

瓦氏黄颡鱼不同季节鱼体的化学组成及能量密度预测模型

王军辉, 谢小军*

(西南师范大学水产科学研究所, 重庆 400715)

摘要:以三峡库区即将淹没的嘉陵江下游江段瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)的成鱼群体为实验对象, 于 2000 年 12 月至 2001 年 10 月期间, 分冬、春、繁殖期、繁殖后、秋季 5 个时期共采集到标本 114 尾(体重变幅为 47.60~165.30g)。其中冬、春、繁殖后、秋季分别采集雌、雄性标本各 10 尾; 繁殖期的雌性标本为 14 尾, 雄性 20 尾。测定了这 10 个样本的鱼体化学组成, 估算了其能量密度, 并对鱼体的化学组成与能量密度进行了相关分析, 以期三峡工程截流后鱼类种群变动的对比研究提供基础资料。实验结果表明: 各时期样本能量密度均分别与干物质含量和脂肪含量呈显著的直线相关关系, 冬季雌性和秋季雄性样本的能量密度与蛋白质含量之间的负相关关系达到显著性, 繁殖后雌性样本及春季、繁殖期、繁殖后和秋季雄性样本的能量密度与灰分含量也呈显著的负相关关系。通过对 10 个样本各自的能量密度(kJ/g)分别与其干物质含量(D, %B.W.)的直线回归方程的协方差分析(ANCOVA), 可将雄性 5 个样本的回归方程合并为一个公共方程作为预测雄性鱼体能量密度(E_m)的模型: $E_m = -4.33 + 0.408D$, 将雌性冬季、春季、繁殖后及秋季的 4 个回归方程合并为一个公共方程作为预测雌性鱼体非繁殖期的能量密度(E_n)的模型: $E_n = -3.09 + 0.395D$, 而雌性繁殖期的能量密度(E_c)的预测模型为: $E_c = -3.16 + 0.381D$ 。通过讨论发现, 该种鱼的脂肪含量占体重的变幅为 8.72%~14.3% (B.W.), 占其干物质含量的变幅为 30.5%~43.7% (D.W.), 高于文献报道的大多数鱼类的相应的脂肪含量。

关键词:瓦氏黄颡鱼; 能量密度; 化学组成; 预测模型; 脂肪含量; 三峡库区

The chemical compositions and models for predicting energy density in *Pelteobagrus vachelli* at different seasons

WANG Jun-Hui, XIE Xiao-Jun* (Institute of Fisheries Sciences, Southwest China Normal University, Chongqing 400715, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(1): 122~129.

Abstract: From December, 2000 to October, 2001, 114 specimens of adult *Pelteobagrus vachelli*, with body weight of 47.60~165.30g, were collected in 5 periods, winter, spring, spawning, post-spawning and autumn, in lower reach of the Jialing River where the reservoir of the Three Gorges Project will inundate. For each period, the samples were divided according to sex for analysis, i. e. 10 males and 10 females for winter, spring, post-spawning and autumn and 20 males and 14 females for spawning. In the 10 sample groups chemical composition was measured, energy density estimated and the relationship

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30170725)

收稿日期:2002-02-10; **修订日期:**2002-10-27

作者简介:王军辉(1976~), 男, 湖北嘉鱼人, 理学硕士。主要从事鱼类生态学研究。

* 通讯作者: Author for correspondence, E-mail: xjxie@swnu.edu.cn

Foundation item: National Natural Science Foundation of China(No. 30170725)

Received date:2002-02-10; **Accepted date:**2002-10-27

Biography: WANG Jun-Hui, Master. Specialized in fish energetic ecology.

between the energy density and the chemical composition analyzed, in order to present the information about the energetic characteristics of this fish as a baseline for further study on ecological changes in the species after the project has been completed. The results showed that there was a significantly linear relationship in each sample between energy density and either dry mass or lipid content, respectively. Significantly linear relationships were also noted between energy density and protein content in the autumn males and in the winter females, and between energy density and ash content in the spring, spawning, post-spawning and autumn males, and in the post-spawning females. By analysis of covariance (ANCOVA) on the regression equations, a common equation for the male was developed to predict energy density (E_d , kJ/g) with dry mass content (D) as predictor as following: $E_d = -4.33 + 0.408D$, that for the female in non-spawning periods, i.e. winter, spring, post-spawning and autumn, as: $E_R = -3.09 + 0.395D$, and that for the spawning females as: $E_s = 3.16 + 0.381D$. The lipid content of the fish ranged from 8.72 to 14.3% based on the body weight and from 30.5 to 43.7% on the dry mass. This lipid content is higher than that of most reported species.

