

刘芳彬, 王伟, 黄永春, 等. 棘胸蛙肌肉营养成分季节变化分析与评价 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 365–371. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021060281

LIU Fangbin, WANG Wei, HUANG Yongchun, et al. Analysis and Evaluation of Seasonal Changes on Nutrient Composition in Muscle of *Quasipaa spinosa*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(9): 365–371. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021060281

· 营养与保健 ·

棘胸蛙肌肉营养成分季节变化分析与评价

刘芳彬¹, 王 伟¹, 黄永春^{1,*}, 杨汉民²

(1.集美大学水产学院, 福建厦门 361021;

2.龙岩市上茶亭生态养殖有限公司, 福建龙岩 364000)

摘 要:棘胸蛙肌肉营养成分受季节变化影响显著, 分析不同季节棘胸蛙肌肉营养成分的组成, 旨在为后续产品深加工提供理论依据, 在加工过程中可以依据产品需求选择合适季节的棘胸蛙。以春、夏、秋、冬四个季节的棘胸蛙 (*Quasipaa spinosa*) 成蛙为试验对象, 采用索氏提取法、凯氏定氮法和色谱法等分析其肌肉常规营养成分、氨基酸和脂肪酸组成的差异。结果表明: 棘胸蛙肌肉常规营养成分随季节变化较大, 粗蛋白 (24.79 ± 0.32 g/100 g) 和粗脂肪 (1.19 ± 0.17 g/100 g) 含量在冬季最高, 水分和灰分含量在秋季最高; 在不同季节, 肌肉中氨基酸种类均含有 17 种, 必需氨基酸均为赖氨酸含量最高 $8.73 \sim 10.20$ g/100 g, 蛋氨酸+胱氨酸含量最低。氨基酸总量、必需氨基酸总量和鲜味氨基酸总量均为秋季棘胸蛙肌肉中最高; 缬氨酸和蛋氨酸+胱氨酸为限制性氨基酸, 其中第一限制性氨基酸与第二限制性氨基酸在不同季节时存在差异; 脂肪酸种类在秋季时最多, 共有 18 种, 其中秋季中油酸 (C18:1n9c) 含量最高, 其余三季均为亚油酸 (C18:2n6c) 含量最高。棘胸蛙肌肉营养成分受到季节变化的影响显著。

关键词:棘胸蛙, 肌肉, 营养成分, 氨基酸, 脂肪酸, 季节变化

中图分类号: TS254.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)09-0365-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021060281

本文网刊:



Analysis and Evaluation of Seasonal Changes on Nutrient Composition in Muscle of *Quasipaa spinosa*

LIU Fangbin¹, WANG Wei¹, HUANG Yongchun^{1,*}, YANG Hanmin²

(1. Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Shangchating Ecological Breeding Co., Ltd., Longyan 364000, China)

Abstract: The analysis of the nutritional composition of the muscle of *Quasipaa spinosa* in four seasons aimed to provide theoretical basis for the further processing of *Quasipaa spinosa*. In the processing process, *Quasipaa spinosa* in the appropriate season could be selected according to the product requirements. Samples of *Quasipaa spinosa* in four seasons were collected to analyze the differences of muscle basic nutrient composition, amino acids, fatty acids by Soxhlet extraction, Kjeldahl nitrogen determination and chromatography. The results showed that the nutrient composition varied greatly in different seasons. The contents of crude protein (24.79 ± 0.32 g/100 g) and crude fat (1.19 ± 0.17 g/100 g) were the highest in winter, and the contents of water and ash were the highest in autumn. However, 17 kinds of amino acids were all contained in muscles in different seasons, and the contents of lysine ($8.73 \sim 10.20$ g/100 g) was the highest in essential amino acids, and methionine+cysteine was the lowest. The total amino acids (TAA), essential amino acids (EAA) and flavor amino acids (DAA) were the highest in autumn. Valine and methionine+cystine were limiting amino acids, but the first and the second limiting amino acids were different in different seasons. Fatty acids were the most in autumn (18 kinds), and oleic acid (C18:1n9c) content was the highest, while linoleic acid (C18:2n6c) content was the highest in the other three seasons. The muscle nutrient composition of *Quasipaa spinosa* was significantly affected by seasonal changes.

收稿日期: 2021-07-02

基金项目: 山美水库生态环境保护试点项目-生态系统调控与修复工程。

作者简介: 刘芳彬 (1995-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 棘胸蛙生态养殖, E-mail: 781230169@qq.com。

* 通信作者: 黄永春 (1966-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 水产健康养殖和对虾抗 WSSV 育种选育, E-mail: ychuang@jmu.edu.cn。

Key words: *Quasipaa spinosa*; muscle; nutrient composition; amino acids; fatty acids; seasonal changes

棘胸蛙 (*Quasipaa spinosa*) 属脊索动物门 (Chordata)、两栖纲 (Amphibia)、无尾目 (Anura)、蛙科 (Ranidae)、棘蛙属 (*Rana*), 俗称石冻和石蛙等, 是中国南方特有的大型经济蛙类^[1]。棘胸蛙具有较高的食用价值和经济价值, 作为特种养殖的品种之一, 自 20 世纪 80 年代起, 福建、江西等地就开始尝试人工驯养^[2]。当前棘胸蛙的总体养殖规模较小, 主要以个体养殖户为主。产品结构单一, 主要以销售成品蛙为主, 缺乏对于棘胸蛙产品的开发和深加工的深入研究, 其经济价值还有待进一步的挖掘。

