

太湖和洪泽湖大银鱼(*Protosalanx hyalocranius*)体内元素的积累特征及产地判别*

杨健¹ 徐勋² 刘洪波¹

(1. 中国水产科学研究院内陆渔业环境与资源重点开放实验室 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心 无锡 214081;
2. 南京农业大学无锡渔业学院 无锡 214081)

提要 应用电感耦合等离子质谱仪分析技术分别研究了江苏太湖和洪泽湖水域大银鱼体内 12 种元素的生物积累特征。结果表明, 两水域大银鱼体内元素含量的总体范围为: 钙(Ca) 9443—22150、钠(Na) 1107—2418、镁(Mg) 876.8—1231、钾(K) 4662—9472、锌(Zn) 74—135.8、锰(Mn) 6.80—21.08、硒(Se) 2.082—6.261、铜(Cu) 0.489—2.704、铁(Fe) 未检出—24.19、钴(Co) 未检出—4.684、砷(As) 0.123—0.587 mg/kg 干重; 镉(Cd)未检出; 必需元素丰富。太湖水域大银鱼中的 Na、K、Cu、As、Se 的含量显著地高于洪泽湖水域大银鱼。而后者体内 Ca、Mg、Zn 的含量显著地高于前者。主成分分析显示出两水域鱼体多元素生物积累的整体“指纹”地理差异非常明显。在此基础上推导出了通过元素“指纹”来区分两地大银鱼个体的判别函数, 正确率达 100%。两水域大银鱼中毒性元素 As 和 Cd 的含量都远低于国家相应的限量标准。

关键词 大银鱼, 元素, 主成分分析, 判别分析, 太湖, 洪泽湖

中图分类号 S917

大银鱼(*Protosalanx hyalocranius*)是属于银鱼科大银鱼属的一种底栖类一年生小型鱼类, 集中分布于太平洋西北沿岸亚洲东部的近海、河口及淡水湖泊中(王忠锁等, 2002)。近十几年来已被广泛移植于淡水渔业水体中, 是我国淡水湖泊最主要的经济鱼类之一, 营养丰富, 经济价值较高, 也是我国重要的出口创汇水产品。迄今, 有关大银鱼生物学的研究结果报道较多, 如朱成德(1985)、王玉芬等(1992)研究了太湖大银鱼的生长特征以及食性, 为太湖大银鱼的合理开发提供了依据; 孙帼璞等(1980)研究了长江口及其临近海域大银鱼繁殖洄游等生态学特征; Liu 等(2000)研究了许家河水库的大银鱼的生长特征。但是, 除了一些零星的报道外, 国内外有关银鱼营养和毒性元素的研究尚很少, 仅石俊艳等(1994)在调查鸭绿江流域鱼类受毒性元素污染时, 评价了大银鱼受镉(Cd)、砷(As)等元素的污染情况, 史可江等(1997)、吴

跃英等(2005)分别在研究山东南四湖、渤海湾的鱼类元素分析时, 涉及到了银鱼(具体种名不明)和尖头银鱼(*Salanx acuticeps*)的元素浓度。另外, 由于大银鱼是太湖的最重要经济鱼类之一, “太湖三白”之首, 如果能利用微量元素积累的环境“指纹”(Yang *et al.*, 2002; Campana, 2005; 山下由美子等, 2006)开发出一种快速鉴别太湖和非太湖水域产银鱼的方法, 无疑将为保护太湖银鱼, 提高其附加值、加强其卫生质量的管理, 为消费者提供优质水产品的保障和服务做出贡献。

本文通过研究太湖和洪泽湖大银鱼体内元素的积累特征, 一方面希望确切了解这两个水域大银鱼营养元素的含量水平和毒性元素的污染程度; 另一方面, 利用大银鱼微量元素的环境“指纹”, 尝试开发鉴别太湖和非太湖水域产银鱼的方法, 并研究其可行性。

* 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目, 6-115043 号。杨健, 研究员, E-mail: jiany@ffrc.cn
收稿日期: 2008-07-27, 收修改稿日期: 2008-09-29

