

刺鲃鱼皮和鱼鳞营养成分的分析与评价

程小飞^{1,2}, 洪波¹, 苏东旭³, 李成^{1,2}, 宋锐^{1,2}, 袁希平¹, 彭治桃³, 伍远安^{1,2}, 李鸿¹

(1. 湖南省水产科学研究所, 湖南长沙 410153) (2. 水产高效健康生产湖南省协同创新中心, 湖南常德 415000)
(3. 湖南省水产原种场, 湖南长沙 410153)

摘要: 为了开发利用刺鲃 (*Spinibarbus caldwelli*) 鱼皮和鱼鳞, 对网箱养殖刺鲃鱼皮和鱼鳞营养成分进行测定。结果表明: 鱼皮和鱼鳞 (鲜样) 中分别含粗蛋白质 (23.80%、40.77%)、粗脂肪 (13.24%、2.70%)、水分 (49.21%、53.53%)、粗灰分 (0.38%、9.05%); 鱼皮和鱼鳞均含有 16 种氨基酸, 其中必需氨基酸 (EAA) 7 种, 非必需氨基酸 (NEAA) 9 种, 其氨基酸总量 (TAA) 分别为 11.91% 和 50.64%。鱼皮中 EAA/TAA 为 20.91%, EAA/NEAA 为 26.43%, 鱼鳞 EAA/TAA 为 16.71%, EAA/NEAA 为 20.06%, 其鲜味氨基酸 (DAA) / TAA 均较高, 分别达 46.23% 和 48.42%。鱼皮和鱼鳞均检测到 11 种主要脂肪酸, 其中饱和脂肪酸总量 (Σ SFA) 分别为 23.20% 和 25.01%, 单不饱和脂肪酸总量 (Σ MUFA) 分别为 53.59% 和 53.95%, 多不饱和脂肪酸总量 (Σ PUFA) 分别为 23.21% 和 21.04%; 鱼皮和鱼鳞 5 种微量元素中, 均是 Zn 含量最高, 分别达 64.62 mg/kg 和 32.96 mg/kg, Se 含量最低 0.03 mg/kg 和 0.27 mg/kg。研究表明, 刺鲃鱼皮和鱼鳞均是味道鲜美且富含胶原蛋白和微量元素的保健食品源, 同时也是一种良好的动物性饲料原料。

关键词: 刺鲃; 鱼皮; 鱼鳞; 氨基酸; 脂肪酸; 矿物元素

文章编号: 1673-9078(2019)05-259-267

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.5.036

Nutritional Analysis and Evaluation on Skin and Scales of

Spinibarbus caldwelli

CHENG Xiao-fei^{1,2}, HONG Bo¹, SU Dong-xu³, LI Cheng^{1,2}, SONG Rui^{1,2}, YUAN Xi-ping¹, PENG Zhi-tao³,
WU Yuan-an^{1,2}, LI Hong¹

(1. Fisheries Institute Science of Hunan Province, Changsha 410153, China) (2. Collaborative Innovation Center for Efficient and Health Production of Fisheries in Hunan Province, Changde 415000, China)
(3. Aquatic Products Seed Stock Station in Hunan Province, Changsha 410153, China)

Abstract: The nutritional components of skin and scales of *Spinibarbus caldwelli* cultured in Zhijiang river reservoir cage in Hunan province were determined. The results showed that the contents of crude protein, crude fat, moisture, and crude ash in fresh skin of *Spinibarbus caldwelli* were 23.80%, 13.24%, 49.21% and 0.38%, respectively, while those in fresh scales were 40.77%, 2.70%, 53.53% and 9.05%, respectively. Both skin and scales contained 16 kinds of amino acids, in which the total amino acids (TAA) accounted for 11.91% and 50.64%, respectively. Although, the ratios of EAA/TAA and EAA/NEAA in skin were only 20.91% and 26.43%, respectively, as well as those in scales were only 16.71% and 20.06%, respectively, but the ratios of delicious amino acids (DAA) /TAA in skin and scales were up to 46.23% and 48.42%, respectively. Both skin and scales contained 11 kinds of fatty acids, in which the saturated fatty acids accounted for 23.20% and 25.01%, respectively, the monounsaturated fatty acids accounted for 53.59% and 53.95%, respectively, and the polyunsaturated fatty acids accounted for 23.21% and 21.04%, respectively. Cu, Zn, Fe, Mn and Se were detected in the skin and scales of *Spinibarbus caldwelli*. In skin, the content of Zn was the highest, and Se was the lowest, which were 64.62 and 0.03 mg/kg, respectively. In scales, Zn was the most abundant and Se the least abundant trace element, and their contents were 32.96 and 0.27 mg/kg, respectively. In conclusion, both skin and scales were rich in minerals and unsaturated fatty acids, with huge potential for development and utilization.

Key words: *Spinibarbus caldwelli*; fish skin; fish scales; amino acid; fatty acid; mineral elements

收稿日期: 2019-01-08

基金项目: 湖南省重点科学基金项目 (2013NK2007); 湖南省科技重大专项 (2017NK1030); 国家大宗淡水鱼产业技术体系长沙综合试验站 (CARS-45-47)

作者简介: 程小飞 (1986-), 男, 助理研究员, 硕士, 研究方向: 水产动物营养与饲料科学

通讯作者: 李鸿 (1982-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 鱼类生态学

鱼皮、鱼鳞等作为水产品的副产物具有很大的潜在利用价值和开发空间。有研究表明,鱼皮重量占鱼体总重的4%~8%左右^[1-3],鱼鳞重量占鱼体总重的1%~5%^[4,5]。由于受传统技术限制及观念方面的影响,我国的鱼皮、鱼鳞等渔副产品作为下脚料被大量丢弃,不仅造成了资源浪费,而且对生活环境产生一定的不利影响。为了合理地利用鱼皮、鱼鳞资源,使其营养价值得到充分的发挥,目前国内外许多学者已经对大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)^[6]、狭鳕(*Theragra chalcogramma*)^[3]、波罗的海鳕鱼(*Gadus morhua*)^[7]、大马哈鱼(*Oncorhynchus keta*)^[8]、鳗鲡(*Anguilla japonica*)^[9]、金樽(*Oncorhynchus mykiss*)^[10]、虹鳟(*Oncorhynchus mikiss*)^[11]、鲤鱼(*Cyprinus carpio*)^[12]、鲫鱼(*Carassius auratus*)^[12]、鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)^[13]、罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[14,15]、施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)^[16]、金线鱼(*Nemipterus virgatus*)^[17]、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)^[18]、脆肉鲩(*Ctenopharyngodon idellus*)^[19]、斑点叉尾鲟(*Ictalurus punctatus*)^[20]、鲶(*Silurus asotus Linnaeus*)^[21]等鱼的鱼皮和鱼鳞方面开展的大量研究工作表明鱼皮和鱼鳞中含有丰富的营养成分,是提取胶原蛋白的一种宝贵资源。