Key words: *Pelteobagrus vachelli*; energy density; chemical composition; prediction model; lipid content; Three Gorges Reservoir

文章编号:1000-0933(2003)01-0122-08 中图分类号:Q178.1,Q958.1,Q959.4 文献标识码:A

探讨不同环境条件下鱼体的生化组成及能量密度随其生理周期的变化是鱼类能量学的重要研究内容。蛋白质、脂肪和灰分是鱼体主要的生化组成物质,而蛋白质、脂肪和碳水化合物通常是生物体含能量的主要物质载体,但碳水化合物在鱼体中的含量约为0.5%,在鱼类能量学分析中往往忽略不计^[1-2]。鱼体能量密度(又称比能值,即单位重量鱼体所含的能量值),是能量学研究的重要参数,为衡量鱼体身体能量储备水平的重要指标之一^[3-5]。鱼体能量密度的测定技术较复杂,工作量大,是开展能量学实验工作的主要困难之一。已有的研究发现鱼类身体组成成分与能量密度之间存在较为密切的定量关系,因此以某一易测因子(鱼体化学成分)作为自变量,建立能量密度预测模型,可以方便地对鱼体的含能量进行较准确的间接估计^[6-8]。

瓦氏黄颡鱼 *Pelteobagrus vachelli* (Richardson) 属鲶形目鲶科黄颡鱼属,是广泛分布我国长江、珠江等淡水系的一种底栖经济鱼类,也是目前长江三峡库区水域鱼类的优势种。有关该种鱼的生物学研究已有一些资料报道^[9-13],但尚未见到关于其能量生态学的研究资料发表。本研究采集了三峡工程即将淹没的嘉陵江下游江段的瓦氏黄颡鱼雌、雄群体的周年标本,观测了鱼体的主要化学组成及其能量密度,建立了以鱼体干物质含量为自变量估测其能量密度的预测模型,旨在为探讨三峡工程截流(2003年)后鱼类种群能量生态学特征的变化提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 实验鱼的来源 本研究采用嘉陵江下游江段的瓦氏黄颡鱼的成鱼(即达到性成熟的个体)为实验对象,鱼体标本性成熟及性腺分期的鉴别的标准参考段中华和孙建胎所发表的研究的资料^[12]。

于2000年12月至2001年10月期间,分冬、春、繁殖期、繁殖后、秋季5个时期在嘉陵江水土镇江段共采集到标本114尾,即雌、雄各5个样本,共10个样本;于2000年12月份采集到冬季标本20尾,其中雄性10尾(48.95~129.60g),雌性10尾(47.60~119.74g),雌性性腺发育期为Ⅱ期;2001年3月份采集到春季标本20尾,其中雄性10尾(63.40~117.90g),雌性10尾(67.09~106.32g),雌性的性腺发育期为Ⅲ期;采集到5至6月(繁殖期)的雄性标本20尾(69.40~121.60g),雌性14尾(77.10~117.60g),作为鱼体繁殖期的标本,其中雌性性腺均达到Ⅳ期;采集到7月份的雄性标本10尾(72.10~117.80),雌性10尾(50.40~143.00g),作为鱼体繁殖后的标本,其中雌性性腺均为Ⅴ期;采集到10月份秋季标本20尾,其中雄性10尾(76.80~165.30g),雌性10尾(72.00~137.60g),雌性性腺发育期为Ⅰ期。

1.2 生化测定方法 将所取得的鱼体经测定常规生物学指标后在70℃下烘至恒重,获得其干重值,然后

研磨为细末,放入小瓶中,保存于 -20°C 下待测。

采用凯氏定氮法测定样品的粗蛋白质含量(总氮 $\times 6.25$);采用索氏提取法(乙醚为提取液)测定其粗脂肪含量;样品在电炉上炭化 1h 后,再在马福炉中焚烧(550°C)8h,取得其灰分含量。每份样品均重复测定 2 次,若相对偏差大于 2%,则增加重复次数,采用相对偏差在 2% 以下的 2 个测定值的平均数为测定结果。

由于碳水化合物在鱼体中的含量约为 0.5%,在鱼类能量学分析中可以忽略不计^[1,2],因此采用公式:脂肪 $\times 39.5$ + 蛋白质 $\times 23.6$ (kJ/g),推算其能量密度^[14]。

