

研究简报

湖北省牛山湖13种小型鱼类的能量密度

叶少文^{1,2} 李钟杰¹ 王丹^{1,2} 曹文宣¹

(1. 中国科学院水生生物研究所, 淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

ENERGY DENSITIES OF 13 SMALL-SIZED FISHES FROM THE NIUSHAN LAKE, HUBEI PROVINCE, CHINA

YE Shao-Wen^{1,2}, LI Zhong-Jie¹, WANG Dan^{1,2} and CAO Wen-Xuan¹

(1. Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Wuhan 430072;
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

关键词: 能量密度; 小型鱼类; 长江中下游湖泊

Key words: Energy density; Small-sized fishes; Yangtze lake

中图分类号:S964 文献标识码:A 文章编号:1000-3207(2006)05-0629-04

鱼类的能量密度(能值)是指单位重量(湿重或干重)鱼体所含能量的多少,其单位一般是 kJ/g wet mass 或 kJ/g dry mass,它能够反映鱼类的营养状态和储能水平,是鱼类生物能量学研究的关键参数之一;同时,在对水域生态系统食物网结构和能量流动的研究中,将鱼类种群的生物量由重量单位换算为能量单位,也必须建立在已知的特定鱼类能量密度之上。国内已有不少研究对主要养殖鱼类(如草鱼、团头鲂、鳙、乌鳢等)进行过能量密度的测定^[1,2]。

小型鱼类是长江中下游湖泊鱼类群落的重要组成部分,其种类数量在一个湖泊中一般为30—40种,超过鱼类总数的一半以上,资源蕴藏量相当丰富^[3]。它们处于食物链的中间环节,一方面作为饵料鱼被食鱼性鱼类如鱥、乌鳢、翘嘴鮊等所捕食,另一方面又和与其营养级相近的经济鱼类如鲢、鳙、鲤等争夺湖中的饵料资源,可见,小型鱼类在长江中下游湖泊生态系统的物质循环和能量流动中占有相当重要的生态地位,如何控制和利用湖中过剩的小型鱼类资源已成为渔业资源管理者和渔业生态学家所关注的焦点^[4]。目前,已有对小型鱼类在长江中下游某些湖泊中的种群丰度和群落结构特征的初步调查^[3,5];然而,有关湖泊野生小型鱼类能量密度的研究尚未见报道,这就阻碍了小型鱼类种群生物量由重

量单位向能量单位的转化,进而在某种程度上限制了对整个湖泊生态系统的能量评估(包括能量分布情形、能量流动路径和能量转化效率等)。有鉴于此,本文作者从长江中下游的一个典型浅水草型湖泊——牛山湖采集了13种主要小型鱼类的鱼体样本,在室内用热量计直接测定燃烧能的方法来计算它们的能量密度,并比较同种鱼不同全长组间能量密度的差异,旨在为湖泊生态系统能量模型的建立和小型鱼类资源的合理利用提供一定的基础数据。

1 材料与方法

1.1 采样地点和样品采集 牛山湖(30°16'—22 N, 114°27'—38 E)位于长江中游南岸、武汉市江夏区东约10km处,原为梁子湖西北部的一个湖湾,1979年筑堤与梁子湖分开(建有节制闸),水域面积38km²,常年水深2.5—4.5m;全湖水质清澈、沉水植物丰盛,优势种类为黄丝草,已查明鱼类有64种,其中小型鱼类占鱼类总数的60%以上^[4]。

用于能量密度测定的13种材料鱼捕于2004年5月20—28日,取样渔具为网簖(网目2a=10或30mm)。在同批材料鱼中,选择体质正常的个体,用纱布抹干鱼体表面的水分,测量全长和体重。每种鱼按全长分成2或3组,每组再取3或

收稿日期:2006-04-01;修订日期:2006-05-10

基金项目:国家科技攻关课题(2004BA526B05);淡水生态与生物技术国家重点实验室开发课题(2005FB02)资助

作者简介:叶少文(1979—),男,安徽铜陵人,博士生,从事渔业生态学研究。在野外鱼类采样中得到本实验室陈新年和张彬的协助,室内能量测定过程中得到杨云霞女士的指导,作者在此深表谢意

通讯作者:李钟杰,研究员。Tel:027-68780063,E-mail:zhongjie@iob.ac.cn

4个样品,每个样品所包含鱼的尾数见表1。样品鱼在-20℃下冷冻保存。

1.2 能量密度的测定 将冰冻的样品鱼放入加盖的铝合金样品盒内,置于灭菌锅中在15磅的压力下蒸1h;然后将蒸后的实验鱼捣碎,置于烘箱中在70℃下烘干至恒重,测得水分含量。将干燥样品碾磨成粉末状、压制为颗粒,再在70℃下烤至恒重,用于能量密度的测定。

在恒温(26℃)实验室里,用Phillipson微量能量计(Phillipson microbomb calorimeter, Gentry Instruments Inc., Aiken U.S.A.)直接测定样品的燃烧能来计算能量密度,苯甲酸(Benzoic acid)作为标样用于校正;每个样品重复测定2次,当相对偏差超过2%时,增加重复次数,偏差在2%以下的两个测定值的平均数即为该样品的能量密度。