刺鲃(*Spinibarbus caldwelli*)亦称黑脊倒刺鲃^[22],俗称青鳉、鲤钟、青娟、坑坚、粗鳞、光鱼等,隶属鲤形目(*Cypriniformes*)鲤科(*Cyprinidae*)鲃亚科(*Barbinae*)鲃属(*Barbus*),具有个体大、生长快、食性杂、抗病力强和肉质细嫩鲜美等特点,常以小虾、水生昆虫、蓝绿藻、有机碎屑等为食,广泛分布于沅江、珠江、九龙江、闽江、钱塘江、长江等水系,栖息于清水石底的河段,为中下层鱼类^[23,24]。近年来,在刺鲃肌肉^[25,26]和鱼卵^[27]营养成分分析方面已有一些研究,而对刺鲃鱼皮和鱼鳞的营养成分分析却鲜有报道。刺鲃鱼皮和鱼鳞可作为食品加工及提取胶原蛋白等深加工的原料,同时也是一种良好的动物性饲料原料,具有一定的利用价值和开发空间。本实验以网箱养殖刺鲃的鱼皮和鱼鳞为研究对象,通过对其常规营养成分、氨基酸组成、脂肪酸组成、矿物元素的测定分析及评价,以期更全面地了解刺鲃各组织营养价值及其渔副产品综合利用提供基础资料。

1 材料与方 法

1.1 材 料

从湖南省怀化市芷江某水库网箱养殖基地获取刺

鲃5尾,体重(1319.4±67.2)g,体长(47.5±2.5)cm。

1.2 分 析 方 法

1.2.1 样 品 制 备

剥取5尾刺鲃的鳞片、表皮,按样品种类分别混合并粉碎。样品-80℃冷冻保存,用于一般营养成分、氨基酸、脂肪酸、矿物元素组成的测定。

1.2.2 一般营养成分测定

水分含量:(105±2)℃常压烘干法(GB/T 5009.3-2010);蛋白质含量:自动凯氏定氮仪法(GB/T 5009.5-2010),采用仪器为丹麦FOSS全自动凯氏定氮仪Kjeltec 8400;粗脂肪含量:索氏抽提法(GB/T 5009.6-2003),使用仪器为丹麦FOSS索氏抽提器;灰分:550℃马福炉灼烧法(GB/T 5009.4-2010)。

1.2.3 氨 基 酸 测 定

氨基酸测定依据程小飞等^[28],取新鲜样品0.5g,用6mol/L的盐酸于110℃下水解22h过滤定容至50mL,取0.5mL真空干燥制作成样品,使用氨基酸自动分析仪(BECKMAN®, 121 MB, USA)测定样品氨基酸组成及比例。

1.2.4 脂 肪 酸 测 定

(1)脂肪酸测定依据Tian, J J等^[29]组织捣碎机中搅碎后,称取0.3~0.5g样品于10mL离心管中,加入甲醇:氯仿(1:2)5mL,摇床内摇动1h,定量滤纸过滤,加4mL蒸馏水,3000r/min离心5min,去上清,下层用水浴锅负压抽干(40℃)。随后加入1mL色谱纯正己烷将油脂溶解,加1mL 0.4M KOH-甲醇溶液静置30min进行甲酯化,之后加2mL去离子水,待分层后提取上层溶液在气相色谱仪(安捷伦7820a,安捷伦科技,美国)上进行测定。气相色谱条件:30m×0.320mm×0.25μm Agilent 19091J-413 GC Columns,柱箱温度210℃,检测器温度(FID)300℃,进样器温度250℃,载气为高纯N₂,尾吹30mL/min,氢气40mL/min,空气450mL/min。

(2)按面积归一化法计算不同脂肪酸组分含量,以检测到总脂肪酸的百分比的形式呈现。

1.2.5 矿 物 元 素 的 测 定

送样至农业部渔业质量监督检验测试中心(长沙),将样品进行干法消化,利用原子吸收分光光度计测定。

1.3 营 养 品 质 的 评 价 方 法

根据FAO/WHO 1973年建议的氨基酸评分标准模式^[30]和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式按参考文献^[31]中的公式分别计算氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)

和必需氨基酸指数 (EAAI):

$$AAS = \frac{aa}{AA_{(FAO/WHO)}}$$

$$CS = \frac{aa}{AA_{(Egg)}}$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100A}{A_E} \times \frac{100B}{B_E} \times \frac{100C}{C_E} \times \dots \times \frac{100H}{H_E}}$$

式中: aa 为试验样品氨基酸含量 (%); AA_(FAO/WHO) 为 FAO/WHO 评分标准模式中同种氨基酸含量 (%), AA_(Egg) 为全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量 (%); n 为比较的必需氨基酸数; A, B, C, …, H 为鱼肌肉蛋白质的必需氨基酸含量 (% dry); A_E, B_E, C_E, …, H_E 为全鸡蛋蛋白质的必需氨基酸含量 (% dry)。

1.4 数据统计

实验中各组数据描述性数值均用平均数±标准差表示 (mean±SD), 采用 Excel 2003 和 SPSS 18.0 统计软件进行数据分析。

2 结果与讨论

2.1 刺鲃鱼皮和鱼鳞一般营养成分

由表 1 可知, 本实验中刺鲃鱼皮的粗脂肪 (13.24%) 含量显著大于鱼鳞 (2.70%) ($p < 0.05$), 而其粗蛋白质 (CP40.77%)、水分 (49.21%) 及灰分