1.3 数据处理方法 采用 Excel (97)和 Statistica(4.5)软件进行数据的整理及统计分析。

2 结果

2.1 瓦氏黄颡鱼鱼体的化学组成与能量密度

测定了 10 个样本共 114 尾鱼的化学组成。在雌性群体中(表 1),冬季、春季、繁殖期、繁殖后和秋季样本的干物质含量的平均值分别为:31.3、27.7、26.5、27.0 和 32.5(%B.W);脂肪含量的平均值分别为:13.5、10.0、10.5、8.73 和 14.3(%B.W);蛋白质含量的平均值分别为:13.4、13.2、11.8、13.8 和 13.7(%B.W);灰分的平均值分别为:3.29、3.39、2.98、3.59、和 3.34(%B.W);能量密度的平均值分别为:8.49、7.09、6.93、6.70 和 8.89(kJ/g)。多重比较检验的结果表明:秋季和冬季样本的干物质含量显著高于春季、繁殖期和繁殖后样本,而春季、繁殖期和繁殖后 3 样本两两之间,以及秋季和冬季样本之间的干物质含量的差异都不显著。脂肪含量在各样本之间的变化趋势与干物质含量相似。繁殖期样本的蛋白质含量和灰分含量均分别显著的低于其它 4 个样本的相对应指标,繁殖后样本的灰分含量显著高于冬季和秋季样本的灰分含量。秋季和冬季样本的能量密度显著高于春季、繁殖期和繁殖后样本的能量密度,而秋季与冬季样本之间及春季、繁殖前和繁殖后 3 样本两两之间的能量密度的差异都不显著。

表 1 瓦氏黄颡鱼鱼体的能量密度(kJ/g)及化学组成(%B.W)

Table 1 Energy density(kJ/g) and chemical composition of (%B.W) body in *Pelteobagrus vachelli*

项目	Item	标本数 Sample size	体重范围(g) Weight range	能量密度 Energy density	干物质 Dry mass	脂肪 Lipid	脂肪 Lipid	蛋白质 Protein	灰分 Ash
雌性	Female								
冬季	Winter	10	47.60~119.74	8.49 $\pm$ 0.41 ^a	31.3 $\pm$ 0.99 ^a	13.5 $\pm$ 1.14 ^a	42.7 $\pm$ 2.0 ^{ab}	13.4 $\pm$ 0.23 ^a	3.29 $\pm$ 0.07 ^b
春季	Spring	10	67.09~106.32	7.09 $\pm$ 0.31 ^b	27.7 $\pm$ 0.85 ^b	10.0 $\pm$ 0.73 ^b	35.9 $\pm$ 1.89 ^{bc}	13.2 $\pm$ 0.43 ^a	3.39 $\pm$ 0.12 ^{ab}
繁殖期	Spawning	14	77.10~117.60	6.93 $\pm$ 0.39 ^b	26.5 $\pm$ 0.99 ^b	10.5 $\pm$ 1.01 ^b	38.5 $\pm$ 2.61 ^{ab}	11.8 $\pm$ 0.24 ^b	2.98 $\pm$ 0.07 ^c
繁殖后	Spent	10	50.40~143.00	6.70 $\pm$ 0.58 ^b	27.0 $\pm$ 1.46 ^b	8.73 $\pm$ 1.46 ^b	30.5 $\pm$ 3.98 ^c	13.8 $\pm$ 0.14 ^a	3.59 $\pm$ 0.13 ^a
秋季	Autumn	10	72.00~137.60	8.89 $\pm$ 0.33 ^a	32.5 $\pm$ 0.82 ^a	14.3 $\pm$ 0.80 ^a	43.7 $\pm$ 1.37 ^a	13.7 $\pm$ 0.19 ^a	3.34 $\pm$ 0.11 ^b
雄性	Male								
冬季	Winter	10	48.95~129.60	7.51 $\pm$ 0.42 ^{ab}	29.2 $\pm$ 1.07 ^{ab}	10.9 $\pm$ 1.13 ^{ab}	36.6 $\pm$ 2.7 ^{ab}	13.5 $\pm$ 0.21 ^{bc}	3.51 $\pm$ 0.13 ^{ab}
春季	Spring	10	63.40~117.90	6.78 $\pm$ 0.51 ^b	26.9 $\pm$ 1.30 ^b	9.40 $\pm$ 1.23 ^b	33.4 $\pm$ 3.7 ^{ab}	13.0 $\pm$ 0.36 ^c	3.56 $\pm$ 0.08 ^{ab}
繁殖期	Spawning	20	69.40~121.60	6.82 $\pm$ 0.48 ^b	27.2 $\pm$ 1.16 ^b	9.16 $\pm$ 1.25 ^b	31.1 $\pm$ 3.15 ^b	13.6 $\pm$ 0.16 ^{bc}	3.48 $\pm$ 0.09 ^{ab}
繁殖后	Spent	10	72.10~117.80	6.74 $\pm$ 0.49 ^b	27.3 $\pm$ 1.02 ^b	8.72 $\pm$ 1.29 ^b	30.7 $\pm$ 3.94 ^b	14.0 $\pm$ 0.24 ^{ab}	3.62 $\pm$ 0.21 ^a
秋季	Autumn	10	76.30~165.30	8.69 $\pm$ 0.42 ^a	32.1 $\pm$ 0.97 ^a	13.5 $\pm$ 1.28 ^a	41.5 $\pm$ 2.13 ^a	14.3 $\pm$ 0.24 ^a	3.22 $\pm$ 0.11 ^b

