEAA} 值最高的为西伯利亚鲟,鲜味氨基酸总量占氨基酸总量的比值(W_{DAA}/W_{TAA})最高的是施氏

鲟,可能是由于杂交种肌肉中的 W_{TAA} 、 W_{EAA} 、 W_{DAA} 和 W_{NEAA} 均高于其亲本,导致其杂交 F_1 肌肉中 W_{EAA}/W_{TAA} 、 W_{EAA}/W_{NEAA} 和 W_{DAA}/W_{TAA} 值偏低。在 3 种鲟鱼肌肉中,必需氨基酸含量最高的均为赖氨酸,赖氨酸是乳液中第一限制性氨基酸,并有“生长氨基酸”之称,食用鲟鱼可补充食物中赖氨酸摄入,从而提高蛋白质的利用率(周均等, 2006)。且 3 种鲟鱼肌肉在赖氨酸含量均超过 FAO/WHO 模式和鸡蛋蛋白质,杂交种肌肉中含量最高,显著高于施氏鲟。同时高于俄罗斯鲟、匙吻鲟、中华鲟、达氏鳇和达氏鲟,低于小体鲟(杨太有等, 2005; 龚全等, 2012; 尹洪滨等, 2004; 沈硕等, 2009)。除此之外,还高于草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*)、鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙 (*Hypophthalmichthys nobilis*)、合方鲫(日本白鲫♀×红鲫♂, *Carassius cuvieri*♀×*C. auratus*♂)、红鲫等常规鱼类(陈小雷等, 2020; 刘俊利等, 2011; 刘庆峰等, 2017)。蛋白质的鲜美程度主要取决于呈鲜味的谷氨酸和天门冬氨酸以及呈甘味的甘氨酸和丙氨酸的组成与含量(张昌颖等, 1988; 刘峰等, 2018)。本研究中, 3 种鲟鱼肌肉中含量最高的为谷氨酸,谷氨酸是鲜味最强的氨基酸,也是脑组织生化代谢中合成生理活性物质的重要参与物质。且杂交 F_1 肌肉中谷氨酸、天门冬氨酸、甘氨酸和丙氨酸含量均高于亲本,说明杂交种肉质味道更加鲜美。而鲜味氨基酸总量低于俄罗斯鲟、中华鲟和小体鲟等其他鲟形目鱼类(杨太有等, 2005; 尹洪滨等, 2004)。

必需氨基酸指数(EAAI)是评价食品营养价值的常用指标之一(许星鸿等, 2011)。Oser(1951)提出,当 $EAAI > 90$,表示蛋白质的营养价值高, $EAAI$ 为 70~90 时,表示蛋白质的营养价值为良。本研究中,西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种的 $EAAI$ 分别为 89.39、84.45 和 86.02,接近 90,说明 3 种鲟鱼蛋白质营养价值均较高。

3.3 脂肪酸组成比较

脂肪酸是机体主要能源之一,对鱼类的生长和生存起着重要作用(王永明等, 2018)。本研究在西伯利亚鲟和施氏鲟肌肉中共检测出 18 种脂肪酸,而在杂交种肌肉中还另外检测出 4 种脂肪酸,可能是因为这 4 种脂肪酸在西伯利亚鲟和施氏鲟肌肉中未达到检测的最低标准含量,而在杂交种中达到最低标准含量。在 3 种鲟鱼肌肉中均以多不饱和脂肪酸(PUFA)含量最高,单不饱和脂肪酸(MUFA)次之,饱和脂肪酸(SFA)最低,且杂交种肌肉中 PUFA、MUFA 和 SFA 含量均显著高于其亲本西伯利亚鲟和施氏鲟,这可能是由于杂交育种引起的肉质变化,其确切机制还需要进一步