1 材料与方法

1.1 材料

太湖大银鱼样本于 2007 年 5 月在太湖的贡湖水域采集, 洪泽湖大银鱼样本于 2007 年 9 月在洪泽湖老子山水域采集。选择大小相近的 9 条太湖大银鱼样本、10 条洪泽湖大银鱼样本(表 1), 用超纯水清洗 6 遍, 再用烘箱干燥 24 h 至恒重, 先测定其含水率, 然后碾磨成粉末状干样, 放于干燥器中保存待用。

表 1 大银鱼基本数据
Tab.1 The measurement of icefish samples

洪泽湖样本			太湖样本		
样本名	体长(cm)	体重(湿重 g)	样本名	体长(cm)	体重(湿重 g)
HS1	10.8	4.7	TS1	8.0	1.5
HS2	9.9	3.5	TS2	7.8	1.5
HS3	10.4	3.2	TS3	8.7	2.3
HS4	10.2	2.8	TS4	8.5	2.1
HS5	11.0	4.0	TS5	8.5	1.8
HS6	11.0	4.6	TS6	8.3	2.1
HS7	10.5	4.1	TS7	7.8	1.6
HS8	10.3	3.6	TS8	9.2	2.9
HS9	11.0	4.5	TS9	9.5	3.2
HS10	10.3	3.7			
平均值	10.5	3.9	平均值	8.5	2.1
标准差	0.4	0.6	标准差	0.6	0.6

1.2 方法

准确称取 0.1g 干样, 加入 1.5ml 硝酸(MOS 级, 国药集团化学试剂有限公司), 利用 PTFE 消解罐(日本三爱科学公司)进行微波消解, 然后定容到 30ml。安捷伦 7500ce 型电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)用于测定各种元素的浓度, 包括钠(Na)、镁(Mg)、钾(K)、钙(Ca)、锰(Mn)、铁(Fe)、钴(Co)、铜(Cu)、锌(Zn)、砷(As)、硒(Se)和镉(Cd)。使用贻贝国家标样(GBW-08571)进行回收率检测。本文中除特别标注外, 所有的元素浓度数据均以干重的形式表示。

数据处理使用 SPSS14.1 统计分析软件(美国 Statistical Package for the Social Science 公司)处理,

差异性检验采用 U 检验。主成分和判别分析用统计软件 SRISTAT for Excel (日本 Social Survey Research Information 公司)进行。

2 结果

2.1 大银鱼的含水率

对来自太湖和洪泽湖两水域的大银鱼的含水率(表 2)进行 U 检验的结果表明, 两水域大银鱼的含水率差异显著($P < 0.05$)。采样时间的差异可能是引起这种现象的原因之一。王玉芬等(1992)的研究指出, 4—8 月是银鱼快速增重期, 银鱼的体重增加很快, 使得蛋白质含量快速增加, 含水率也随之增加。大银鱼含水率存在的显著差异也显示出使用干燥样本进行元素测定的方法应该能更准确的反映大银鱼体内元素的含量特征。另外, 含水率数据亦可用于大银鱼干重与湿重浓度之间的转换。