当前研究主要集中在不同部位、不同的生长阶段对棘胸蛙的营养组成方面的研究。舒妙安^[3-4]研究不同生长阶段棘胸蛙的肌肉营养成分, 其肌肉中的蛋白质含量在 18.55%~19.39%; 毛剑婷等^[5]对棘胸蛙蝌蚪在不同饲料搭配投喂下的变态发育情况进行了研究, 结果表明青饲料配合中华鳖配合饲料进行投喂可以提高其变态率; 谢永广等^[6]研究了不同饲料水平及投喂频率下的棘胸蛙蝌蚪生长情况, 结果表明在饲料含 39% 蛋白, 日投喂 2 次情况下, 其蝌蚪具有较好的生长速度和变态规整性。综上, 棘胸蛙的肉品质受到多种因素的影响, 同时蛙类作为变温动物, 对气候变化会更为敏感^[7], 不同季节的水温和气温等环境因素的变化都可能造成其肌肉营养成分的差异, 但目前关于季节变化对于棘胸蛙肌肉营养成分的影响的研究尚未见报道。因此本文对棘胸蛙不同季节的常规营养成分、氨基酸组成、脂肪酸组成进行分析比较, 旨在为棘胸蛙的相关产品开发与深加工提供数据参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

棘胸蛙 福建龙岩上茶亭生态养殖有限公司; 不同季节投喂饵料均为黄粉虫, 样品分别采集于 2019 年 1 月冬季, 体长 (94.88±6.13) mm, 体重 (104.19±12.96) g; 2020 年 5 月春季, 体长 (99.41±5.93) mm, 体重 (117.45±13.05) g; 2020 年 8 月夏季, 体长 (94.99±4.98) mm, 体重 (108.12±10.99) g 和 2020 年 11 月秋季, 体长 (96.62±3.84) mm, 体重 (111.33±10.81) g, 四个季节均选取同一批次投放的二龄成蛙, 每次采集 12 只, 雌雄比例为 1:1; 异辛烷、盐酸、柠檬酸钠、氢氧化钾、氯化钠 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 乙醚、甲醇 分析纯, 西陇科学股份有限公司。

FD-1A-50 真空冷冻干燥机 北京博医康公司; DHG-9070A 电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏公司; Kjeltac-8400 全自动凯氏定氮仪 丹麦 FOSS 公司; L-8800 氨基酸自动分析仪、GC-2010 气相色谱仪 日本岛津公司; B180 马弗炉 德国纳博热公司; RE-2000A 旋转蒸发仪 上海科升公司; HH-2A 恒温水

浴锅 上海梅香仪器公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 双毁髓法处理后, 从躯干与后肢连接处剪下后肢, 剥离皮肤与骨骼, 取下肌肉, 将肌肉剪成小块混合后分为两份, 一份保存于-20℃冰箱, 用于常规营养成分的测定, 一份经冷冻干燥后用于氨基酸和脂肪酸组成的测定^[8]。

1.2.2 指标测定 水分采用 105℃烘箱干燥恒重法测定^[9], 粗脂肪采用索氏提取法测定^[10], 灰分采用马弗炉灼烧法测定^[11], 粗蛋白质采用凯氏定氮法测定^[12]。

氨基酸采用盐酸水解法测定^[13], 将冻干后的样品粉碎后称取放入水解管中, 加入 15 mL 6 mol/L 的盐酸溶液, 然后抽真空密封水解瓶置于 (110±1)℃干燥箱中, 水解 22 h 后, 取 1 mL 减压干燥, 用柠檬酸钠溶液溶解过滤后采样氨基酸自动分析仪测定。

脂肪酸采用气相色谱法测定^[14], 将冻干样品粉碎后经过索氏提取后, 取适量提取物, 加入 4 mL 异辛烷, 混匀后加入 0.5 mL 2% 氢氧化钾甲醇溶液, 振荡混匀, 皂化 2 h, 加入正己烷 (氯化钠饱和), 取上清液待测定。

1.2.3 必需氨基酸组成评价方法 以 FAO/WHO 的氨基酸评分标准模式进行评价, 并按下列公式计算氨基酸评分 (AAS)、化学评分 (CS) 和必需氨基酸指数 (EAAI)。

$$EAAI = \sqrt[n]{\left[\frac{\text{Thr/Thr (egg)} \times \dots \times \text{Lys/Lys (egg)}}{\text{FAO/WHO 评分模式中同种氨基酸含量 (mg/g·N)}} \right]} \times 100$$

式 (1)

$$AAS = \frac{\text{试验样品氨基酸含量 (mg/g·N)}}{\text{FAO/WHO 评分模式中同种氨基酸含量 (mg/g·N)}} \times 100$$

式 (2)

$$CS = \frac{\text{试验样品氨基酸含量 (mg/g·N)}}{\text{全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量 (mg/g·N)}} \times 100$$

式 (3)

式中: EAAI 中 n 表示必需氨基酸个数; AAS 和 CS 中 mg/g·N 表示每克氮中氨基酸的毫克数。

1.3 数据处理

每个样品平行测定 3 次。数据用 Excel 2013 软件整理, 实验结果用 SPSS 26.0 统计软件进行分析处理, 在单因素方差分析 (ANOVA) 基础上采用 LSD 多重比较法进行分析, 结果用平均值±标准误 (Mean±SE) 来表示, 显著水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 不同季节棘胸蛙肌肉常规营养成分分析