1.3 数据处理 所有数据在计算机上利用Excel 2003和SPSS 11.0统计软件进行处理。鱼类水分含量的频数分布和能量密度的频数分布均以正态分布进行拟合,并经Kolmogorov-Smirnov检验是否符合正态分布。依据张堂林的研究^[6],13种小型鱼类被划分为四种食性类型,协方差分析(ANCOVA)用于比较四种食性鱼类能量密度间的差异,其中全长作为协变量。一元线性回归模型用来分析水分含量和能量密度间的关系。同一种鱼两个全长组间能量密度的差异比较采用独立样本的T检验(T test);3个全长组间能量密度的差异比较则采用单因素方差分析(One-way ANOVA),Turkey检验用于多重比较。 $P < 0.05$ 被视为差异显著。

2 结果与讨论

2.1 鱼类能量密度的分布规律

13种小型鱼类均为湖泊定居型,隶属于5科,其中鲤科鱼类8种,占总数的61.5%,它们的31组水分含量和能量密度被测定(表1)。水分含量平均值的变化范围是70.93%—82.57%,其中的50%集中于75.66%—78.03%;能量密度平均值的变化范围是16.84—22.60 kJ/g dry mass,其中的50%集中于18.76—19.87 kJ/g dry mass。水分含量平均值和能量密度平均值的频数分布经Kolmogorov-Smirnov检验均符合正态分布。由此可见,本文所测得的鱼类水分含量和能量密度值的分布范围都较为狭窄,并且趋向于中间某一数值段;同时,能量密度的正态分布特征也与闫云君^[7]对近230种动物能量密度分布规律的研究结果相一致,反映了生活于同一地点、同一时期的这些小型鱼类在生化组成上可能存在较大的相似性。

2.2 鱼类能量密度和食性的联系

依据张堂林的研究^[6],本文13种小型鱼类被划分为肉食性鱼类(红鳍原鲌、沙塘鳢和中华刺鳅)、碎屑食性鱼类(彩副鱊和高体鳑鲏)、杂食性鱼类(似鱎、黑鮰和间下鱊)和底栖动物食性鱼类(棒花鱼、小黄黝鱼和子陵吻虎鱼),协方差分析表明这四种食性鱼类的能量密度之间不存在显著性的差异($F_{3,26} = 2.023, P = 0.135$)。尽管差异不显著,从图1中还是可以看出肉食性鱼类、碎屑食性鱼类和底

栖动物食性鱼类的能量密度比较接近,杂食性鱼类的能量密度则相对较低。这一现象从某种程度上说明了鱼类能量密度和其食性(食物组成和食物质量)间存在着并非简单或者必然的联系,二者间的联系可能还受到鱼类食物转化效率、生活史对策、鱼体生理状况(年龄、性别和成熟度)等多种因素的综合影响,有待今后更深入的研究。

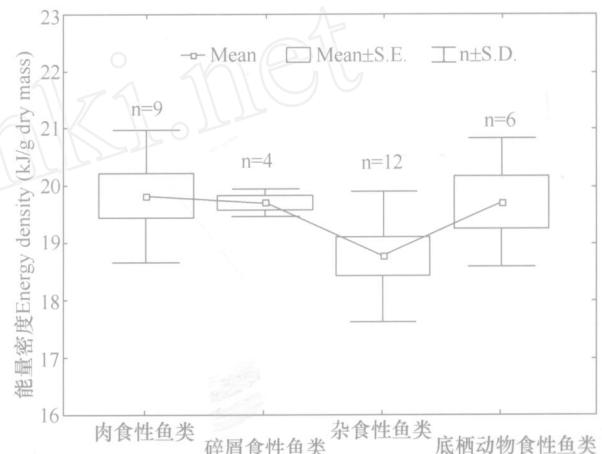


图1 牛山湖四种食性小型鱼类的能量密度平均值

Fig. 1 Mean energy densities of the four types of small-sized fishes with different food habits

2.3 鱼体大小对能量密度的影响

同一种鱼不同全长组的能量密度间存在一定的差异,一般情形是大个体的能量密度比小个体的高,但这种差异在多数种类并未达到显著性水平($P > 0.05$)(表1)。其潜在的原因一方面和鱼类不同发育阶段能量分配(用于生长的能量消耗和用于繁殖的能量储存)上的差异有关^[8],另一方面则可能在于小型鱼类具有寿命短、最大个体小和性成熟早等生活史特征^[6]。

2.4 鱼体能量密度和水分含量的关系

31组能量密度平均值和水分含量平均值间的线性回归分析表明:两者之间存在着显著的负相关关系($F_{1,29} = 10.035, r^2 = 0.257, P = 0.004, n = 31$;图2),即随着鱼体水分含