2.2 大银鱼体内元素的积累特征

作者测定了大银鱼体内 12 种元素的浓度(表 3)。结果显示 Na、Mg、K、Ca 四种元素在大银鱼体内浓度比较高, 分别为: 太湖大银鱼 Na (2178.6 ± 153.4) mg/kg、Mg (944.2 ± 69.4) mg/kg、K (8769 ± 590.4) mg/kg、Ca (13524.8 ± 3240.8) mg/kg; 洪泽湖大银鱼 Na (1439.1 ± 151.5) mg/kg、Mg (1138 ± 52.8) mg/kg、K (5573 ± 590.9) mg/kg、Ca (19238 ± 1966.6) mg/kg。Zn、Mn 的浓度也比较高: 太湖大银鱼 Zn (92.10 ± 16.57) mg/kg、Mn (9.31 ± 1.89) mg/kg; 洪泽湖大银鱼 Zn (125.64 ± 8.36) mg/kg、Mn (13.94 ± 3.79) mg/kg; 而 Fe、Cu、Se 三者的浓度比较接近, 分别为: 太湖大银鱼 Fe (9.33 ± 8.98) mg/kg、Cu (2.177 ± 0.310) mg/kg、Se (5.401 ± 0.387) mg/kg; 洪泽湖大银鱼 Fe (3.58 ± 1.88) mg/kg、Cu (0.647 ± 0.138) mg/kg、Se (2.273 ± 0.173) mg/kg。As、Co 的浓度也比较低: 太湖大银鱼 As (0.499 ± 0.085) mg/kg、Co (0.527 ± 0.867) mg/kg; 洪泽湖大银鱼 As (0.277 ± 0.06) mg/kg、Co (1.110 ± 1.564) mg/kg, 而 19 个样本的 Cd 值都低于检测限。

太湖大银鱼和洪泽湖大银鱼元素浓度呈相同的

表 2 太湖和洪泽湖大银鱼体内的含水率(%)
Tab.2 The moisture content (%) of the icefish in the Taihu and Hongze Lakes

洪泽湖	HS1	HS2	HS3	HS4	HS5	HS6	HS7	HS8	HS9	HS10	平均值	标准差
	86.8	86.1	86.2	86.5	87.2	86.6	87.7	87.6	88.9	86.1	86.9	0.89
太湖	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	TS6	TS7	TS8	TS9			
	83.6	82.9	80.7	84.4	83.1	75.7	83.5	82.3	90		82.8	3.72

趋势, 都是 $Ca > K > Na > Mg > Zn > Mn > Fe > Se > Cu > Co > As > Cd$ 。本研究中大银鱼体内元素浓度的大体范围, Ca 9443—22150mg/kg, Na 1107—2418 mg/kg, Mg 876.8—1231mg/kg, K 4662—9472mg/kg, Zn 74—135.8mg/kg, Mn 6.80—21.08mg/kg, Fe 0.981—24.19mg/kg, Se 2.082—6.261mg/kg, Cu 0.489—2.704mg/kg, Co 0.342—4.684mg/kg, As 0.123—0.587 mg/kg, Cd 全部样本都低于检测限, 并且 Fe 和 Co 也有部分样本低于检测限。

太湖大银鱼和洪泽湖大银鱼的元素浓度差异较为明显, 除 Mg 、 Ca 、 Mn 、 Co 、 Zn 五种元素洪泽湖大银鱼高于太湖大银鱼外, 其余元素均显示出太湖大银鱼含量较高的趋势。其中 Na 、 Mg 、 K 、 Ca 、 Cu 、 As 、 Se 达到了差异极显著水平($P < 0.01$), Zn 达到了差异显著水平($P < 0.05$)。太湖大银鱼和洪泽湖大银鱼 Na 、 K 、 Ca 、 Se 等元素的浓度差异几乎达到一倍, 甚至更高。这些都表明两地大银鱼体内元素含量存在着显著的地理差异(图 1)。

3 讨论

3.1 大银鱼体内元素积累的特征

微量元素是维持生命及正常新陈代谢必需的物质, Fe 参与造血, 是红血球中血红素的重要成分, 在血红蛋白合成上是一个活性剂参与氧的运输, 不断

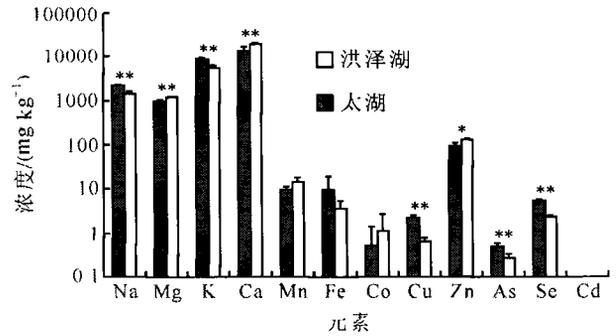


图 1 太湖和洪泽湖大银鱼体内元素浓度的差异性比较
Fig.1 The comparison among concentrations of different elements in the icefishes in the Taihu and Hongze Lakes
** $P < 0.01$, * $P < 0.05$