棘胸蛙肌肉常规营养成分的季节变化情况如表 1 所示。不同季节水分含量大小依次为秋季、春季、夏季和冬季, 其中秋季和春季肌肉的水分含量显著高于夏季和冬季 ($P<0.05$); 不同季节粗蛋白含量大

小依次为冬季、夏季、春季和秋季, 冬季肌肉的粗蛋白含量显著高于其余三个季节($P<0.05$); 不同季节粗脂肪含量大小依次为冬季、夏季、秋季和春季, 冬季肌肉粗脂肪含量显著高于其它三个季节($P<0.05$); 不同季节灰分大小依次为秋季、夏季、冬季和春季, 秋季肌肉灰分含量显著高于其它三个季节($P<0.05$)。四种常规营养成分中粗蛋白和粗脂肪含量的季节变化较大并且变化规律相似。可能与棘胸蛙在不同季节的摄食强度有关。

表 1 棘胸蛙肌肉常规营养成分变化情况(湿重 g/100 g)
Table 1 Changes of basic nutrient composition in muscle of *Quasipaa spinosa* (wet weight g/100 g)

指标	春季	夏季	秋季	冬季
水分	78.30±0.18 ^a	76.05±0.12 ^b	78.48±0.69 ^a	72.78±0.35 ^c
粗蛋白	19.59±0.16 ^c	20.77±0.11 ^b	19.15±0.61 ^c	24.79±0.32 ^a
粗脂肪	0.37±0.02 ^c	0.71±0.03 ^b	0.41±0.03 ^c	1.19±0.05 ^a
灰分	0.94±0.00 ^d	1.19±0.02 ^b	1.78±0.05 ^a	1.05±0.03 ^c

注: 组间不同字母表示差异显著 $P<0.05$, 表2、表5同。

2.2 不同季节棘胸蛙肌肉氨基酸组成分析

棘胸蛙肌肉的氨基酸组成季节变化情况如表 2 所示, 棘胸蛙的氨基酸组成种类并未受到季节变化的影响。在不同季节棘胸蛙肌肉中均检测出 17 种氨基酸, 其中必需氨基酸为 7 种, 鲜味氨基酸为 4 种。不同季节肌肉氨基酸组成中均是谷氨酸含量最高, 胱氨酸含量最低。不同季节棘胸蛙肌肉中氨基酸总量大小依次为秋季>春季>冬季>夏季; 不同季节肌肉中必需氨基酸含量大小依次为秋季>夏季>春季>冬季; 不同季节肌肉中鲜味氨基酸含量大小依次为秋季>春季>冬季>夏季; 棘胸蛙肌肉中鲜味氨基酸总量与氨基酸总量的变化趋势一致, 氨基酸总量、必需氨基酸和鲜味氨基酸在不同季节中变化幅度不大, 均在秋季棘胸蛙肌肉中含量最高。不同季节棘胸蛙肌肉中必需氨基酸含量与氨基酸总量的比值在 0.41~0.42, 根据 FAO/WHO 提出的必需氨基酸含量与氨基酸总量的比值在 40% 以上^[15], 可以得出棘胸蛙氨基酸组成较为均衡, 其中以秋季肌肉中占比最高, 冬季最低。不同季节鲜味氨基酸含量与氨基酸总量比值在 0.37~0.38, 夏季肌肉中鲜味氨基酸总量低。

表 2 氨基酸含量季节变化情况(干重 g/100 g)
Table 2 Seasonal variation of amino acids contents (dry weight g/100 g)

氨基酸	春季	夏季	秋季	冬季
天门冬氨酸Asp ^{**}	9.83±0.06 ^b	9.83±0.04 ^b	10.24±0.06 ^a	9.55±0.11 ^c
苏氨酸Thr [*]	4.29±0.05 ^c	4.51±0.03 ^b	4.80±0.02 ^a	4.27±0.04 ^c
丝氨酸Ser	4.09±0.02 ^b	4.05±0.02 ^b	4.28±0.03 ^a	4.30±0.04 ^a
谷氨酸Glu ^{**}	15.61±0.11 ^a	14.51±0.12 ^b	15.49±0.15 ^a	15.26±0.17 ^a
甘氨酸Gly ^{**}	3.85±0.01 ^c	3.95±0.01 ^b	4.08±0.04 ^a	4.16±0.03 ^a
丙氨酸Ala ^{**}	5.15±0.02 ^{ab}	5.06±0.02 ^b	5.21±0.04 ^a	4.83±0.01 ^c
胱氨酸Cys	0.88±0.01 ^a	0.87±0.01 ^a	0.93±0.01 ^a	0.91±0.02 ^a
缬氨酸Val [*]	4.73±0.03 ^a	4.41±0.03 ^b	4.70±0.03 ^a	4.71±0.02 ^a
蛋氨酸Met [*]	2.58±0.02 ^a	1.94±0.01 ^c	2.18±0.03 ^b	2.65±0.03 ^a
异亮氨酸Iso [*]	4.74±0.02 ^a	4.44±0.02 ^b	4.67±0.04 ^a	4.61±0.05 ^a
亮氨酸Leu [*]	7.86±0.03 ^c	8.69±0.04 ^a	8.20±0.03 ^b	7.84±0.08 ^c
酪氨酸Tyr	3.35±0.02 ^a	2.94±0.02 ^b	3.30±0.04 ^a	3.24±0.04 ^a
苯丙氨酸Phe [*]	3.97±0.03 ^c	4.66±0.01 ^a	4.08±0.04 ^b	4.13±0.01 ^b
赖氨酸Lys [*]	9.29±0.04 ^b	9.25±0.07 ^b	10.20±0.05 ^a	8.73±0.10 ^c
组氨酸His	2.3±0.03 ^a	2.24±0.02 ^a	2.19±0.03 ^a	2.25±0.04 ^a
精氨酸Arg	5.71±0.04 ^b	5.69±0.04 ^b	6.31±0.03 ^a	5.78±0.04 ^b
脯氨酸Pro	2.3±0.03 ^b	3.07±0.03 ^a	1.21±0.02 ^c	3.04±0.03 ^a
氨基酸总量TAA	90.55±0.11	90.10±0.26	92.05±0.25	90.37±0.60
必需氨基酸总量TEAA	37.47±0.00	37.90±0.11	38.82±0.15	36.95±0.18
鲜味氨基酸总量TDAA	34.45±0.10	33.35±0.15	35.02±0.17	33.81±0.26
TEAA/TAA	0.41	0.42	0.42	0.41
TDAA/TAA	0.38	0.37	0.38	0.37