* 平均值 $\pm$ 标准误 The data were expressed as Mean $\pm$ SE; * * 相同指标中带不同上标的数值表示差异显著($p < 0.05$)
The values with different upper script in the same item indicate there were significant difference between them ($p < 0.05$)

在雄性群体中(表 1),冬季、春季、繁殖期、繁殖后和秋季各样本的干物质含量的平均值分别为:29.2、26.9、27.2、27.3 和 32.1(%B.W),脂肪含量的平均值分别为:10.9、9.40、9.16、8.72 和 13.5(%B.W),蛋白质含量的平均值分别为:13.5、13.0、13.6、14.0 和 14.3(%B.W),灰分含量的平均值分别为:3.51、3.56、3.48、3.62 和 3.22(%B.W),能量密度的平均值分别为:7.51、6.78、6.82、6.74 和 8.69 (kJ/g)。多重比较检验的结果表明:秋季样本的干物质含量最高,显著的高于春季、繁殖期和繁殖后 3 样本的含量,而冬季、春季、繁殖期和繁殖后 4 样本两两之间的干物质含量的差异均不显著。脂肪含量在各样本之间的变化趋势与干物质含量相似。秋季样本的蛋白质含量最高,显著的高于冬季、春季和繁殖期 3 样本的含量,且春季样本的蛋白质含量还显著低于繁殖后样本的含量。繁殖后样本的灰分含量显著高于秋季样本的含量。秋季样本的能量密度显著高于春季、繁殖期和繁殖后 3 样本,而冬季、春季、繁殖期和繁殖后 4 样本两两之间

的能量密度的差异均不显著。

2.2 瓦氏黄颡鱼鱼体能量密度的预测模型

以瓦氏黄颡鱼能量密度(Y)为因变量,分别以干物质含量、脂肪含量、蛋白质含量和灰分含量为自变量(X)进行直线回归运算,即令:

$$Y = a + bX \quad (1)$$

结果表明(表2)各样本能量密度均分别与干物质含量和脂肪含量呈显著的直线相关关系,冬季雌性和秋季雄性样本的能量密度与蛋白质含量之间的负相关关系达到显著性,繁殖后雌性样本及春季、繁殖期、繁殖后和秋季雄性样本的能量密度与灰分含量也呈显著的负相关关系。

表2 瓦氏黄颡鱼鱼体的能量密度($Y, \text{kJ/g}$)分别与其干物质、脂肪、蛋白质、灰分的含量($X, \% \text{B. W}$)的相关关系
Table 2 Relationship between energy density ($Y, \text{kJ/g}$) and contents of dry mass, lipid, protein or ash ($X, \% \text{B. W}$), respectively, in the body of *Pelteobagrus vachelli*

项目 Item	标本数 Sample size	$Y = a + bx$											
		干物质 Dry mass			脂肪 Lipid			蛋白质 Protein			灰分 Ash		
		a	b	r	a	b	r	a	b	r	a	b	r
雌性 ^①													
冬季 ^②	10	-4.48	0.415	0.993**	3.63	0.360	0.996**	25.71	-1.29	0.703**	—	—	—
春季 ^③	10	-2.77	0.356	0.963**	3.02	0.405	0.945**	—	—	—	—	—	—
繁殖期 ^④	14	-3.16	0.381	0.981**	2.98	0.377	0.990**	—	—	—	—	—	—
繁殖后 ^⑤	10	-4.03	0.398	0.997**	3.23	0.398	0.999**	—	—	—	17.7	-3.07	0.701**
秋季 ^⑥	10	-4.02	0.397	0.992**	3.06	0.408	0.991**	—	—	—	—	—	—
雄性 ^⑦													
冬季 ^⑧	10	-3.75	0.386	0.985**	3.47	0.370	0.996**	—	—	—	—	—	—
春季 ^⑨	10	-3.72	0.390	0.995**	2.95	0.407	0.986**	—	—	—	26.5	-5.54	0.819**
繁殖期 ^⑩	20	-4.37	0.411	0.997**	3.31	0.383	0.997**	—	—	—	20.5	-3.94	0.702**
繁殖后 ^⑪	10	-6.34	0.479	0.994**	3.43	0.380	0.994**	—	—	—	14.2	-2.05	0.874**
秋季 ^⑫	10	-5.18	0.432	0.999**	3.94	0.352	0.998**	29.9	-1.49	0.858**	-19.7	-3.44	0.875**

① Female; ② Winter; ③ Spring; ④ Spawning; ⑤ Spent; ⑥ Autumn; ⑦ Winter; ⑧ Male; ⑨ Spring; ⑩ Spawning; ⑪ Spent; ⑫ Autumn * * $p < 0.01$