表 3 太湖(T)和洪泽湖(H)大银鱼体内元素的浓度(mg/kg)

Tab.3 The concentration (mg/kg) of elements in body of the icefish in the Taihu (T) and Hongzehu (H) Lakes

标本号	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	As	Se	Cd
T1	2251	1008	8745	18190	10.48	16.49	0.87	2.70	129.40	0.44	5.11	—
T2	2110	1011	8228	17800	11.58	5.57	0.93	2.50	101.10	0.59	5.45	—
T3	2230	876.8	8956	10250	6.80	0.96	0.34	1.92	74.00	0.48	5.22	—
T4	2139	1053	8590	15220	7.83	3.92	2.61	2.06	88.21	0.46	5.51	—
T5	1971	859.2	8138	11940	9.80	24.19	—	1.97	93.10	0.41	4.90	—
T6	2381	933.9	9896	11420	9.43	9.58	—	2.35	82.61	0.40	6.26	—
T7	2027	922.3	8274	15560	12.22	20.63	—	2.35	98.52	0.51	5.37	—
T8	2080	870.5	8624	9443	7.32	—	—	1.75	80.69	0.63	5.20	—
T9	2418	963.1	9472	11900	8.32	2.67	—	2.01	81.21	0.59	5.59	—
平均值	2179	944	8769	13525	9.31	9.33	0.53	2.18	92.10	0.50	5.40	—
标准差	153.4	69.4	590.4	3240.8	1.89	8.98	0.87	0.31	16.57	0.09	0.39	—
标本号	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	As	Se	Cd
H1	1359	1231	5365	19320	11.31	0.98	—	0.73	123.80	0.21	2.27	—
H2	1466	1067	6192	15150	16.85	—	—	0.49	114.70	0.31	2.10	—
H3	1329	1092	5247	17960	11.50	5.72	—	0.41	115.80	0.15	2.05	—
H4	1427	1173	5857	21890	13.81	3.74	—	0.52	117.30	0.31	2.31	—
H5	1408	1203	5044	22150	11.45	5.58	2.91	0.75	135.80	0.32	2.61	—
H6	1612	1157	6016	19850	10.92	3.90	0.19	0.64	127.90	0.33	2.33	—
H7	1587	1125	5016	19290	18.88	4.86	0.82	0.72	140.00	0.29	2.34	—
H8	1564	1129	6491	18500	21.08	4.04	4.68	0.87	130.30	0.34	2.20	—
H9	1107	1085	4662	19120	9.76	3.96	1.01	0.69	126.70	0.25	2.42	—
H10	1532	1117	5837	19150	13.83	2.98	1.50	0.65	124.10	0.26	2.08	—
平均值	1439	1138	5573	19238	13.94	3.58	1.11	0.65	125.60	0.28	2.27	—
标准差	151.5	52.8	590.9	1966.6	3.79	1.88	1.56	0.14	8.36	0.06	0.17	—

注: “—”表示低于检测限

补充 Cu 和 Fe 对造血、活血化瘀及防治贫血病有重要作用; 钙是骨骼的组成成分; 锌是多种酶的辅基, 又是胰岛素的成分, 是维持生命正常活动的关键因子, 能与体内多种物质协同, 完成多种生理功能; Mg 在保护人体心血管、预防心脏病等方面具有积极作用; K 对机体肾脏的正常功能有重要作用; Na 与高血压的发生有关(颜世铭等, 2002)。这些微量元素是动物机体必需的, 对生物体尤其是对人类都有极其重要的生理和病理意义, 微量元素在体内缺乏或过多都会导致多种疾病。微量元素在动物体内不能合成, 主要依靠从食物中摄取, 故从日常膳食中的摄取非常重要。水产品营养价值非常高, 不仅含有丰富的蛋白质、机体所需的多种氨基酸和纤维素, 而且对矿物质有较强的聚集作用, 含有丰富的矿物质和其他营养元素, 是人类补充必需微量元素的良好途径, 如水产品中 Zn、Ca 的含量十分丰富, 并且易于被人体吸收, 是补充 Zn、Ca 很好的食物来源。另外 Cu 的含量也十分丰富, Se 的含量比其他类食物高出几倍, 甚至十几倍, 也是补充 Cu、Se 等良好的食物来源。迄今, 已有很多关于经济鱼类体内微量元素含量的研究结果, 但其大多都是针对某些组织(特别是可食用部分)元素浓度进行的。即使缺少这些鱼类个体整体的元素浓度数据, 这些可食用部分的结果仍可为本研究提供参考。大银鱼是整体可食用的鱼类。参照前人的研究, 本研究将大银鱼的微量元素浓度与几种海产鱼类的可食用部分的一些重要营养元素浓度进行了比较, 以评价大银鱼这方面的营养价值。