注: *代表必需氨基酸; **代表鲜味氨基酸。

2.3 必需氨基酸组成评价

不同季节必需氨基酸含量如表 3 所示。不同季节棘胸蛙肌肉中必需氨基酸含量均为赖氨酸含量最高, 蛋氨酸+胱氨酸含量最低。与 FAO/WHO 评分模式标准值相比, 除夏季与秋季的蛋氨酸+胱氨酸含量低于 FAO/WHO 评分模式标准值, 其余种类氨基酸含量均比标准值高。必需氨基酸指数在 92.63%~97.49%, 其中秋季氨基酸指数最高, 冬季最低。不同季节棘胸蛙肌肉中氨基酸评分与化学评分如表 4 所示, 其肌肉的 AAS 评分均在 0.85 以上, CS 化学评分均在 0.65 以上, 表明棘胸蛙肌肉营养价值较高。依据 AAS 评分和 CS 评分作为棘胸蛙的营养评价标准, 棘胸蛙肌肉的第一限制性氨基酸与第二限制性氨基酸在不同季节时存在差异, 春季和冬季第一限制性

表 3 不同季节必需氨基酸含量(mg/g·N)
Table 3 Changes of essential amino acids content in different seasons (mg/g·N)

必需氨基酸	春季	夏季	秋季	冬季	FAO/WHO评分模式	全鸡蛋白
苏氨酸	297	325	337	293	250	292
缬氨酸	327	318	330	323	310	410
异亮氨酸	328	320	328	316	250	331
亮氨酸	544	626	576	538	440	534
赖氨酸	643	667	716	599	340	441
蛋氨酸+胱氨酸	239	203	218	244	220	386
苯丙氨酸+酪氨酸	507	548	518	506	380	565
EAAI(%)	94.34	96.04	97.49	92.63		

表4 不同季节氨基酸 AAS 评分和 CS 评分

Table 4 AAS and CS in different seasons

评价指标	季节	苏氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	缬氨酸	赖氨酸	蛋氨酸+胱氨酸	苯丙氨酸+酪氨酸
氨基酸评分(AAS)	春季	1.19	1.31	1.24	1.06*	1.89	1.09**	1.33
	夏季	1.30	1.28	1.42	1.03**	1.96	0.92*	1.44
	秋季	1.35	1.31	1.31	1.06**	2.11	0.99*	1.36
	冬季	1.17	1.27	1.22	1.04*	1.76	1.11**	1.33
氨基酸化学评分(CS)	春季	1.02	1.12	1.86	0.80	2.20	0.82	1.74
	夏季	1.11	1.10	2.15	0.78	2.28	0.69	1.88
	秋季	1.15	1.12	1.97	0.81	2.45	0.75	1.77
	冬季	1.00	1.08	1.84	0.79	2.05	0.84	1.73

注: *为第一限制性氨基酸; **为第二限制性氨基酸。

氨基酸为缬氨酸, 第二限制性氨基酸为蛋氨酸+胱氨酸; 夏季和秋季第一限制性氨基酸均为蛋氨酸+胱氨酸, 第二限制性氨基酸为缬氨酸。

2.4 不同季节棘胸蛙肌肉脂肪酸组成分析

不同季节棘胸蛙肌肉中脂肪酸组成存在差异, 如表5所示。春季和夏季组成相同, 共9种, 其中饱和脂肪酸2种, 单不饱和脂肪酸2种, 多不饱和脂肪酸5种; 秋季脂肪酸组成最丰富, 共18种, 其中饱和脂肪酸7种, 单不饱和脂肪酸4种, 多不饱和脂肪酸7种; 冬季脂肪酸共15种, 其中饱和脂肪酸5种, 单不饱和脂肪酸3种, 多不饱和脂肪酸7种。秋季棘胸蛙肌肉的脂肪酸组成中 C18:1n9c(油酸, 28.33%)