深入研究。3 种鲟鱼肌肉中 SFA 含量最高的是棕榈酸(C16:0); MUFA 含量最高的是油酸(C18:1n9c); 而 PUFA 在肌肉中含量最高的是亚油酸(C18:2n6c)。鱼类肌肉中脂肪酸组成的含量与其种类、生存环境、饵料营养成分配比等诸多因素有关(Ahlgren *et al.*, 2010)。但在相同条件下,鲟形目鱼类及其杂交后代在脂肪酸组成含量上表现出的特征,为其脂肪酸的组成结构、含量、营养价值评定以及鱼类种质标准的建立提供了依据(尹洪滨等, 2004)。

综上所述,杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)相比于亲本西伯利亚鲟和施氏鲟肌肉中粗蛋白和粗脂肪含量较高,氨基酸含量和脂肪酸含量同样高于亲本。同时具有均衡的氨基酸组成,必需氨基酸含量符合人体需要,表现出更高的食用价值和营养价值,可在后续的鲟鱼杂交育种研究中提供基础数据。

参 考 文 献

- AHLGREN G, BLOMQVIST P, BOBERG M, *et al.* Fatty acid content of the dorsal muscle-an indicator of fat quality in freshwater fish. *Journal of Fish Biology*, 2010, 45(1): 131-157
- BIRSTEIN V J. Sturgeons and paddlefishes: Threatened fishes in need of conservation. *Conservation Biology*, 1993, 7(4): 773-787
- CHEN X L, CUI K, ZHOU B B, *et al.* Comparison of nutrient composition in grass carp *Ctenopharyngodon idellus* cultured in spring flowing water and in a routine pond. *Fisheries Science*, 2020, 39(1): 63-71 [陈小雷, 崔凯, 周蓓蓓, 等. 山泉流水与池塘养殖草鱼营养成分比较. *水产科学*, 2020, 39(1): 63-71]
- GAO L J, HUANG Y Q, XIA L J, *et al.* Comparison of flesh quality of farmed fugu, *Takifugu rubripes* from different culture models. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(11): 1668-1676 [高露娇, 黄艳青, 夏连军, 等. 不同养殖模式下红鳍东方鲀的品质比较. *水产学报*, 2011, 35(11): 1668-1676]
- GONG Q, ZHAO G, DU J, *et al.* Analysis of nutritional composition in muscle of *Acipenser dabryanus* Dumeril. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 25(6): 2372-2375 [龚全, 赵刚, 杜军, 等. 达氏鲟肌肉营养成分分析. *西南农业学报*, 2012, 25(6): 2372-2375]
- KRYKHTIN M L, SVIRSKII V G. Endemic sturgeons of the Amur River: Kaluga, *Huso dauricus*, and Amur sturgeon, *Acipenser schrenckii*. *Environmental Biology of Fishes*, 1997, 48(1/2/3/4): 231-239
- LI H. Comparison of nutrient components in muscles of wild and artificial cultured *Triplophysa siluroides*. *Sichuan Journal of Zoology*, 2013, 32(4): 584-587 [李华. 野生和人工养殖似鲃高原鳅肌肉营养成分比较. *四川动物*, 2013, 32(4):