大银鱼与几种海产鱼类的可食用部分的元素的比较见表 4, 大银鱼的 Mg、Ca、Zn 的含量比几种海产鱼类高很多(方富永等, 2006)。Ca 在大银鱼中的含量为 13524.8—19238mg/kg, 而海产鱼类最高的是星点笛鲷肌肉组织, 为 173.39mg/kg。Mg 在大银鱼是

994.2—1137.9mg/kg, 而海产鱼类最高的是星点笛鲷, 为 190.5mg/kg。Zn 在大银鱼是 92.09—125.6mg/kg, 而海产鱼类中最高的是军曹鱼, 为 28.48mg/kg, 这部分原因是大银鱼使用的是整体浓度, 而几种海产鱼类是肌肉组织浓度, 鱼类肌肉组织各种微量元素的含量是比较低的, 而骨骼钙和内脏锌的含量很高, 这就使得大银鱼的数据较几种海产鱼类肌肉组织微量元素浓度高, 经比较可以看出, 与海产鱼类可食用部分相比, 大银鱼可食用部分(大银鱼属于整体食用)的营养元素都比较高, 尤其是 Ca、Mg、Zn 这几种元素的含量相当丰富。大银鱼是这几种营养元素理想的食物来源。然而大银鱼 Fe 的含量却比较低, 为 3.575—9.333 mg/kg, 仅接近于海产鱼类中含量最低的军曹鱼 9.95 mg/kg(方富永等, 2006), 也显著低于吴跃英等(2005)所报道尖头银鱼的 Fe 含量(38.94 mg/kg)。这些均显示出大银鱼 Fe 的含量比较少, 不宜作为补充 Fe 的食物来源。

3.2 大银鱼元素浓度的差异性比较

本研究结果表明, 浓度差异极显著的元素有 Na、Mg、K、Ca、Cu、As、Se ($P < 0.01$), 差异显著的元素有 Zn ($P = 0.02 < 0.05$), 而只有 4 种元素浓度差异尚未达到显著水平。这表明地域的差异对大银鱼元素积累有明显的作用, 可以推测环境水和/或银鱼食物中元素的差异应该是导致鱼体元素积累差异的原因。这些都有待进一步研究加以调查和证明。

前文讨论中已提到大银鱼的元素积累受地域的影响比较大, 且多种元素的差异都比较显著, 但这都是对单一元素的差异进行比较, 无法说明太湖大银鱼和洪泽湖大银鱼元素在整体上的差异情况。为此作者对两水域大银鱼的元素总体差异(即元素积累“指纹”, 因为 Cd 在两水域个体中均未检出, 故不参加主成分和判别分析)进行了主成分分析, 得到了主成

表 4 大银鱼与几种海产鱼类肌肉组织元素浓度的比较(mg/kg)
Tab.4 The comparison in element content in the icefish body (mg/kg)