含量最高, 其他三季中均为 C18:2n6c(亚油酸)含量最高。不同季节棘胸蛙肌肉中饱和脂肪酸含量大小依次为秋季>春季>夏季>冬季; 多不饱和脂肪酸含量大小依次为夏季>春季>冬季>秋季; 单不饱和脂肪酸含量大小依次为秋季>夏季>春季>冬季, 饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸含量均为秋季最高, 冬季最低; 多不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸的比值为 0.42~1.64, 高于世界卫生组织的建议值(0.4~0.5)。棘胸蛙肌肉脂肪酸中 EPA+DHA 的含量在不同季节的变化规律与多不饱和脂肪酸并不相同, 其中夏季含量最高, 在春季和夏季棘胸蛙肌肉中未检测到 C20:5n3c(EPA)。

3 讨论

两栖动物作为变温动物, 其体温与环境温度密切相关, 为应对冬季低温和食物短缺, 两栖动物会进入冬眠状态, 冬眠状态下代谢受到抑制, 并且其机体代谢强度随季节改变而变化。以往研究表明, 冬眠期间两栖动物的基础代谢降低, 主要利用肝脏和肌肉等组织中的脂肪及糖原为其提供能量, 这些器官的质量在冬眠前明显加重, 在冬眠后出现萎缩现象, 在冬季即将结束时, 许多未成熟的两栖类的脂肪几乎被耗尽^[16]。本文结果中棘胸蛙冬季时肌肉粗蛋白和粗脂肪含量最高, 表明棘胸蛙在冬眠前会积蓄能量以应对冬眠期间的能量消耗。棘胸蛙肌肉中粗蛋白含量高于棘腹蛙(*Paa boulengeri*)^[17]; 粗脂肪含量高于泰国虎纹蛙(*Rana tigrina cantor*)^[18], 棘腹蛙^[17] 和中国林蛙(*Rana chensinensis*)^[19]。

棘胸蛙肌肉中氨基酸的组成种类在不同季节均为谷氨酸含量最高, 胱氨酸含量最低, 与牛蛙(*Lithobates catesbeiana*)^[20] 和黑斑蛙(*Pelophylax nigromaculatus*)^[21] 中的氨基酸组成情况相似。棘胸蛙肌肉中氨基酸组成均衡, 接近 FAO/WHO 提出的理想蛋白质标准, 其肌肉中必需氨基酸含量在不同季节均以赖氨酸含量最高, 而赖氨酸是食物中最容易缺乏的氨基酸, 具有促进人体钙吸收等作用^[22], 表明了棘胸蛙可以作为一种优质的蛋白质来源。棘胸蛙肌肉中的第一限制性氨基酸与第二限制性氨基酸在不同季节存在差异, 其限制性氨基酸类型与黑斑蛙的研究结果相同^[23], 但与虎纹蛙不同^[24]。不同季节中棘胸蛙肌肉中的氨基酸总量、必需氨基酸和鲜味氨基酸含量

表5 不同季节棘胸蛙肌肉脂肪酸组成(干重%)

Table 5 Fatty acids composition in muscle of *Quasipaa spinosa* in different seasons (dry weight %)

脂肪酸	春季	夏季	秋季	冬季
C14:0 [*]	—	—	0.43±0.02 ^b	0.77±0.03 ^a
C15:0 [*]	—	—	0.12±0.01	—
C16:0 [*]	21.4±0.74 ^a	19.33±0.33 ^b	18.07±0.40 ^b	17.33±0.46 ^b
C17:0 [*]	—	—	0.3±0.00 ^a	0.31±0.01 ^a
C18:0 [*]	9.27±0.12 ^b	9.2±0.06 ^b	18±0.52 ^a	6.83±0.37 ^c
C20:0 [*]	—	—	0.39±0.01 ^b	0.65±0.02 ^a
C23:0 [*]	—	—	1.8±0.04	—
ΣSFA	30.67±0.80 ^b	28.53±0.43 ^b	39.13±0.94 ^a	25.89±0.71 ^c
C16:1n7c ^{**}	0.61±0.01 ^c	0.85±0.02 ^a	0.60±0.02 ^c	0.7±0.01 ^b
C17:1n7c ^{**}	—	—	8.7±0.09	—
C18:1n9c ^{**}	18.7±0.34 ^c	22.73±0.37 ^b	28.33±0.60 ^a	16.8±0.42 ^d
C20:1n9c ^{**}	—	—	0.48±0.01 ^b	0.63±0.01 ^a
ΣMUFA	19.31±0.41 ^c	23.58±0.48 ^b	38.12±0.84 ^a	18.12±0.50 ^c
C18:2n6c ^{***}	28.93±0.38 ^b	31.93±0.72 ^a	0.21±0.01 ^d	26.2±0.78 ^c
C18:3n3c ^{***}	—	—	0.38±0.01 ^b	0.62±0.01 ^a
C20:2n6c ^{***}	1.8±0.05 ^a	1.53±0.03 ^b	1.76±0.02 ^a	1.55±0.02 ^b
C20:3n6c ^{***}	0.85±0.02 ^c	0.88±0.01 ^c	1.19±0.02 ^b	1.32±0.01 ^a
C20:4n6c ^{***}	11.63±0.27 ^a	8.77±0.29 ^c	10.47±0.21 ^b	8.9±0.31 ^c
C20:5n3c ^{***}	—	—	0.3±0.01 ^a	0.31±0.00 ^a
C22:6n3c ^{***}	3.1±0.05 ^b	3.8±0.05 ^a	2.27±0.07 ^d	2.84±0.07 ^c
ΣPUFA	46.32±0.56 ^a	46.92±0.91 ^a	16.57±0.21 ^c	41.74±1.30 ^b
EPA+DHA	3.10±0.06 ^b	3.80±0.06 ^a	2.56±0.08 ^c	3.15±0.08 ^b
ΣPUFA/ΣSFA	1.51±0.04 ^a	1.64±0.03 ^a	0.42±0.01 ^b	1.61±0.05 ^a