(0.38%) 含量却显著小于鱼鳞 (CP40.77%; 水分 53.53%; 灰分 9.05%) ($p < 0.05$)。

刺鲃鱼皮和鱼鳞粗蛋白质均高于肌肉 (18.02%~20.60%), 而刺鲃鱼皮粗脂肪含量远高于肌肉, 鱼鳞脂肪含量与肌肉 (1.73%~3.05%) 相当^[25,26]。与其他鱼皮相比, 刺鲃鱼皮的粗蛋白质含量高于斑点叉尾鲷鱼皮 (21.32%)^[20]和鳙鱼鱼皮 (25.60%)^[32]而低于施氏鲟鱼皮 (38.70%)^[16]、大马哈鱼皮 (31.10%)^[8]、罗非鱼皮 (33.14%)^[14]、金鳊鱼皮 (30.41%)^[10]、草鱼鱼皮 (29.80%)^[32]、虹鳊鱼皮 (28.10%)^[11]、鲢鱼鱼皮 (25.90%)^[32]、波罗的海鳕鱼皮 (24%)^[7], 而其粗脂肪含量与斑点叉尾鲷鱼皮 (12.38%)^[20]相当, 低于日本鳗鲡鱼皮 (44.71%~46.72%)^[9], 却远高于虹鳊 (8.80%)^[11]、大马哈鱼 (7.40%)^[8]、施氏鲟 (5.78%)^[16]、金鳊 (4.29%)^[10]、罗非鱼 (1.56%)^[14]等鱼的鱼皮, 可见刺鲃鱼皮不仅含有较高的蛋白质, 还有含有丰富的脂肪, 具有较高的食用价值。

刘庆慧等^[12]研究表明, 鱼鳞具有降低大鼠甘油三酯及总胆固醇的作用。刺鲃鱼鳞粗蛋白质含量高达 40.77% (鲜样), 远高于罗非鱼鳞 (22.08%)、草鱼鳞 (28.67%)、脆肉鲩鱼鳞 (29.23%)、鲮鱼鳞 (29.44%)^[18]。鱼鳞中除蛋白质含量较高, 灰分含量也较高, 说明鱼鳞中矿物质含量丰富, 而高建华等^[18]研究发现钙元素占鱼鳞灰分的 13.8%~15%。可见刺鲃鱼鳞是较好的蛋白质来源原料, 具有较高的营养价值。

表 1 刺鲃鱼皮和鱼鳞的一般营养成分 (鲜样)

Table 1 Nutritional components in skin and scales of *Spinbarbus caldwelli* (wet weight basis, %) (n=5)

项目	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分
鱼皮	49.21±1.82 ^b	23.8±0.09 ^b	13.24±3.64 ^a	0.38±0.01 ^b
鱼鳞	53.53±0.81 ^a	40.77±0.72 ^a	2.70±0.23 ^b	9.05±0.12 ^a

注: 表中数据表示为平均值±标准差, 同列数值不同上标英文字母表示差异显著 ($p < 0.05$); 下同。

2.2 刺鲃鱼皮和鱼鳞氨基酸组成

由表 2 可知, 在刺鲃鱼皮和鱼鳞中均检测出 16 种氨基酸 (色氨酸因酸水解未检出, 半胱氨酸因含量极低未检出), 包括 7 中必需氨基酸 (essential amino acids, EAA) 和 9 种非必需氨基酸 (nonessential amino acids, NEAA), 氨基酸总量分别为 (total amino acids, TAA) 11.91%、50.64%。刺鲃鱼皮 16 种氨基酸中最高的是脯氨酸 (2.32%), 其次为甘氨酸 (2.20%)、谷氨酸 (1.42%)、丙氨酸 (1.09%), 蛋氨酸 (0.11%) 含量最低。刺鲃鱼鳞 16 种氨基酸中最高的是脯氨酸 (11.22%), 其次为甘氨酸 (11.12%)、谷氨酸 (5.87%)、丙氨酸 (4.72%), 酪氨酸 (0.57%) 含量最低。鱼皮和鱼鳞 EEA 含量分别为 2.49%、8.46%, NEAA 含量

分别为 9.42%、42.17%, 鲜味氨基酸 (delicious amino acids, DAA) 含量分别为 5.51%、24.52%, EAA/TAA 分别为 20.91%、16.71%, EAA/NEAA 分别为 26.43%、20.06%, DAA/TAA 分别为 46.26%、48.42%。

刺鲃鱼皮氨基酸组成中, 必需氨基酸占氨基酸总量 (EAA/TAA) 的 20.91%, 必需氨基酸占其非必需氨基酸 (EAA/NEAA) 的 26.43%, 根据 FAO/WHO 的理想模式, 质量较好的蛋白质其氨基酸组成 EAA/TAA 为 40%左右, EAA/NEAA 大于 60%^[30], 这与对虹鳊^[11]、金鳊^[10]、大马哈鱼^[8]、斑点叉尾鲷^[20]、军曹鱼^[33]、罗非鱼^[33]、黄鳍金枪鱼^[33]等鱼的鱼皮研究结果一致, 显然刺鲃鱼皮不是营养意义上的优质蛋白质。但刺鲃鱼皮中作为胶原蛋白特征氨基酸的甘氨酸和脯氨酸^[33]是其 16 种氨基酸中含量最多的两种氨基

酸,这两种氨基酸总和占刺鲃鱼皮氨基酸总量的37.95%,符合胶原蛋白氨基酸组成的特点。刺鲃鱼皮甘氨酸和脯氨酸总和占氨基酸总量(37.95%)高于金鳊(32.75%)^[10]、斑点叉尾鮰(33.10%)^[20]、大马哈鱼(36.49%)^[8]等鱼的鱼皮,而低于虹鳟(42.92%)^[11]鱼皮。精氨酸、天门冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸是鱼类肌肉中的鲜味氨基酸,谷氨酸不仅是最主要的鲜味氨基酸之一,而且还是脑组织生化代谢中的重要氨基酸,参与多种生理活性物质的合成^[34];刺鲃鱼皮鲜味氨基酸含量约占氨基酸总量(DAA/TAA)的46.26%,低于斑点叉尾鮰(65.77%)^[20]、罗非鱼(53.77%)^[14]、大马哈鱼(53.7%)^[8]、虹鳟(55.8%)^[11]、金鳊(50.09%)^[10]等鱼的鱼皮。

表2 刺鲃鱼皮和鱼鳞氨基酸组成(鲜样)

Table 2 Amino acids composition in skin and scales of *Spinibarbus caldwelli* (wet weight basis, %) (n=1)

氨基酸	鱼皮	鱼鳞
Asp	0.80	2.81
Thr *	0.36	1.30
Ser	0.43	1.74
Glu	1.42	5.87
Pro	2.32	11.22
Gly	2.20	11.12
Ala	1.09	4.72
Cys	-	-
Val *	0.38	1.20
Met *	0.11	0.94
Ile *	0.28	0.93
Leu *	0.51	1.48
Tyr	0.16	0.57
Phe *	0.31	1.05
Lys *	0.54	1.56
His	0.12	0.62
Arg	0.88	3.50
TAA	11.91	50.64
TEAA	2.49	8.46
TDAA	5.51	24.52
TNEAA	9.42	42.17
TEAA/TNEAA (%)	26.43	20.06
TEAA/TAA (%)	20.91	16.71
TDAA/TAA (%)	46.26	48.42