元素	太湖大银鱼	洪泽湖大银鱼	白鲢肌肉*	军曹鱼肌肉*	星点笛鲷肌肉*	黄笛鲷肌肉*
Na	2178.60	1439.10	468.9	431.84	424.14	396.15
Mg	994.20	1137.90	154.54	177.02	190.50	146.92
K	8769.20	5572.70	870.03	1011.98	1331.46	997.64
Ca	13524.80	19238	61.19	34.29	173.39	170.77
Fe	9.33	3.58	11.72	9.95	11.00	11.02
Cu	2.18	0.65	1.17	1.02	0.90	0.77
Zn	2.09	125.60	20.89	28.48	14.31	19.55

*表示数据来源于方富永等(2006)

分分析图(图 2)。产自两水域大银鱼个体在主成分 1 和主成分 2 上的得分分别组成的多边形区域不仅不交叉, 而且相距较远。这显示出产自两水域大银鱼元素整体的积累“指纹”极具水域地理特征。用其可以有效地区分太湖大银鱼和洪泽湖大银鱼。在此基础上, 本研究进一步进行了实际判别分析的尝试。结果显示, 用得到的判别函数可以准确判断所有 19 个样本的产地, 准确率高达 100%。这说明, 作者的判别函数所得结果是可信的, 判别函数如下: $F = 0.192C_{Na} - 0.051C_{Mg} - 0.050C_K - 0.0084C_{Ca} - 8.28C_{Mn} + 4.39C_{Fe} + 5.17C_{Co} + 287C_{Cu} - 4.49C_{Zn} + 291C_{As} - 28.7C_{Se} + 347$ [F 为判别系数, C 为元素的浓度值(mg/kg)]。判别函数的结果, 太湖大银鱼的 F 得分为 332 ± 28.4 , 洪泽湖大银鱼 F 得分为 -332 ± 20.1 。因此, 从大银鱼整体元素含量差异来判断其产地的技术是可行的。

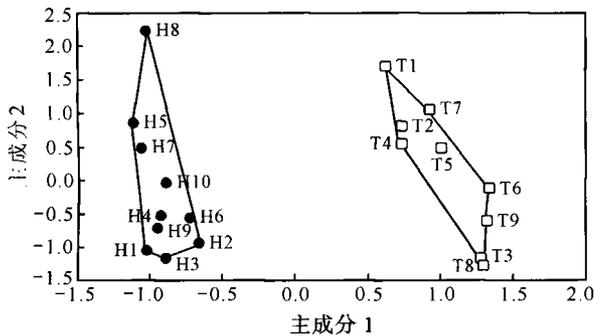


图 2 大银鱼体内元素的主成分分析(H: 洪泽湖; T: 太湖)

Fig.2 Principal Component Analysis on the elements in the icefish (T, the Taihu Lake; H, the Hongze Lake)

由于本研究中目前只涉及到太湖和洪泽湖两水域大银鱼的“元素指纹”判别法, 尚未建立起全国各

地所产大银鱼的元素含量数据库和判别函数。因此, 今后需要进一步开展相关的方法学和应用研究, 一方面在获得全国不同产地大银鱼的元素含量数据库的基础上判定更多水域大银鱼的产地; 更重要的是, 利用完善后的相关技术运用于其它重要经济水产品生物的产地判别。

3.3 大银鱼体内元素含量与国家有关限量标准的比较

由于大银鱼是太湖、洪泽湖, 甚至我国重要的经济鱼类, 鱼体内的 As、Cd、Cu、Se 等元素可能会对食用人群的健康产生影响, 因此对其水产品质量进行评价具有非常重要的意义。

从表 5 可以看出, 与国家无公害食品(水产品类)有毒有害物质限量标准(NY5073-2001)以及国家食品中污染物限量标准(GB2762-2005)相比, 所有样本的 As、Cd、Cu、Se 都远低于国家的限量标准。结果表明, 本实验所研究的大银鱼作为食品是安全的。杨健等(2005)利用背角无齿蚌对五里湖水域环境进行了监测, 发现 As、Cd 的含量均较为明显。本研究中大银鱼未受有毒元素的污染, 其原因可能为: (1) 大银鱼的生命周期比较短, 只有 1 年(王玉芬等, 1992), 自然比生命周期长的贝类对毒性元素的积累作用小得多; (2) 大银鱼是游动性鱼类, 不像贝类营固着生长, 受环境的胁迫比较小, 一旦环境受到污染或胁迫, 其会主动离开, 从而减少了对毒性元素的被动吸收。