注: ΣSFA为饱和脂肪酸含量总和; ΣPUFA为多不饱和脂肪酸含量总和; ΣMUFA为单不饱和脂肪酸含量总和; *代表饱和脂肪酸; **代表单不饱和脂肪酸; ***代表多不饱和脂肪酸; —表示未检测到。

在秋季最高,冬季棘胸蛙肌肉中必需氨基酸总量最低。除此之外,棘胸蛙肌肉的氨基酸总量与粗蛋白含量的季节变化规律并非一致,造成上述结果差异的原因可能是冬季禁食状态下能量代谢消耗与其他季节不同。在大量进食的情况下,其能量主要用于满足生长及性腺发育,而在冬眠禁食期间,棘胸蛙活动量减弱,并且处于禁食状态,其主要依靠体内的糖原和脂类物质作为能量维持生存,然后才动用蛋白质供能,有研究表明当水生动物遭受饥饿胁迫时,其自身能够将氨基酸转化为葡萄糖来提供能量,具体表现为必需氨基酸总量和氨基酸总量的下降^[25]。低温也会抑制其体内氨基酸的合成。有研究表明高山倭蛙(*Nanorana parkeri*)肝脏和肌肉组织中必需氨基酸的含量在冬眠期显著降低($P<0.05$),其体内参与氨基酸合成的基因在冬眠期显著下调^[26]。

棘胸蛙肌肉中脂肪酸组成在不同季节存在差异($P<0.05$),其中秋季脂肪酸组成最为丰富,造成差异可能是由于不同季节棘胸蛙对于营养需求的不同造成的,另外,环境气温的变化也有可能影响肌肉中脂肪酸的组成。为抵御冬季低温,两栖动物通常会提高其组织中的不饱和脂肪酸含量,或者增加膜磷脂中不饱和脂肪酸的比例,这种机制能导致生物膜在低温环境下保持正常的流动性^[27],并且高水平的饱和脂肪酸可以有效提高冬眠期间的存活时间,从而提高两栖动物的冬季存活率^[28]。已有研究表明,高山倭蛙肝脏和肌肉组织中不同种类的不饱和脂肪酸含量在结冰处理后显著上升^[26]。棘胸蛙的肌肉粗脂肪含量与脂肪酸含量的季节变化规律并不一致,可能原因是其对营养物质的代谢利用在不同季节存在差异,肌肉中的粗脂肪除包含脂肪酸外,还包含有其他物质,饥饿胁迫下大多数动物主要消耗机体储存的糖原和脂类物质来维持其基础代谢,并且由于不同组织器官中脂肪酸比例不同,因此在能量利用上也存在先后差异。例如,饥饿前期的太平洋鲑(*Oncorhynchus* spp.)主要消耗肝脏脂肪作为能量维持生命活动,能耗较低;饥饿中后期主要以消耗肠系膜脂肪和肌肉脂肪作为能量维持生命活动^[29]。冬季肌肉中脂肪酸的总量下降主要是由 SFA 和 MUFA 的含量大幅下降所导致。有研究表明水生动物在饥饿胁迫下主要利用体内不同组织脂肪中的 SFA 和 MUFA 供能,从而节约机体蛋白质与脂肪中的 PUFA 以维持重要的生命活动^[30]。与养殖黑斑蛙相比,黑斑蛙肌肉中脂肪酸组成为单不饱和脂肪酸>多不饱和脂肪酸>饱和脂肪酸^[21],这可能与所摄食的饵料不同相关,本研究中棘胸蛙主要投喂黄粉虫,而养殖黑斑蛙饲养过程主要投喂人工配合饲料。棘胸蛙肌肉富含人体所必需的脂肪酸如亚油酸、亚麻酸,并且高于黑斑蛙^[21]和中国林蛙^[31],其肌肉中的多不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸的比值为 0.42~1.64,高于世界卫生组织的建议值 0.4~0.5^[32],说明棘胸蛙的肌肉脂肪酸品质较高。

4 结论

棘胸蛙作为一种高档水产品,其富含氨基酸和脂肪酸,且营养均衡,是较为优质的蛋白质来源。季节变化对于棘胸蛙肌肉中营养成分的影响显著($P<0.05$)。不同季节下棘胸蛙肌肉中粗脂肪和粗蛋白含量变化较大,均为冬季时含量最高;肌肉中氨基酸组成种类在不同季节相同,其中秋季棘胸蛙肌肉的总氨基酸含量(92.05 ± 0.25)g/100 g、必需氨基酸含量(38.82 ± 0.15)g/100 g 和鲜味氨基酸含量(35.02 ± 0.17)g/100 g 均为最高;肌肉中脂肪酸组成种类在不同季节时不同,其中秋季棘胸蛙肌肉脂肪酸组成最为丰富,含有 18 种,其中饱和脂肪酸 7 种,单不饱和脂肪酸 4 种,多不饱和脂肪酸 7 种。秋季棘胸蛙肌肉中氨基酸和脂肪酸在含量和组成种类等方面均高于其余三个季节,因此,在后续针对棘胸蛙产品综合开发时可以优先考虑以秋季棘胸蛙肌肉为主。