以干物质为协变量,季节为自变量,能量密度为因变量对10个样本进行协方差分析,发现季节及繁殖状态(性腺期)对能量密度与干物质含量的相关关系有显著影响($F = 4.706, P < 0.05$),即不能认为它们均来自共同的总体样本。把样本分为雌雄两组,分别进行协方差分析,发现季节及繁殖状态对雌性5样本有显著影响($F = 7.445, p < 0.01$),而对雄性5样本无显著影响($F = 2.119, p > 0.05$)。从而在雌性5样本中求得公共的回归系数(0.408)及公共的截距(-4.33),得到的回归方程(2)作为以干物质含量(D)预测瓦氏黄颡鱼雌性鱼体能量密度(E_A)的预测模型:

$$E_A = -4.33 + 0.408D \quad r = 0.993** \quad (2)$$

对雌性5个样本进行协方差分析发现季节对冬、春、繁殖后和秋季样本的能量密度与干物质含量的相关关系无显著影响($F = 0.896, p > 0.05$),而对繁殖期与春季($F = 6.86, p < 0.05$)、繁殖期与繁殖后样本有显著影响($F = 18.9, p < 0.05$),从而由冬季、春季、繁殖后和秋季样本中求出的公共回归系数(0.395)及公共的截距(-3.09)得到的方程(3)作为预测非繁殖期雌性鱼体能量密度(E_B)的预测模型:

$$E_B = -3.09 + 0.395D \quad r = 0.993** \quad (3)$$

以干物质含量(D)预测繁殖期雌性鱼体能量密度(E_C)的预测模型则为该样本二者间的回归方程(表3):

$$E_C = -3.16 + 0.381D \quad r = 0.981** \quad (4)$$

3 讨论

3.1 鱼体能量密度的预测模型

鱼体的能量密度及化学组成的测定技术较繁琐,工作量大。很多研究者发现,在各种条件下,身体各组成之间都有比较恒定的相关关系^[6,15],因此 Weatherley 和 Gill 提出,如果能以鱼体某个易于测定的指标作

为自变量,建立起能量密度及化学组成的相关关系,则可以较方便地对有关指标进行间接估计^[16]。

表 3 不同鱼类的干物质含量(%B. W.)及脂肪含量

Table 3 Dry mass contents (%B. W.) and lipid contents of bodies in different fishes

种类 Species	年龄 Age	体重 Weight	性别 Sex	采样条件 Sample condition	干物质 Dry mass	脂肪(1) Lipid	脂肪(2) Lipid	资料来源 Data source
<i>Mstus maropterus</i>	成鱼 Adult							[27]
	雌性 Female			冬季 Winter	22.91	3.38	14.75	
				春季 Spring	22.01	2.39	10.86	
				夏季 Summer	23.87	5.47	22.92	
	雄性 Male			冬季 Winter	22.5	3.05	13.56	
				春季 Spring	21.15	1.31	6.19	
				夏季 Summer	24.8	5.78	23.31	
<i>Silurus meridionalis</i>	成鱼 Adult							[17]
	雄性 Male				23.68	4.57	19.30	
	雌性 Female				24.54	4.86	19.80	
	幼鱼 Juvenile			不同摄食水平 At different RL*	21.71	2.35	10.82	
				饥饿 At starvation	18.29	0.74	4.05	
<i>Silurus meridionalis</i>	成鱼 Adult							[19]
	雄性 Male			繁殖前 Prespawning	24.85	3.24	13.04	
				繁殖后 Spent	22.5	6.02	26.76	
	雌性 Female			繁殖前 Prespawning	22.5	3.71	16.49	
				繁殖后 Spent	22.5	2.54	11.29	
<i>Siniperca chuatsi</i>	幼鱼 Juvenile			28 C				[26]
				对照组 control	27.17	2.54	9.35	
				0% RL	25.27	2.23	8.82	
				1% RL	25.4	2.19	8.62	
				2% RL	25.85	2.78	10.75	
				4% RL	28.36	3.7	13.05	
				最大 Max	27.57	4.44	16.10	
<i>Channa argus</i>	幼鱼 Juvenile			28 C				[26]
				对照组 Control	25.58	1.49	5.82	
				0% RL	23.57	1	4.24	
				1% RL	24.9	1.01	4.06	
				2% RL	25.74	1.54	5.98	
				4% RL	25.82	1.56	6.04	
				最大 Max RL	26.68	1.95	7.31	
<i>Salmo trutta</i>	成鱼 Adult							[15]
	2+龄 2+years				26.6	5.4	20.30	
	3+龄 3+years				26.4	5.2	19.70	
	4+龄 4+years				25.9	5.2	20.08	
	≥5+龄 ≥4+years				25.5*	4.5	17.65	
<i>Salvelinus alpinus</i>	成鱼 Adult							[28]
	雄性 Male					5.94		
	雌性 Female					6.49		
	幼鱼 Juvenile							
	雄性 Male					9.57		
	雌性 Female					11.31		
<i>Salvelinus fontinalis</i>	成鱼 Adult							[20]
	雄性 Male			繁殖前 Prespawning		2.89		
				繁殖后 Spent		1.22		
	雌性 Female			繁殖前 Prespawning		3.19		
				繁殖后 Spent		1.84		
<i>Scophthalmus maximus</i>	幼鱼 Juvenile							[29]
				8 C	25.48	6.2	24.33	
				11 C	25.46	6.03	23.68	
				14 C	25.81	5.89	22.82	
				17 C	25.67	5.72	22.28	