4 结论

(1) 太湖大银鱼和洪泽湖大银鱼元素含量分布呈相同的趋势, 都是 $Ca > K > Na > Mg > Zn > Mn >$

表 5 大银鱼一些元素浓度与国家标准的比较(mg/kg 湿重)

Tab.5 The comparison in concentrations of several trace elements in the icefish of the present study with regarding national standards (mg/kg wet weight)

样本	数据类型	As	Cd	Cu	Se
太湖	范围	0.0049—0.0076	—	0.0213—0.0323	0.0611—0.0827
	平均值	0.0060		0.0263	0.0653
	标准差	0.0009		0.0038	0.0065
洪泽湖	范围	0.0017—0.0039	—	0.0048—0.0100	0.0022—0.0262
	平均值	0.0031		0.0074	0.0088
	标准差	0.0006		0.0014	0.0086
GB2762-2005		≤0.1	≤0.1		≤1.0
NY5057-2001		≤0.5	≤0.1	≤50	≤1.0

注: 湿重浓度由表 2 含水率的数据换算而得; “—”表示低于检测限; GB2762-2005 为国家食品中污染物限量标准; NY5057-2001 为国家无公害食品(水产品类)有毒有害物质限量标准

Fe > Se > Cu > Co > As > Cd。两水域大银鱼体内元素含量的总体范围为: Ca 9443—22150, Na 1107—2418, Mg 876.8—1231, K 4662—9472, Zn 74—135.8, Mn 6.80—21.08, Se 2.082—6.261, Cu 0.489—2.704, Fe 未检出一24.19, Co 未检出一4.684, As 0.123—0.587mg/kg干重, Cd 未检出。

(2) 除 Mg、Ca、Mn、Co、Zn 五种元素含量洪泽湖大银鱼高于太湖大银鱼外, 其余元素都是太湖大银鱼含量比较高。太湖大银鱼和洪泽湖大银鱼元素含量差异都比较明显。研究还表明, 可以通过主成分分析和判别分析来研究大银鱼体内元素含量的差异。太湖大银鱼和洪泽湖大银鱼的元素“指纹”产地的判别函数为: $F = 0.192C_{Na} - 0.051C_{Mg} - 0.050C_K - 0.0084C_{Ca} - 8.28C_{Mn} + 4.39C_{Fe} + 5.17C_{Co} + 287C_{Cu} - 4.49C_{Zn} + 291C_{As} - 28.7C_{Se} + 347$ 。判别正确率达100%。

(3) 大银鱼作为我国重要的经济鱼类, 含有丰富的必需元素, 特别是 Ca、Mg、Zn 等的含量比较丰富。但其 Fe 的含量并不丰富, 不太适合用于铁的补充食源。另外, 太湖大银鱼和洪泽湖大银鱼均未受到毒性元素的污染。