注:“*”指人体所需的必需氨基酸;TAA是氨基酸总和;

TEAA是必需氨基酸总和;TDAA是Glu, Gly, Asp和Ala鲜味氨基酸的总和;TNEAA是非必需氨基酸总和;“-”表示未检出。

刺鲃鱼鳞的氨基酸组成中,EAA/TAA为16.71%,EAA/NEAA为20.06%,显然不符合FAO/WHO的理想模式中优质蛋白质的氨基酸组成,因此刺鲃鱼鳞的也不是营养意义上的优质蛋白质,这与对罗非鱼^[18]、鲮鱼^[18]、草鱼^[18]、鲤鱼^[12]、鲫鱼^[12]等鱼的鱼鳞研究结果一致。但刺鲃鱼鳞中甘氨酸和脯氨酸含量丰富,这两种氨基酸作为胶原蛋白特征氨基酸,其总和占鱼鳞氨基酸总量的44.12%,符合胶原蛋白氨基酸组成的特点。刺鲃鱼鳞甘氨酸和脯氨酸总和占氨基酸总量的44.12%,高于罗非鱼鳞(27.74%)^[18]、鲮鱼鳞(26.61%)^[18]、草鱼鳞(26.22%)^[18]、鲤鱼鳞(42.49%)^[12]、鲫鱼鳞(35.57%)^[12]等。刺鲃鱼鳞鲜味氨基酸含量也很丰富,约占氨基酸总量(DAA/TAA)的48.42%,高于罗非鱼鳞(42.28%)^[18]、鲮鱼鳞(38.87%)^[18]、草鱼鳞(39.08%)^[18],而低于鲤鱼鳞(68.74%)^[12]、鲫鱼鳞(62.20%)^[12]等。丙氨酸能促进血液中的酒精代谢,增强肝功能。可见,刺鲃鱼皮和鱼鳞的蛋白质组成主要为胶原蛋白,而且其鲜味氨基酸含量丰富,可通过制备胶原蛋白等产品,提高其营养价值和利用率。

2.3 刺鲃鱼皮和鱼鳞氨基酸营养品质评价

根据FAO/WHO建议的氨基酸评分标准模式和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式,计算出刺鲃鱼皮和鱼鳞的AAS、CS和EAAI,如表3,4所示,鱼皮和鱼鳞7种必需氨基酸的含量均低于标准模式。依据AAS,刺鲃鱼皮和鱼鳞分数最低的分别是蛋氨酸+半胱氨酸(Met+Cys)0.06、亮氨酸(Leu)0.45,其次均是异亮氨酸(Ile),分数分别是0.13、0.50,分数最高的分别是赖氨酸、苏氨酸,其分数分别为0.20、0.93;依据CS,刺鲃鱼皮和鱼鳞分数最低的均是蛋氨酸+半胱氨酸,分别为0.04、0.33,其次分别是苯丙氨酸+酪氨酸(Phe+Tyr)、亮氨酸(Leu),分别为0.10、0.37,分数最高的分别是赖氨酸、苏氨酸,其分数分别为0.15、0.60。可见,依据AAS,刺鲃鱼皮和鱼鳞的第一限制性氨基酸分别为蛋氨酸+半胱氨酸(Met+Cys)、亮氨酸(Leu),第二限制性氨基酸均为异亮氨酸(Ile)。依据CS,刺鲃鱼皮和鱼鳞的第一限制性氨基酸均为蛋氨酸+半胱氨酸(Met+Cys),第二限制性氨基酸均为苯丙氨酸+酪氨酸(Phe+Tyr)、亮氨酸(Leu)。刺鲃鱼皮和鱼鳞的必需氨基酸指数(EAAI)分别为10.19%、41.12%。本研究与蒋左玉等对金鳊^[10]、姜晓东等^[8]对大马哈鱼的研究结果一致,即刺鲃鱼皮和鱼鳞蛋白质也存在氨基酸组成比例不平衡,属于不完全蛋白质,在食用时应注意根据氨基酸的互补性进行搭配。

表3 刺鲃鱼皮和鱼鳞必需氨基酸组成

Table 3 The content and composition of essential amino acids in skin and scales of *Spinbarbus caldwelli* (mg/g, on protein basis)

氨基酸	鱼皮	鱼鳞	FAO scoring pattern	Egg protein
Ile	34.46	125.08	250	331
Leu	62.76	199.05	440	534
Lys	66.45	209.81	340	441
Thr	44.30	174.84	250	292
Val	46.76	161.39	310	411
Met+Cys	13.54	126.43	220	386
Phe+Tyr	57.84	217.88	380	565
Total	326.11	1214.48	2190	2960

表4 刺鲃鱼皮和鱼鳞氨基酸评分、化学评分及必需氨基酸指数

Table 4 Evaluation of essential amino acids composition in skin and scales of *Spinbarbus caldwelli*

评分模型	氨基酸	鱼皮	鱼鳞
氨基酸评分 AAS	Ile	0.13**	0.50**
	Leu	0.14	0.45*
	Lys	0.20	0.62
	Thr	0.18	0.70
	Val	0.15	0.52
	Met+Cys	0.06*	0.57
	Phe+Tyr	0.15	0.57
化学评分 CS	Ile	0.11	0.38
	Leu	0.12	0.37**
	Lys	0.15	0.48
	Thr	0.15	0.60
	Val	0.11	0.39
	Met+Cys	0.04*	0.33*
	Phe+Tyr	0.10**	0.39
必需氨基酸指数 (Essential aminoacid index, EAAI)		10.19	41.12

注：“*”表示第一限制性氨基酸；“**”表示第二限制性氨基酸。

2.4 刺鲃鱼皮和鱼鳞脂肪酸组成

由表5可知，刺鲃鱼皮中主要含有11种脂肪酸：3种饱和脂肪酸(SFA)，占脂肪酸总量的23.20%；3种单不饱和脂肪酸(MUFA)，占脂肪酸总量的53.59%；5种多不饱和脂肪酸(PUFA)，占脂肪酸总量的23.21%。脂肪酸组分中以C16:0、C18:1n-9、C18:2n-6、C20:4n-6、C22:6n-3(DHA)为主，共占脂肪酸总量的85.30%。鱼皮EPA含量占脂肪酸总量的0.37%，DHA占脂肪酸总量的0.85%，EPA+DHA占