- 584–587]
- LIU F, LÜ X K, LIU Y Y, *et al.* Effect of starvation on amino acids and fatty acids of juvenile *Larimichthys crocea*. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(5): 58–65 [刘峰, 吕小康, 刘阳阳, 等. 饥饿对大黄鱼幼鱼肌肉中氨基酸和脂肪酸组成的影响. *渔业科学进展*, 2018, 39(5): 58–65]
- LIU J L, XIONG B X, LÜ G J, *et al.* Comparison on muscle composition of *Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys mobilis* in two reservoirs with different trophic levels. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(7): 1098–1104 [刘俊利, 熊邦喜, 吕光俊, 等. 两种不同营养类型水库鲢、鳙肌肉营养成分的比较. *水产学报*, 2011, 35(7): 1098–1104]
- LIU Q F, WANG J, XIAO J, *et al.* Muscle nutrient of *Carassius auratus cuvieri* (♀)×*Carassius auratus* red var. (♂) and its parents. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(7): 1133–1139 [刘庆峰, 王静, 肖军, 等. 合方鲫及其亲本肌肉营养成分分析. *水产学报*, 2017, 41(7): 1133–1139]
- OSER B L. Method for integrating essential amino acid content in the nutritional evaluation of protein. *Journal of the American Dietetic Association*, 1951, 27(5): 396–402
- PELLET P L, YONG V R. *Nutritional evaluation of protein food*. Tokyo: The United National University Publishing Company, 1980, 26–29
- QI Q, LIU H H, LI Z H, *et al.* Comparison of reproductive performance, growth performance and disease resistance performance among *Acipenser schrencki*, *Acipenser baeri* and their hybrid offsprings. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2017, 39(2): 376–383 [齐茜, 刘浩浩, 李忠华, 等. 施氏鲟、西伯利亚鲟及其杂交后代的繁殖性能、生长性能及抗病性能比较. *江西农业大学学报*, 2017, 39(2): 376–383]
- SHEN S, ZHOU J C, ZHAO S M, *et al.* The nutritional composition and evaluation of muscle of *Polyodon spathula*. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2009, 31(3): 295–297 [沈硕, 周继成, 赵思明, 等. 匙吻鲟的营养成分及肌肉营养评价. *营养学报*, 2009, 31(3): 295–297]
- SUN D J, QU Q Z, ZHANG Y, *et al.* Sturgeon aquaculture in China. *Chinese Journal of Fisheries*, 2011, 24(4): 67–70 [孙大江, 曲秋芝, 张颖, 等. 中国的鲟鱼养殖. *水产学杂志*, 2011, 24(4): 67–70]
- WANG D, LI S W, LIU H B, *et al.* Comparative studies on the activities of four immune-related enzymes from four kinds of sturgeons. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2011, 33(6): 1195–1201 [王荻, 李绍戊, 刘红柏, 等. 4种免疫相关酶在鲟鱼组织内的分布及活性比较. *江西农业大学学报*, 2011, 33(6): 1195–1201]
- WANG N M, YANG G Q, PENG T, *et al.* Comparison of offspring survival of three kinds of sturgeons purebreds and crossbreds. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2010a, 28(4): 507–511 [王念民, 杨贵强, 彭涛, 等. 3种鲟鱼纯种及杂交种后代育苗比较. *四川农业大学学报*, 2010a, 28(4): 507–511]
- WANG N M, YANG G Q, PENG T, *et al.* Analysis on muscle nutritive components of three kinds of sturgeons and their hybrids. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2010b, 32(S): 53–56 [王念民, 杨贵强, 彭涛, 等. 三种鲟鱼及其杂交种肌肉营养成分分析. *吉林农业大学学报*, 2010b, 32(S): 53–56]
- WANG Y M, SHI J R, XIE B W, *et al.* Nutritional composition of muscle in cultured *Sinibotia reevesae* population at different ages. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, 42(3): 542–549 [王永明, 史晋绒, 谢碧文, 等. 不同年龄段养殖宽体沙鳅肌肉营养成分分析与评价. *水生生物学报*, 2018, 42(3): 542–549]
- XU X H, LIU X, YAN B L, *et al.* Nutritional component analysis and quality evaluation of *Penaeus japonicus*. *Food Science*, 2011, 32(13): 297–301 [许星鸿, 刘翔, 阎斌伦, 等. 日本对虾肌肉营养成分分析与品质评价. *食品科学*, 2011, 32(13): 297–301]
- YIN H B, SUN Z W, SUN D J, *et al.* Comparison of nutritive compositions in muscles among six farmed sturgeon species. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2004, 19(2): 92–96 [尹洪滨, 孙中武, 孙大江, 等. 6种养殖鲟鳊鱼肌肉营养成分的比较分析. *大连水产学院学报*, 2004, 19(2): 92–96]
- YANG T Y, PENG R H, ZHAO D Q. Approximate compositions in muscle of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedti* Brandt). *Fisheries Science*, 2005, 24(4): 15–17 [杨太有, 彭仁海, 赵道全. 俄罗斯鲟肌肉营养成份的分析. *水产科学*, 2005, 24(4): 15–17]
- ZHANG C Y, LI L, LI C F, *et al.* *Biochemistry*. Beijing: People's Medical Publishing House, 1988, 305–561 [张昌颖, 李亮, 李昌甫, 等. *生物化学*. 北京: 人民卫生出版社, 1988, 305–561]
- ZHOU J, SONG D J. Advance in lysine nutrition. *Feed Research*, 2006, 27(8): 48–50 [周均, 宋代军. 赖氨酸营养研究进展. *饲料研究*, 2006, 27(8): 48–50]
- ZHOU J, ZHAO Z M, HUANG Z P, *et al.* Comparison of nutrient components in muscles and hepatopancreas of pond- and paddy field-cultured *Procambarus clarkii*. *Progress in Fishery Sciences*, 2021, 42(2): 162–169 [周剑, 赵仲孟, 黄志鹏, 等. 池塘和稻田养殖模式下克氏原螯虾肌肉和肝脏营养成分比较. *渔业科学进展*, 2021, 42(2): 162–169]
- ZHU H, HU H X, WANG W, *et al.* Comparative study on the breeding of Siberian sturgeon and hybrid sturgeon. *China Fisheries*, 2014(8): 73–74 [朱华, 胡红霞, 王巍, 等. 西伯利亚鲟与杂交鲟苗种培育对比试验. *中国水产*, 2014(8): 73–74]