致谢 本研究得到了中国水产科学研究院淡水渔业中心郁桐炳副研究员、何全源先生、曲疆奇同学和江苏省太湖渔业管理委员会的大力支持, 谨致谢忱。

参 考 文 献

王忠锁, 傅萃长, 雷光春, 2002. 中国银鱼的多样性及其保护对策. 生物多样性, 10(4): 416—424

- 王玉芬, 蒋全文, 1992. 太湖大银鱼生长特性的研究. 湖泊科学, 4(1): 56—62
- 方富永, 徐美奕, 蔡琼珍, 2006. 海水养殖鱼类肌肉中微量元素的测定. 广东微量元素科学, 13(11): 60—63
- 石俊艳, 于伟君, 刘中等, 1994. 鸭绿江等河流鱼体残毒调查报告. 淡水渔业, 24(3): 8—10
- 史可江, 马龙江, 刘桂立, 1997. 南四湖鱼类微量元素含量调查研究. 肉品卫生, 7: 13—15
- 朱成德, 1985. 太湖大银鱼生长和食性的初步研究. 水产学报, 9(3): 275—287
- 孙帼瑛, 周忠良, 1980. 长江口及其临近海域大银鱼生态的初步研究. 海洋湖沼通报, 4: 76—79
- 杨健, 王慧, 朱宏宇等, 2005. 背角无齿蚌在五里湖中的重金属富集. 长江流域资源与环境, 14(3): 362—366
- 吴跃英, 李明德, 2005. 渤海鱼类及几种畜禽肌肉中的无机元素含量. 现代仪器, 3: 39—40
- 颜世铭, 李增禧, 熊丽萍, 2002. 微量元素医学精要 I——微量元素的生理和体内平衡. 广东微量元素科学, 9(9): 1—49
- 山下由美子, 山下伦明, 2006. 微量多元素分析による魚類の漁獲地域推定. 水産物の原料・産地判別(福田裕, 渡部终五, 中村弘二编). 东京: 恒星社厚生阁, 121—127
- Campana S E, 2005. Otolith Elemental Composition as a Natural Marker of Fish Stocks. In: Cadrin S X, Friedland K D, Waldman J R ed. Stock Identification Methods: Applications in Fishery Science. Burlington: Elsevier Academic Press, 227—245
- Liu Z W, Herzig A, Schiemer F, 2000. Growth of the Icefish *Neosalanx pseudotaihuensis* (Salangidae) in Xujiahe Reservoir, Central China. Environ Biol Fish, 59(2): 219—227
- Yang J, Kunito T, Tanabe S *et al*, 2002. Trace elements in skin of Dall's porpoises (*Phocoenoides dalli*) from the northern waters of Japan: an evaluation for utilization as non-lethal tracers. Mar Pollut Bull, 45(1—12): 230—236

BIOACCUMULATION OF ELEMENTS IN ICEFISH *PROTOSALANX HYALOCRANIUS* FROM THE TAIHU LAKE AND HONGZE LAKE

YANG Jian¹, XU Xun², LIU Hong-Bo¹

(1. Key Laboratory of Ecological Environment and Resources of Inland Fisheries, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi, 214081; 2. College of Fisheries, Nanjing Agriculture University, Wuxi, 214081)

Abstract Icefish *Protosalanx hyalocranius* is an important commercial fish in freshwater lakes of China. Research on bioaccumulation of mineral and trace elements in this fish is however very limited. Bioaccumulation of 12 elements in 19 *P. hyalocranius* individuals from the Taihu and Hongze Lake in Jiangsu Province, China are studied with ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectroscopy). Results show that the concentration ranges of elements in the fish collected from the two lakes are: calcium (Ca), 9443—22150; sodium (Na), 1107—2418; magnesium (Mg), 876.8—1231; potassium (K), 4662—9472; zinc (Zn), 74—135.8; manganese (Mn), 6.80—21.08; selenium (Se), 2.082—6.261; copper (Cu), 0.489—2.704; arsenic (As), 0.123—0.587; iron (Fe), non-detectable (n.d.)—24.19; cobalt (Co), n.d.—4.684mg/kg dry weight; and cadmium (Cd), n.d. Except for Fe, *P. hyalocranius* seems to be rich in essential elements generally, especially Ca, Mg, and Zn. The concentrations of Na, K, Cu, As, and Se in the Taihu Lake fish samples are significantly higher than those in the Hongze Lake, while the Ca, Mg and Zn concentrations are significantly higher in the latter. Principal component analysis reveals clear geographic differentiation in holistic elemental accumulation patterns in samples of the two lakes. A linear discriminate analysis function has been established based on the element concentration patterns to discriminate them between the two lakes and the discrimination rate reached 100%. In addition, As, Cd, Cu and Se residuals are well below the levels of the national standards for foods (NY5073-2001 and GB2762-2005). Therefore, the fish shall be safe for human consumption.

Key words Icefish *Protosalanx hyalocranius*, Element, Principal Component Analysis, Discriminated Analysis, The Taihu Lake, The Hongze Lake