脂肪酸总量的1.23%。n-3系列多不饱和脂肪酸占脂肪酸总量的2.24%，n-6系列不饱和脂肪酸占脂肪酸总量的20.97%，n-3/n-6为0.11。

刺鲃鱼鳞中主要含有11种脂肪酸：3种饱和脂肪酸(SFA)，占脂肪酸总量的25.01%；3种单不饱和脂肪酸(MUFA)，占脂肪酸总量的53.95%；5种多不饱和脂肪酸(PUFA)，占脂肪酸总量的21.04%。脂肪酸组分中以C16:0、C18:1n-9、C18:2n-6、C20:4n-6、C22:6n-3(DHA)为主，共占脂肪酸总量的88.28%。鱼鳞EPA含量占脂肪酸总量的1.26%，DHA占脂肪酸总量的1.54%，EPA+DHA占脂肪酸总量的2.80%。n-3系列多不饱和脂肪酸占脂肪酸总量的3.65%，n-6系列不饱和脂肪酸占脂肪酸总量的17.39%，n-3/n-6为0.21。

表5 刺鲃鱼皮和鱼鳞脂肪酸组成(鲜样)(占脂肪酸总量的百分比)

Table 5 Fatty acids composition and content in skin and scales of *Spinbarbus caldwelli* (% in total fatty acids, n=3)

脂肪酸	鱼皮	鱼鳞
C14:0	2.77±0.18 ^a	2.35±0.20 ^b
C16:0	20.18±0.52	21.27±1.03
C18:0	0.25±0.03	1.39±0.41
¹ ∑SFA	23.20±0.73	25.01±1.35
C16:1n-7	9.62±0.38 ^a	4.98±0.21 ^c
C18:1n-9	43.30±3.51 ^b	48.09±1.08 ^a
C20:1n-9	0.66±0.18	0.88±0.14
² ∑MUFA	53.59±3.09	53.95±0.88
C18:2n-6	19.60±2.22 ^a	14.65±1.70 ^b
C18:3n-3	1.01±0.25	0.85±0.19
C20:4n-6	1.37±0.04 ^b	2.73±0.55 ^a
C20:5n-3 (EPA)	0.37±0.03 ^b	1.26±1.77 ^a
C22:6n-3 (DHA)	0.85±0.07	1.54±0.96
EPA+DHA	1.23±0.09 ^b	2.80±0.92 ^a
³ ∑PUFA	23.21±2.48	21.04±0.49
⁴ ∑HUFA	2.60±0.05 ^b	5.54±1.44 ^a
⁵ n-3	2.24±0.31 ^b	3.65±0.76 ^a
⁶ n-6	20.97±2.20 ^a	17.39±1.24 ^b
n-3/n-6	0.11±0.00 ^b	0.21±0.06 ^a

注：¹∑SFA是饱和脂肪酸总和；²∑MUFA是单不饱和脂肪酸总和；³∑PUFA是多不饱和脂肪酸总和；⁴∑HUFA是高不饱和脂肪酸总和；⁵n-3代表n-3系多不饱和脂肪酸，包括18:3n-3、20:5n-3和22:6n-3；⁶n-6代表n-6系多不饱和脂肪酸，包括18:2n和20:4n-6。

刺鲃鱼皮和鱼鳞均含有丰富的不饱和脂肪酸，分别为76.80%、74.99%，均远高于饱和脂肪酸，说明刺

鲑鱼皮和鱼鳞的脂肪酸组成以不饱和脂肪酸为主,明显不同于陆上动物^[13],这与对日本鳗鲡鱼皮^[9]、大马哈鱼皮^[8]、金鳟鱼皮^[10]、鲢鱼鱼鳞^[13]等的研究结果一致。EPA 具有清理血管中垃圾的功能,俗称“血管清道夫”,DHA 具有软化血管、健脑益智、改善视力的功效,俗称“脑黄金”^[35]。刺鲃鱼皮 EPA+DHA 占脂肪酸总量的 1.23%,低于狭鳕(27.64%)^[3]、日本鳗鲡(2.33%~3.42%)^[9]、大马哈鱼(3.2%)^[8]、罗非鱼(7.29%)^[36]、草鱼(6.81%)^[36]及鲢鱼(19.79%)^[36]等鱼的鱼皮,同样的刺鲃鱼鳞 EPA+DHA 占脂肪酸总量的 2.80%,低于鲢鱼(3.68%)^[13]、美国红鱼(18.3%)、大黄鱼(20.4%)、白姑鱼(16.1%)^[37]等鱼的鱼鳞,显然刺鲃鱼皮和鱼鳞不是较好的 DHA 和 EPA 来源,这也与多数淡水鱼的研究结果一致,即一般认为海水鱼的 DHA 和 EPA 含量明显较淡水鱼丰富,这可能与淡水鱼类的必需脂肪酸主要分为亚油酸、亚麻酸及对这两者均需要,而海水鱼类必需脂肪酸为 EPA 和 DHA 及淡水鱼类有转化脂肪酸的能力相关^[28]。然而,刺鲃鱼皮和鱼鳞不饱和脂肪酸组成中 n-3/n-6(分别为 0.11、0.21)却符合 FAO/WHO 推荐的 n-3/n-6 日常膳食比(0.1~0.2)^[30],较高的 n-3/n-6 能有效降低血脂,抑制血小板凝集,降低心血管疾病的发病率^[38]。同时有研究表明,单不饱和脂肪酸(MUFA)能够降低心脏病的生几率,对心脏有保护作用,同时还有降低血糖、节血脂、降低胆固醇、防止记忆减退等作用^[39],而本研究发现刺鲃鱼皮和鱼鳞 Σ MUFA 含量较高,分别为 53.59%和 53.95%,高于狭鳕(36.02%)^[3]、大马哈鱼(6.4%)^[8]、虹鳟(37.41%)^[10]等鱼皮及鲢鱼(37.78%)^[13]、美国红鱼(33.5%)、大黄鱼(31.8%)、白姑鱼(40.7%)^[37]等鱼鳞,而鲃鱼皮和鱼鳞的 Σ MUFA 中油酸(C18:1n-9)分别高达 43.3%和 48.09%,而油酸能有效降低血清总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇含量,且能有效减少机体内的氧化应激产物,降低机体的过度性炎症反应^[39,40]。可见刺鲃鱼皮和鱼鳞可作为有效的膳食来源补充特殊人群所需的油酸 C18:1n-9 等单不饱和脂肪酸。