续表 3

<i>Acipenser transmontanus</i>	幼鱼, 2.4g Juvenile, 2.4g	20 C	24.37	4.7	19.29	[30]
		对照组 Control	25.5	5.59	21.92	
	幼鱼, 11.1g Juvenile, 11.1g	对照组 Control	14.4	2.6	18.06	
		0% RL	11.8	0.9	7.63	
		2% RL	12.2	0.9	7.38	
		4% RL	12.7	1	7.87	
		6% RL	13.2	1.2	9.09	
		8% RL	14	1.3	9.29	
		Max RL	16.2	3	18.52	
	幼鱼, 22.5g Juvenile, 22.5g	对照组 Control	19.8	5.1	25.76	
		0% RL	17.2	2.9	16.86	
		2% RL	18.1	3.2	17.68	
		4% RL	18.6	3.6	19.35	
		6% RL	18.9	3.8	20.11	
		8% RL	18.7	3.7	19.79	
		Max RL	19.5	4.5	23.08	
<i>Boreogadus sarda</i>	幼鱼 Juvenile		21.76	5.39	24.77	[31]
	成鱼 Adult					
	雄性 Male		24.54	8.43	34.35	
	雌性 Female		24.89	8.14	32.70	

* RL 摄食水平(%B.W) Ration level (%B.W); (1) 单位为鲜重百分比 In percentage of wet boy weight; (2) 单位为干重百分比 In percentage of dry boy weight

有关鱼类能量密度及其身体组成相关关系的研究资料表明, 鱼体能量密度与蛋白质含量的相关关系在一些种类显著, 而在另一些种类达不到显著性; 而干物质含量和脂肪含量分别与能量密度均密切相关^[1,12,18]。本研究的结果也表明(表2): 瓦氏黄颡鱼的干物质含量和脂肪含量分别与能量密度存在显著的正相关关系。在能量密度及各个化学组成成分中, 干物质含量的测定技术简单, 工作量相对较小, 是比较理想的对其它指标进行间接估计的自变量。已有的研究也表明用鱼体的干物质含量为自变量预测其能量密度的方法简便易行^[8,11]。因而本研究用干物质含量为自变量建立预测能量密度的模型。

本研究表明季节及繁殖状态(性腺期)对瓦氏黄颡鱼雄鱼群体的能量密度与干物质含量的相关关系没有显著的影响, 而对雌鱼各样本二者间的相关关系有显著的影响。因此将雄性5个样本的回归方程合并为一个公共方程(2)作为雄性群体的能量密度预测模型。协方差分析还表明季节及繁殖状态对雌鱼各样本二者间的相关关系有显著的影响, 因而通过进一步的分析将冬季、春季、繁殖后和秋季雌性样本的4个回归方程合并为公共方程(3)作为非繁殖期雌性群体的预测模型, 而以繁殖期雌性样本的回归方程作为繁殖期的雌性群体的预测模型(4)。

曹振东和谢小军对南方鲇的研究发现, 南方鲇的能量密度与干物质含量在不同的个体发育阶段有不同的相关关系, 而性别或营养状况对它们之间的相关关系没有显著的影响^[17]。本研究采集的鱼体都是成鱼, 处于相同的个体发育阶段, 但处于不同的季节及不同的性腺发育期。繁殖期是鱼类生活史中的特殊阶段, 在此期间雌性瓦氏黄颡鱼鱼体的身体状况出现了较为剧烈的变化^[11], 其能量密度及身体主要组成均表现出相应的动态特征。雌性在繁殖期身体状况的变化一般较雄性剧烈^[1,19,20], 导致了雌性群体的能量密度随干物质变化的速率出现了较明显的不同步, 对二者含量的相关关系有显著的影响。因此, 只有采用不同的模型参数才能较好地拟合二者的关系。

3.2 瓦氏黄颡鱼的脂肪含量

脂肪有较高的能值,是鱼体主要的化学组成和能量储藏物质之一^[21]。对鱼体脂肪含量的研究一直是能量学及营养学的关注点之一,研究的内容主要涉及其含量的变化与繁殖的能量投入的关系^[19,22],脂肪各组成成分随其总含量的变化而变化的规律等^[23,24]。一般来说脂肪是鱼体繁殖过程中主要的能量来源,是鱼体繁殖期间身体组成成分变化最剧烈的物质之一^[19,20]。而脂肪各组成随鱼体脂肪含量的变化也是不同步的,脂肪的组成物质中三酰甘油(主要的产能脂肪)、极性脂(细胞膜的主要成分及偶而的能源)及胆固醇是随鱼体脂肪含量变化最剧烈的物质^[21,25]。由此可见,脂肪是探讨鱼体生理生态学状况的重要指标。