参考文献

- [1] 斯烈钢, 富裕, 李鸿鹏, 等. 四明山脉溪流区水产经济动物棘胸蛙(*Paa spinosa*)成体形态性状对体质量和净体质量影响效应的性别差异[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(3): 679-686. [SIL G, FU Y, LI H P, et al. Sex-related differences reflected in the effect of morphological traits on body weight and net body weight of an economic animal, *Paa spinosa* in streams of siming mountains[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2015, 46(3): 679-686.]
- [2] 梅伟芸, 叶容晖, 宋婷婷, 等. 浙江省棘胸蛙养殖现状及发展对策[J]. 浙江农业科学, 2015, 56(7): 1122-1125. [MEI Y Y, YE R H, SONG T T, et al. Current situation and development countermeasures of *Quasipaa spinosa* in Zhejiang Province[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2015, 56(7): 1122-1125.]
- [3] 舒妙安. 棘胸蛙肌肉营养成分的分析(I)一般营养成分的含量及脂肪酸的组成[J]. 浙江大学学报(理学版), 2000(4): 433-437. [SHU M A. An analysis of the nutritive compositions in muscle of *Rana spinosa* II. contents of normal nutrients and composition of fatty acids[J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2000(4): 433-437.]
- [4] 舒妙安. 棘胸蛙肌肉营养成分的分析 II. 氨基酸及矿物元素的组成[J]. 浙江大学学报(理学版), 2000(5): 553-559. [SHU M A. An analysis of the nutritive compositions in muscle of *Rana spinosa* II. compositions of amino acids and mineral elements[J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2000(5): 553-559.]
- [5] 毛剑婷, 刘泽鹏, 张盼, 等. 不同饲料对棘胸蛙蝌蚪生长发育及变态率的影响[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(9): 1610-1612. [MAO J T, LIU Z P, ZHANG P, et al. Effects of different diets on growth, development and metamorphosis rate of *Quasipaa spinosa* tadpoles[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2017, 58(9): 1610-1612.]
- [6] 谢永广, 张进, 王怀昕, 等. 不同营养水平与投喂频率对棘胸蛙蝌蚪生长的影响[J]. 水产养殖, 2020, 41(12): 27-32. [XIE Y G, ZHANG J, WANG H X, et al. Effects of different feed composition and feeding frequency on growth performance in tadpole of *Quasipaa spinosa*[J]. Journal of Aquaculture, 2020, 41(12): 27-

32.]

[7] MEHER B, ANDRÉ N, MOUNA F, et al. Effects of temperature, density and food quality on larval growth and metamorphosis in the north African green frog *Pelophylax saharicus*[J]. *Journal of Thermal Biology*, 2014, 45: 81–86.

[8] 李潇, 王玲, 张春晓, 等. 啤酒酵母粉替代部分鱼粉对牛蛙生长、抗氧化能力以及肝脏和肠道组织形态学的影响[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(4): 1864–1876. [LI X, WANG L, ZHANG C X, et al. Effects of partially replacing fish meal with brewer's yeast meal on growth, antioxidant capacity, and liver and intestine tissue morphology of bullfrog (*Rana (Lithobates) catesbeiana*)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(4): 1864–1876.]

[9] 中国国家标准化管理委员会, 国家食品药品监督管理局. GB 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [China National Standardization Administration Committee, State Food and Drug Administration. GB 5009.3-2016 National food safety standard. Determination of moisture in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]

[10] 中国国家标准化管理委员会, 国家食品药品监督管理局. GB 5009.6-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [China National Standardization Administration Committee, State Food and Drug Administration. GB 5009.6-2016 National food safety standard. Determination of fats in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]

[11] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.4-2016 食品安全国家标准 食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission. GB 5009.4-2016 National food safety standard. Determination of ash in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]

[12] 中国国家标准化管理委员会. GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [China National Standardization Administration Committee. GB 5009.5-2016 National food safety standard. Determination of protein in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]

[13] 中国国家标准化管理委员会. GB 5009.124-2016 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [China National Standardization Administration Committee. GB 5009.124-2016 National food safety standard. Determination of amino acids in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]

[14] 中国国家标准化管理委员会. GB 5009.168-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [China National Standardization Administration Committee. GB 5009.168-2016 National food safety standard. Determination of fatty acids in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]

[15] PELLET P L, YOUNG V R. Nutritional evaluation of protein foods[M]. Tokyo: The United National University, 1980: 26–29.

[16] PASANEN S, KOSKELA P. Seasonal and age variation in the metabolism of the common frog, *Rana temporaria* L. in Northern Finland[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Comparative Physiology*, 1974, 47(2): 635–654.

[17] 温安祥, 曾静康, 何涛. 棘腹蛙肌肉嫩度及营养成分的初步分析[J]. *四川动物*, 2001(4): 211–212. [WEN A X, ZENG J K, HE T. Analysis on meat tenderness and nutritional composition of

Rana boulengeri[J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2001(4): 211–212.]