Analysis and Evaluation of Nutritive Composition in Muscles of *Acipenser baerii*, *Acipenser schrenckii*, and Their Hybrids

ZHAO Zhongmeng, ZHANG Lu, ZHAO Han, HUANG Zhipeng,
KE Hongyu, DUAN Yuanliang, LI Qiang, ZHOU Jian^①

(Fisheries Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu, Sichuan 611730, China)

Abstract To evaluate the quality characteristics of *Acipenser baerii*, *Acipenser schrenckii*, and their hybrids, their muscle, amino acid, and fatty acid compositions were compared. The results showed that the contents of crude ash, crude protein, and crude fat in hybrid muscle were higher than in *A. baerii* and *A. schrenckii* muscle, but not significantly ($P>0.05$). Sixteen amino acids, including seven essential amino acids, were detected in the muscle of *A. baerii*, *A. schrenckii*, and their hybrids. The total amount of amino acids, essential amino acids, flavor amino acids, and nonessential amino acids in hybrid muscle were higher than in that of the parents. There was no significant difference between the muscle values (W_{EAA}/W_{TAA} , W_{EAA}/W_{NEAA} , and W_{DAA}/W_{TAA}) for the hybrid sturgeon and those of its parents ($P>0.05$). According to the amino acid and chemistry score, the first limiting amino acid in all muscle samples was methionine plus cysteine, while the second limiting amino acid was valine. In addition, 18, 18, and 22 fatty acids were detected in the muscle of *A. baerii*, *A. schrenckii*, and their hybrids, respectively. The contents of saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, and polyunsaturated fatty acids in hybrid muscle were significantly higher than in that of the parents ($P<0.05$). Palmitic acid (C16:0) was the most abundant saturated fatty acid, oleic acid (C18:1n9c) was the most abundant monounsaturated fatty acid, and linoleic acid (C18:2n6c) was the most abundant polyunsaturated fatty acid in all muscle samples. Additionally, the crude protein, crude fat, amino acid, and fatty acid contents in the muscle of the hybrid were higher than in that of the parents. The hybrid also has higher edible and nutritional value than the parent species, and so has more obvious production advantages.

Key words *Acipenser baerii*; *Acipenser schrenckii*; Hybridization; Nutritional ingredient; Comparative analysis

^① Corresponding author: ZHOU Jian, E-mail: zhoujian980@126.com