本研究的结果表明,瓦氏黄颡鱼 10 个样本的鱼体中脂肪含量占湿重的变幅为 8.72%~14.3% (B.W),平均值为 10.9%。本文统计了文献报道的 10 种鱼的 67 个样本的脂肪含量的资料,结果表明(表 3),这些鱼体中的脂肪含量占体重百分比的变幅为 0.74%~11.31% (B.W),平均值为 4.02%,其中 65 个样本的值小于 8.72% (瓦氏黄颡鱼脂肪含量变幅的下限),占总样本量的 97.0%。瓦氏黄颡鱼 10 个样本的鱼体中脂肪含量占鱼体干物质百分比的变幅为 30.5%~43.7% (D.W),平均值为 36.5%;而其它鱼类的 59 个样本中脂肪占干物质含量百分比的变幅为 4.05%~34.35% (D.W),平均值为 17.09%,其中 57 个样本的脂肪含量小于 30.5% (瓦氏黄颡鱼该指标变幅的下限),占总量的 96.6%。由以上数据的比较分析可知文献报道中的鱼体脂肪含量无论是表示为占鱼体湿重百分比还是占鱼体干物质的百分比,其总体的平均值都远远小于瓦氏黄颡鱼相应的脂肪含量的平均值,其变幅的上限明显低于瓦氏黄颡鱼相应的上限,而绝大多数(97%左右)样本的脂肪含量低于瓦氏黄颡鱼相应值变幅的下限,由此可知瓦氏黄颡鱼鱼体的脂肪含量远远高于多数鱼类。

脂肪是鱼体主要的含能物质之一,瓦氏黄颡鱼鱼体的脂肪含量很高说明瓦氏黄颡鱼鱼体有较高的能量储备能力。瓦氏黄颡鱼是杂食性鱼类,食谱范围较广^[9],其相对食物丰度在各季节间的变化较小,这为其周年保持较高的脂肪含量及能量储备水平提供了条件。瓦氏黄颡鱼活动范围小,性情温驯,繁殖个体小,生命周期短^[11],雌、雄鱼体体长生长的拐点年龄分别为 1.22 和 2.04 龄,即雌、雄鱼分别达到 1.22 和 2.04 龄后,其体长生长速度明显变缓^[13],而本实验材料中所有个体都大于其拐点年龄。这些特点使瓦氏黄颡鱼的成体消耗在活动和躯体生长上的能量较少,因此在鱼体能量收支中就可以有较多的剩余能量(Surplus energy)贮积为脂肪,使其在较短生命周期中有更多的能量储备以满足其繁殖后代的需要。

References

- [1] Craig J E. The body composition of the adult perch, *Perca fluviatilis* in Windermere, with reference to seasonal changes and reproduction. *Journal of Animal Ecology*, 1977, **46**: 617~632.
- [2] Dawson A S and Grimm A S. Quantitative changes in the protein, lipid and energy content of the carcass, ovaries and liver of adult female plaice, *Pleuronectes platessa* L. *Journal of Fish Biology*, 1980, **16**: 493~504.
- [3] Cui Y B. The theory and method on bioenergetics. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1989, **13**: 377~383.
- [4] Jonsson N and Jonsson B. Body composition and energy allocation in life-history stages of brown trout. *Journal of Fish Biology*, 1998, **53**: 1306~1316.
- [5] Rikardsen A H and Elliott J M. Variations in juvenile growth, energy allocation and life-history strategies of two populations of Arctic charr in North Norway. *Journal of Fish Biology*, 2000, **56**: 328~346.
- [6] Weatherley A H and Gill H S. Protein, lipid, water and caloric contents of immature rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, growing at different rates. *Journal of Fish Biology*, 1983, **23**: 653.
- [7] Falt L E and Diana J S. Seasonal energy dynamics of the alewife in southeastern Lake Michigan. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1985, **114**: 328337.
- [8] Hartman K J and Brandt S B. Estimating energy density of fish. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1995, **124**: 347~355.
- [9] Deng Q X. The biology of *Pelteobagrus vachelli* (Richardson). *Journal of Nanchong Teacher University*, 1980, **1**: 91~93.
- [10] Wei G. A tentative study on the hybrid between *Pelteobagrus vachelli* (Richardson) and *Leiostichus longirostris* (Gunther). *Freshwater Fisheries*, 1987, **6**: 14~17.