2.5 刺鲃鱼皮和鱼鳞微量元素组成

由表 6 可知,刺鲃鱼皮和鱼鳞中检测出的钙、镁、铜、锌、铁、锰、硒 7 种矿物元素,其中钙含量最高,分别为 22.23 mg/kg、2164.34 mg/kg;其次是镁,含量分别为 17.10 mg/kg、335.88 mg/kg;微量元素中锌含量最高,分别为 64.62 mg/kg、32.96 mg/kg,其次是铁含量,分别为 9.12 mg/kg、11.94 mg/kg;铜含量分别为 0.24 mg/kg、0.39 mg/kg;锰含量分别为 0.20 mg/kg、2.29 mg/kg,硒含量最少,分别为 0.03 mg/kg、0.27 mg/kg。

微量元素对维持人体正常生理机能与物质代谢起着重要作用,其中 Zn、Cu 能够诱导合成更多金属硫蛋白与进入机体的 Cd、Hg、Pb 等有毒的重金属结合而失去毒性,Zn、Se 有抗衰老作用^[41]。锌在临床上可以治疗组织创伤和促进溃疡愈合^[42]。Fe 在人体中具有造血功能,参与血蛋白、细胞色素及各种酶的合成以及促进人体生长的作用。刺鲃鱼皮富含微量元素,以 Zn 含量最高,其次是 Fe、Cu,这三种微量元素均高于施氏鲟鱼皮中的含量,而其 Mn 和 Se 却低于施氏鲟鱼皮中的含量^[16];刺鲃鱼鳞含丰富的矿质元素,以 Ca 含量最高,可作为高 Ca 食品开发,同时 Zn、Fe、Mn 等微量元素也相对高,刘庆慧等^[12]对鲤鱼鳞、草鱼鳞、鲫鱼鳞的研究表明,草鱼鳞的 Fe 元素含量与刺鲃鱼鳞基本一致,其余微量元素均高于刺鲃鱼鳞,同样罗红宇等^[37]报道的美国红鱼鳞、大黄鱼鳞及白姑鱼鳞的 Zn 和 Fe 含量均高于刺鲃鱼鳞,矿物元素含量的差异可能与实验鱼种类、年龄、生活习性、摄食饲料及生长环境等因素相关^[43]。

3 结论

刺鲃鱼皮和鱼鳞粗蛋白质含量丰富,虽然根据 AAS 和 CS 评分表明,其必需氨基酸含量不平衡,属于不完全蛋白质,但其鱼皮和鱼鳞的 16 种氨基酸中胶原蛋白特征氨基酸(甘氨酸、脯氨酸和丙氨酸)和鲜味氨基酸含量丰富。刺鲃鱼皮和鱼鳞中脂肪酸种类较多,单不饱和脂肪酸含量较高,且其矿物元素含量丰富。综上所述,刺鲃鱼皮和鱼鳞是一种良好的胶原蛋白源,同时也是一种良好的动物性饲料原料,有一定的开发利用价值。

表 6 刺鲃鱼皮和鱼鳞矿物元素的含量(mg/kg,占鲜样重)

Table 6 Mineral element contents in skin and scales of *Spinbarbus caldwelli* (mg/kg, wet weight)

矿物元素	Ca	Mg	Cu*	Zn*	Fe*	Mn*	Se*
鱼皮	22.23	17.10	0.24	64.62	9.12	0.20	0.03
鱼鳞	2164.34	335.88	0.39	32.96	11.94	2.29	0.27

注: *微量元素。

参考文献

- [1] 李越,刘志伟,张国秀,等.鲢鱼皮、鱼鳞胶原的制备及理化特性的研究[J].现代食品科技,2016,32(3):232-238
LI Yue, LIU Zhi-wei, ZHANG Guo-xiu, et al. Preparation and physicochemical properties of collagen from skin or scale of *Hypophthalmichthys molitrix* [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(3): 232-238
- [2] 易继兵.狭鳕鱼皮胶原蛋白特性及其性能改造[D].青岛:中国海洋大学,2011
YI Ji-bing. Study on the characteristics and properties of transformation pollock skin collagen [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011
- [3] 楼乔明,张问,刘连亮,等.狭鳕鱼皮脂肪酸组成分析及其营养评价[J].核农学报,2016,2:332-337
LOU Qiao-ming, ZHANG Wen, LIU Lian-liang, et al. Analysis and nutritional evaluation of fatty acids in fish skin of *Theragra chalcogramma* [J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2016, 2: 332-337
- [4] 位绍红.罗非鱼鱼皮、鱼鳞提取明胶的工艺研究[D].福州:福建农林大学,2008
WEI Shao-hong. Study on the extracting craft of gelatin from tilapia fish skin and fish scale [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2008
- [5] 郭庆,艾春香.鱼鳞资源的开发利用[J].福建畜牧兽医,2006,27(5):32-33
GUO Qing, AI Chun-xiang. The development and utilization of scale resources [J]. Fujian Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2006, 27(5): 32-33
- [6] 肖雄,林淑琴,吴雄飞,等.三种不同养殖模式下大黄鱼鱼皮、鱼鳞挥发性风味成分分析[J].中国水产科学,2017,24(2):341-354
XIAO Xiong, LIN Shu-qin, WU Xiong-fei, et al. Volatile Flavor Compounds on the Skin and scales of *Pseudosciaena crocea* cultured using three different methods [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(2): 341-354
- [7] Ilona K, Krzysztof K, Barbara P, et al. Modification of the properties of gelatin from skins of Baltic Cod (*Gadus morhua*) with transglutaminase [J]. Food Chemistry, 2004, 86(2): 203-209
- [8] 姜晓东,李红艳,王颖,等.大马哈鱼鱼皮的营养成分分析[J].渔业科学进展,2015,36(5):145-150
JIANG Xiao-dong, LI Hong-yan, WANG Ying, et al. The analysis of nutrient components of *Oncorhynchus keta* skin [J]. Progress in Fishery Sciences, 2015, 36(5): 145-150
- [9] 胡园,周朝生,胡利华,等.海、淡水养殖日本鳗鲡肌肉和鱼皮营养分析比较[J].水生生物学报,2015,39(4):730-739
HU Yuan, ZHOU Chao-sheng, HU Li-hua, et al. comparative analysis of the nutritional composition in the muscles and skins of *Anguilla japonica* cultured in the seawater and freshwater [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2015, 39(4): 730-739
- [10] 蒋左玉,李建,姚俊杰,等.山泉水人工养殖金鳟鱼卵及鱼皮营养成分的测定与分析[J].食品科学,2015,1:234-239
JIANG Zuo-yu, LI Jian, YAO Jun-jie, et al. Nutritional components of eggs and skin of *Oncorhynchus mykiss Walbaum* cultured in spring water [J]. Food Science, 2015, 1: 234-239
- [11] 刘丛力,李娟,张双灵,等.虹鳟鱼皮营养成分及其胶提工艺探讨[J].食品研究与开发,2013,34(8):97-99
LIU Cong-li, LI Juan, ZHANG Shuang-ling, et al. Study of nutrition components and collagen-extracted on *Oncorhynchus mikiss* skin [J]. Food Research and Development, 2013, 34(8): 97-99
- [12] 刘庆慧,刘从力.鱼鳞营养成分的分析及对高脂饲料大鼠血脂水平的影[J].中国水产科学,2000,7(4):56-59
LIU Qing-hui, LIU Cong-li. Scale nutrient composition and effect on serum lipids in experimental hypercholesterolemic rats [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2000, 7(4): 56-59
- [13] 赵敏.鲢鱼鳞营养成分分析及营养学评价[J].安徽农业科学,2012,40(28):14002-14004
ZHAO Min. Evaluation of nutritive quality and nutrient components in the scales of *Hypophthalmichthys molitrix* [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(28): 14002-14004
- [14] 叶小燕,曾少葵,余文国,等.罗非鱼皮营养成分分析及鱼皮明胶提取工艺的探讨[J].南方水产,2008,4(5):55-60
YE Xiao-yan, ZENG Shao-kui, YU Wen-guo, et al. study on nutrient components and the extracting condition of the skin gelatin of tilapia [J]. South China Fisheries Science, 2008, 4(5): 55-60
- [15] Jamilan B, Harvinder K. Properties of gelatins from skins of fish black tilapia and red tilapia [J]. Food Chemistry, 2002, 77(1): 81-84
- [16] 户业丽,程波,袁强,等.施氏鲟鱼皮营养成分的分析及综合评价[J].淡水渔业,2006,36(3):50-52
HU Ye-li, CHENG Bo, YUAN Qiang, et al. Evaluation on nutrition components in the skin of *Acipenser schrenckii* [J]. Freshwater Fisheries, 2006, 36(3): 50-52