[18] 刘丽, 刘楚吾, 林东年, 等. 泰国虎纹蛙与中国虎纹蛙肌肉的营养成分比较[J]. *水利渔业*, 2008(3): 64–66. [LIU L, LIU C W, LIN D N, et al. Comparison of nutritional components in muscle of *Rana tigrina rugulosa* and *R. tigrina cantor*[J]. *Journal of Hydroecology*, 2008(3): 64–66.]

[19] 王彬彬, 张文革, 夏艳洁. 中国林蛙腿肉的营养成分分析与评价[J]. *经济动物学报*, 2012, 16(2): 89–93. [WANG B B, ZHANG W G, XIA Y J. Evaluation of nutritional components in the muscle of *Rana chensinensis*[J]. *Journal of Economic Animal*, 2012, 16(2): 89–93.]

[20] 方卫东, 鲁康乐, 张春晓, 等. 豆粕替代鱼粉对牛蛙生长、体组成、消化酶活力及肝脏生化指标的影响[J]. *水产学报*, 2016, 40(11): 1742–1752. [FANG W D, LU K L, ZHANG C X, et al. Effects of fish meal replacement by soybean meal on growth, body composition, digestive enzyme activities and hepatic biochemical indices of *Rana (Lithobates) catesbeiana*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(11): 1742–1752.]

[21] 何志刚, 伍远安, 徐永福, 等. 野生与养殖黑斑蛙肌肉营养品质的比较分析[J]. *水产科学*, 2019, 38(4): 506–513. [HE Z G, WU Y A, XU Y F, et al. Comparative analysis of muscle nutritional quality of wild and cultured *Rana* black speckled[J]. *Fisheries Science*, 2019, 38(4): 506–513.]

[22] 杨鲜, 祝慧凤, 王涛, 等. 重庆巫山等多地党参氨基酸及营养价值比较与分析[J]. *食品科学*, 2014, 35(15): 251–257. [YANG X, ZHU H F, WANG T, et al. Comparative analysis of amino acid composition and nutritional value of roots of *Codonopsis pilosula* from Wushan and other growing regions in China[J]. *Food Science*, 2014, 35(15): 251–257.]

[23] 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 nutrition composition in the muscle of *Rana nigromaculata*[J]. *China Feed*, 2018(17): 74–77.]

[24] 戴聪杰, 耿宝荣. 虎纹蛙的含肉率及蛙肉和蛙皮氨基酸组成分析[J]. *动物学杂志*, 2003, 38(2): 60–64. [DAI C J, GENG B R. Composition of amino acids in the muscle and skin of *Hoplobatrachus rugulosa*[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2003, 38(2): 60–64.]

[25] 宋昱鹏, 汪金海, 陈智威, 等. 周期性饥饿再投喂对长蛸存活、生长以及肌肉脂肪酸和氨基酸的影响[J]. *水生生物学报*, 2020, 44(2): 372–378. [SONG M P, WANG J H, CHEN Z W, et al. Effects of cyclical starvation-refeeding on survival, growth, and muscle fatty acids, amino acids of *Octopus minor*[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2020, 44(2): 372–378.]

[26] 牛永刚. 高山倭蛙冬眠的生理生化特征及分子机制[D]. 兰州: 兰州大学, 2019. [NIU Y G. Physiological and biochemical characteristics and underlying molecular mechanisms of hibernation in *Nanorana parkeri*[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2019.]

[27] SCAPIN S, BALDINI P, LULY P. Phospholipid and fatty acid composition of frog (*Rana esculenta*) liver—a circannual study[J]. *Lipids*, 1990, 25(8): 443–449.

- [28] FALKENSTEIN F, GEISER F, WATSON K, et al. Dietary fats and body lipid composition in relation to hibernation in free-ranging echidnas[J]. *Journal of Comparative Physiology B*, 2001, 171(3): 189–194.
- [29] 陈斌, 冯健, 吴彬, 等. 饥饿对太平洋鲑 (*Oncorhynchus* spp.) 鱼体脂肪与脂肪酸的影响[J]. *海洋与湖沼*, 2012, 43(6): 1247–1253. [CHEN B, FENG J, WU B, et al. the effects of starvation on fat and fatty acids composition in pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.)[J]. *Oceanologia Et Limnologia Ainica*, 2012, 43(6): 1247–1253.]
- [30] 陈文静, 丁立云, 邓勇辉, 等. 饥饿胁迫对彭泽鲫幼鱼形体指标、肌肉脂肪酸组成和肝脏脂蛋白脂酶基因表达的影响[J]. *动物营养学报*, 2020, 32(6): 2782–2790. [CHEN W J, DING L Y, DENG Y H, et al. Effects of starvation stress on physical indices, muscle fatty acid composition and liver lipoprotein lipase gene expression of juvenile crucian carp (*Carassius auratus* var. Pengze)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(6): 2782–2790.]
- [31] 李妍妍, 郑卫星, 王日昕, 等. 林蛙营养成分的多元分析[J]. *食品科学*, 2007(12): 472–475. [LI Y Y, ZHENG W X, WANG R X, et al. Nutritive material of *Rana chensinensis* by multivariation analysis methods[J]. *Food Science*, 2007(12): 472–475.]
- [32] 罗钦, 黄敏敏, 任丽花, 等. 澳洲金鲈鱼种肌肉中氨基酸与脂肪酸组成的分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(11): 3607–3613. [LUO Q, HUANG M M, REN L H, et al. Analysis on the amino acids and fatty acids compositions in muscle of juvenile Australian golden perch[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2020, 11(11): 3607–3613.]