- [11] Yang J Y. The reproductive biology of *Pelteobagrus vachelli* (Richardson) in Jialing River. *Journal of Southwest China Normal University*, 1994, **6**: 639~644.
- [12] Duan Z H, Sun J Y. Studies on the reproductive biology of *Pelteobagrus vachelli* (Richardson). *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999a, **23**: 610~616.
- [13] Duan Z H, Sun J Y. Studies on the age and growth of *Pelteobagrus vachelli* (Richardson). *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999b, **23**: 617~623.
- [14] Brett J R and Groves T D D. *Physiological energetics in "Fish Physiology"*. New York: Academic Press, 1979. **8**: 279~352.
- [15] Elliott J M. Body composition of brown trout (*Salmo trutta* L.) in relation to temperature and ration size. *Journal Animal Ecology*, 1976, **45**: 273.
- [16] Weatherley A H and Gill H S. *The biology of fish growth*. Academic press, 1987.
- [17] Cao Z D, Xie X J. Models for predicting energy density of the fish body in *Silurus meridionalis*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, **33**: 68 ~ 74.
- [18] Cui Y and Wootton R J. Effects of ration, temperation and body size on the body composition, energy content and condition of the minnow, *Phoxinus phoxinus* (L.). *Journal of Fish Biology*, 1988, **32**: 749~632.
- [19] Xie X J, Long T C, Zhang Y G and Cao Z D. Reproduction investment in the Southern Catfish (*Silurus meridionalis* Chen). *Journal of Fish Biology*, 1998, **52**: 259~271.
- [20] Hutchings J A, Pickle C R, McGregor-Shaw C R, et al. Influence of sex, body size, and reproduction on overwinter lipid depletion in brook trout. *Journal of Fish Biology*, 1999, **55**: 1020~1028.
- [21] Love R M. *The Chemical Biology of Fishes*. London: Academic Press, 1970.
- [22] Henderson B A, Wong J L and Nepszy S J. Reproduction of walleye in Lake Erie: allocation of energy. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1996, **53**: 127~133.
- [23] Henderson R J and Tocher D R. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Progress in Lipid Research*, 1987, **26**: 281~347.
- [24] Norton E C and Macfarlane B R. Lipid class composition of the viviparous yellowtail rockfish over a reproductive cycle. *Journal of Fish Biology*, 1999, **54**: 1287~1299.
- [25] Fraser A J, Gamble J C and Sargent J R. Changes in lipid content, lipid class composition and fatty acid composition of developing eggs and unfed larvae of cod (*Gadus morhua*). *Marine Biology*, 1988, **99**: 307~313.
- [26] Liu J S. Growth and energy budgets in juvenile mandarin fish *Siniperca chuatsi* and Chinese snakehead *Channa argus*: a Comparative Study. The Ph. D thesis. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 1998.
- [27] Zhang H X, Xie X J. The models for predicting energy density of fish body in *Mystus macropterus*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003.
- [28] Adams C E and Huntingford F A. Growth, maturation and reproduction investment in Arctic charr. *Journal of Fish Biology*, 1997, **51**: 750~759.
- [29] Burel C, Person-Leruyet J, Gaumet F, Leroux A & Boeuf G. Effects of temperature on growth and metabolism in juvenile turbot. *Journal of Fish Biology*, 1996, **49**: 561~762.
- [30] Cui Y, Hung S S O and Zhu X. Effect of ration and body size on the energy budget of juvenile white sturgeon. *Journal of Fish Biology*, 1996, **49**: 763~1042.
- [31] Haakon H, William M T and Harold E W. Bioenergetics of Arctic cod (*Boreogadus saida*) at low temperatures. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1997, **54**: 1772~1784.

参考文献

- [3] 崔弈波. 鱼类生物能量学的理论与方法. 水生生物学报, 1989, **13**: 377~383.
- [9] 邓其祥. 瓦氏黄颡鱼的生物学. 南充师范学院学报(自然科学版), 1980, **1**: 91~93.
- [10] 魏刚. 瓦氏黄颡鱼与长吻鮠的杂交的初步研究. 淡水渔业, 1987, **6**: 14~17.
- [11] 杨家云. 嘉陵江瓦氏黄颡鱼的繁殖生物学. 西南师范大学学报(自然科学版), 1994, **6**: 639~644.
- [13] 段中华, 孙建貽. 瓦氏黄颡鱼的繁殖生物学研究. 水生生物学报, 1999a, **23**: 617~623.
- [12] 段中华, 孙建貽. 瓦氏黄颡鱼的年龄与生长的研究. 水生生物学报, 1999b, **23**: 610~616.
- [17] 曹振东, 谢小军. 南方鲇鱼体的能量密度及其预测模型. 海洋与湖沼, 2002, **33**(1): 68~74.
- [26] 刘家寿. 鳊和乌鳢幼鱼生长及能量收支的比较研究. 理学博士论文, 中国科学院水生生物研究所, 1998.
- [27] 张昊星, 谢小军. 大鳍鲇的能量密度及其预测模型. 水生生物学报, 2003.