- [17] 黄甫,宋文东,覃亮,等.金线鱼鱼鳞营养成分的分析研究[J].食品科技,2006,31(2):132-134
HUANG Fu, SONG Wen-dong, QIN Liang, et al. Study on the nutrients of the reddish fish scale [J]. Food Science and Technology, 2006, 31(2): 132-134
- [18] 高建华,宁正祥.禽畜皮和鱼鳞的基本成分及氨基酸组成分析[J].现代食品科技,2007,23(12):77-79
GAO Jian-hua, NING Zheng-xing. Analysis of basic composition and amino acid composition of livestock skin and fish scale [J]. Modern Food Science and Technology, 2007, 23(12): 77-79
- [19] 刘邦辉,郁二蒙,谢骏,等.脆肉鲩鱼皮和肌肉胶原蛋白的理化特性及其影响因素研究[J].江苏农业科学,2012,40(2):200-204
LIU Bang-hui, YU Er-meng, XIE Jun, et al. Study on collagen physico chemical properties and influencing factors in the skin and muscle of *Ctenopharyngodon idellus* [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40(2): 200-204
- [20] 毛艳贞,李诚,刘耀敏,等.斑点叉尾鮰鱼鱼皮及其制品的营养品质比较[J].中国食物与营养,2012,18(11):66-69
MAO Yan-zhen, LI Cheng, LIU Yao-min, et al. Nutritional quality comparison of channel catfish skin and its products [J]. Food and Nutrition in China, 2012, 18(11): 66-69
- [21] 姜巨峰,韩现芹,傅志茹,等.雌雄鲢鱼肌肉和皮肤主要营养成分的比较分析[J].集美大学学报:自然科学版,2012,17(1):6-12
JIANG Ju-feng, HAN Xian-qin, FU Zhi-ru, et al. Comparative analysis of the main nutritional components in muscle and skin of male and female *Silurus asotus* [J]. The Editorial Board of Jimei University (Natural Science), 2012, 17(1): 6-12
- [22] 朱元鼎,伍汉霖,金鑫波,等.福建鱼类志(上卷) [M].福州:福建科学技术出版社,1984
ZHU Yuan-ding, WU Han-lin, JIN Xin-bo, et al. Fujian Fish Records (Volume A) [M]. Fuzhou: Fujian Science and Technology Publishing House, 1984
- [23] Tang Q Y, Liu H Z, Yang X P, et al. Molecular and morphological data suggest that *Spinibarbus caldwelli* (Nichols) (Teleostei: Cyprinidae) is a valid species [J]. Ichthyological Research, 2005, 52: 77-82
- [24] 李红敬.珠江水系黑脊倒刺鱼巴的食性研究[J].安徽农业科学,2007,24:7482-7483
LI Hong-jing. Study on food habit of *Spinibarbus caldwelli* in pearl river [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2007, 24: 7482-7483
- [25] 吕耀平,黄旭雄,杨燕波,等.瓯江刺鲃肌肉营养成分分析与品质评价[J].华中农业大学学报,2008,1: 86-90
LYU Yao-ping, HUANG Xu-xiong, YANG Yan-bo, et al. Analysis and evaluation on nutritive composition and quality in the muscle of *Spinibarbus caldwelli* (Nichols) [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2008, 1: 86-90
- [26] 邢旭文.中华倒刺鲃和光倒刺鲃肌肉营养品质的比较 [J].大连水产学院学报,2005,20(3):233-237
BING Xu-wen. Comparative nutrition in muscles of *Spinibarbus sinensis* and *S. hollandi* [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2005, 20(3): 233-237
- [27] 李成,程小飞,洪波,等.刺鲃鱼卵营养成分分析及评价[J].动物营养学报,2016,28(7):2204-2212
LI Cheng, CHENG Xiao-fei, HONG Bo, et al. Nutritional analysis and evaluation on eggs of *Spinibarbus caldwelli* [J]. Acta Zoonutrimenta Sinica, 2016, 28(7): 2204-2212
- [28] 程小飞,田晶晶,吉红,等.蚕蛹基础日粮中添加不同脂肪源对框鳞镜鲤生长、体成分及健康状况的影响[J].水生生物学报,2013,4:656-668
CHENG Xiao-fei, TIAN Jing-jing, JI Hong, et al. Effects of different lipid sources in the silkworm pupa-based diet for mirror carp (*Cyprinus Carpio* var. *Specularis*) on growth performance, body composition and health status [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2013, 4: 656-668
- [29] Tian, J J, Ji H, Hiromi Oku, et al. Effects of Dietary arachidonic acid (ara) on lipid metabolism and health status of juvenile grass carp, *Ctenopharyngodon idellus* [J]. Aquaculture, 2014, 430: 57-65
- [30] Pellett P L, Yong V R. Nutritional Evaluation of Protein Foods [M]. Tokyo: The United National University Publishing Company, 1980
- [31] 范文洵,李泽英,赵煦和.蛋白质食物的营养评价[M].北京:人民卫生出版社,1984
FAN Wen-xuan, LI Ze-ying, ZHAO Xu-he. Nutritional Evaluation of Protein Foods [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1984
- [32] 傅燕凤,沈月新,杨承刚,等.淡水鱼鱼皮胶原蛋白的提取[J].上海水产大学学报,2004,13(2):146-150
FU Yan-feng, SHEN Yue-xin, YANG Cheng-gang, et al. Isolation of collagen from freshwater fish skin [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2004, 13(2): 146-150
- [33] 杨树奇,曾少葵,周春霞,等.3种鱼皮的基本成分及氨基酸组成分析[J].广东海洋大学学报,2010,30(1):97-100
YANG Shu-qi, ZENG Shao-kui, ZHOU Chun-xia, et al. Analysis of proximate and amino acid composition of three

- fish skins [J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2010, 30(1): 97-100
- [34] 张昌颖,李亮,李昌甫,等.生物化学(第2版)[M].北京:人民卫生出版社,1988
ZHANG Chang-ying, LI Liang, LI Chang-fu, et al. Biochemistry (2nd Edition) [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1988
- [35] 张越华,曾和平.脂肪酸在生命过程中的作用研究进展[J].中国油脂,2006, 31 (12) :11-16
ZHANG Yue-hua, ZENG He-ping. Study advance in the effect of fatty acids on life process [J]. China Oils and Fats, 2006, 31(12): 11-16
- [36] 张立坚,杨会邦,蔡春.三种淡水鱼皮脂肪酸的含量分析[J].中国保健营养,2010,10:14-16
ZHANG Li-jian, YANG Hui-bang, CAI Chun. Investigation of fatty acids in the skin of three kinds of freshwater fish [J]. China Health Care Nutrition, 2010, 10: 14-16
- [37] 罗红宇.海鱼鱼鳞营养成分的分析[J].食品研究与开发,2003,24(3):63-66
LUO Hong-yu. Nutrient composition analysis of marine fishes scale [J]. Food Research and Development, 2003, 24(3): 63-66
- [38] 梁志强,李传武,欧燎原,等.湘华鲮肌肉营养成分分析与评价[J].营养学报,2009,4:411-413
LIANG Zhi-qiang, LI Chuan-wu, OU Liao-yuan, et al. Analysis and evaluation of the nutrients compositions of the muscle of *Sinilabeo decorus Tungting* (Nichols) [J]. Acta
- Nutrimenta Sinica, 2009, 4: 411-413
- [39] 张伟敏,钟耕,王炜.单不饱和脂肪酸营养及其生理功能研究概况[J].粮食与油脂,2005,3:13-15
ZHANG Wei-min, ZHONG Geng, WANG Wei. Study survey of nutrition and biological function of MUFA [J]. Cereals & Oils, 2005, 3: 13-15
- [40] Cano N J M, Saingra Y, Dupuy A M, et al. Intradialytic parenteral nutrition: comparison of olive oil versus soybean oilbasedlipid emulsions [J]. British Journal of Nutrition, 2006, 95(1): 152-159
- [41] 于朝云,杨慧.微量元素与人体生理功能的关系[J].山东医药,2009,49(9):113-114
YU Chao-yun, YANG Hui. Relationship between trace elements and physiological functions of human body [J]. Shandong Medical Journal, 2009, 49(9): 113-114
- [42] 孔祥瑞.必需微量元素的营养、生理及临床意义[M].合肥:安徽科学技术出版社,1982
KONG Xiang-rui. Essential Trace Elements of Nutrition, Physiology and Clinical Significance [M]. Hefei: Anhui Science and Technology Publishing House, 1982
- [43] 王亚军,林文辉,杨智慧,等.养鳊池塘生态系统中矿物元素及其影响因素.淡水渔业,2011,41(4):3-8
WANG Ya-jun, LIN Wen-hui, YANG Zhi-hui, et al. The Mineral Elements in Japanese Eel (*Anguill japonica*) Pond Ecosystem and the Influence Factors [J]. Freshwater Fisheries, 2011, 41(4): 3-8

(上接第 80 页)

- [23] 程莉,张加玲.尿酸和嘌呤在水和磷酸盐缓冲介质中溶解度的测定[J].中国食物与营养,2014,20(11):67-69
CHENG Li, ZHANG Jia-ling. Determination of the solubility of uric acid and purine in water and phosphate buffer media [J]. Food and Nutrition in China, 2014, 20(11): 67-69
- [24] DU H, YE H, GAO G, et al. Effect of different cooking methods on the quality of chicken soup [J]. Meat Research, 2013, 7: 5

(上接第 108 页)

- [25] Gómez H A, Wang J, Hu G, et al. Discrimination of storage shelf-life for mandarin by electronic nose technique [J]. LWT - Food Science and Technology, 2007, 40(4): 681-689
- [26] Ou B, Huang D, Hampsch-Woodill M, et al. Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: a comparative study [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(11): 3122-3128
- [27] Maurizi A, De Michele A, Ranfa A, et al. Bioactive compounds and antioxidant characterization of three edible wild plants traditionally consumed in the Umbria region (Central Italy): *Bunias erucago* L. (corn rocket), *Lactuca perennis* L. (mountain lettuce) and *Papaver rhoeas* L. (poppy) [J]. Journal of Applied Botany and Food Quality, 2015, 88: 109-114
- [28] Neocleous D, Koukounaras A, Siomos A, et al. Changes in photosynthesis, yield, and quality of baby lettuce under salinity stress [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2013, 16(6): 1335-1343

现代食品科技