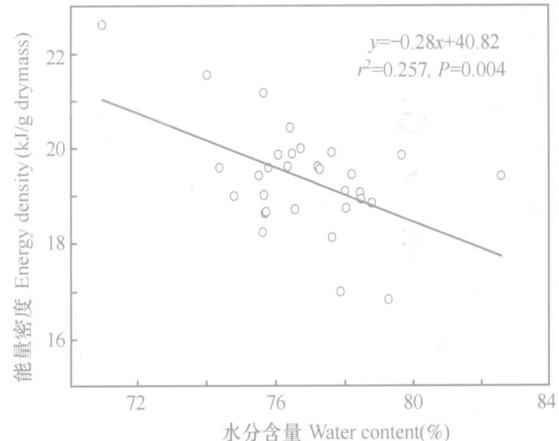


图2 牛山湖小型鱼类能量密度和水分含量之间的回归关系

Fig. 2 Relationship between energy density and water content of the small-sized fishes

表1 牛山湖13种小型鱼类的水分含量和能量密度

Tab.1 Water content and energy densities of 13 small-sized fishes from the Niushan Lake

科名 Family	种名 Species	全长组 Size range (TL, mm)		平均全长 Average (TL, mm)		体重范围 Weight range (Wet mass, g)		平均体重 Average (Wet mass, g)		样品数 No.		鱼尾数 Ind.		水分含量 Water content (%)		能量密度 (kJ/g dry mass) Energy density	
		Mean ± S.E.	P	Mean ± S.E.	P	Mean ± S.E.	P	Mean ± S.E.	P	Mean ± S.E.	P	Mean ± S.E.	P	Mean ± S.E.	P	Mean ± S.E.	P
鲤科	1. 似鱥	76—84	78.4	1.81—2.59	2.133	3	17	75.69 ± 0.77 ^a	0.987	18.66 ± 0.72 ^a	0.979	18.67 ± 0.12 ^a	0.987	18.67 ± 0.36 ^a	0.979	18.67 ± 0.12 ^a	0.979
Cyprinidae	<i>Toxabramis sinensis</i>	89—113	99.7	3.06—7.43	4.881	3	11	75.70 ± 0.12 ^a	0.987	18.64 ± 0.61 ^a	0.979	18.76 ± 0.73 ^a	0.987	18.76 ± 0.62 ^a	0.979	18.76 ± 0.12 ^a	0.979
	2. 鳊	75—93	83.9	2.21—5.24	3.643	3	12	76.06 ± 0.73 ^a	0.987	18.87 ± 0.30 ^b	0.979	18.38 ± 1.21 ^a	0.987	18.93 ± 1.24 ^b	0.979	19.07 ± 0.59 ^b	0.942*
	<i>Hemiculter</i>	100—138	116.0	5.48—17.63	9.817	3	9	70.93 ± 1.24 ^b	0.020*	77.63 ± 0.62 ^a	0.020*	75.49 ± 0.08 ^b	0.020*	75.66 ± 0.42 ^b	0.024*	19.63 ± 1.09 ^a	0.602
	<i>leucisculus</i>	161—188	172.0	26.24—41.50	32.724	3	6	70.93 ± 1.24 ^b	0.020*	78.03 ± 0.18 ^a	0.020*	78.03 ± 0.18 ^a	0.020*	18.76 ± 0.15 ^a	0.602	19.60 ± 0.32 ^a	0.602
	3. 红鳍原鲌	90—149	119.8	6.42—35.14	15.032	3	9	77.63 ± 0.62 ^a	0.020*	75.49 ± 0.08 ^b	0.020*	75.66 ± 0.42 ^b	0.024*	18.14 ± 0.26 ^a	0.602	19.63 ± 1.09 ^a	0.602
	<i>Cultrichthys</i>	176—205	188.8	41.06—59.38	50.669	3	8	74.35 ± 0.20 ^b	0.013*	76.34 ± 0.72 ^b	0.013*	76.70 ± 0.75 ^a	0.013*	19.42 ± 0.32 ^b	0.034*	19.63 ± 1.09 ^a	0.602
	<i>erythopterus</i>	222—287	259.1	83.53—198.72	141.285	3	8	77.88 ± 1.01 ^a	0.013*	77.98 ± 1.01 ^a	0.013*	76.55 ± 0.45 ^a	0.294	18.72 ± 0.29 ^b	0.011*	16.99 ± 0.19 ^a	0.602
	4. 麦穗鱼	24—41	32.5	0.15—0.59	0.287	4	32	78.03 ± 0.18 ^a	0.024	76.70 ± 0.75 ^a	0.024	76.70 ± 0.75 ^a	0.024	20.01 ± 0.27 ^a	0.034*	18.14 ± 0.26 ^a	0.602
	<i>Pseudorasbora</i>	49—64	57.1	0.98—2.24	1.612	4	19	76.34 ± 0.72 ^b	0.013*	74.35 ± 0.20 ^b	0.013*	73.98 ± 1.29 ^a	0.143	21.55 ± 0.27 ^b	0.015*	19.42 ± 0.32 ^b	0.034*
	<i>parva</i>	71—86	79.4	3.02—6.57	4.401	4	15	78.03 ± 0.18 ^a	0.024	78.03 ± 0.18 ^a	0.024	77.98 ± 1.01 ^a	0.013*	19.42 ± 0.32 ^b	0.034*	18.14 ± 0.26 ^a	0.602
	5. 黑鱲	61—79	70.6	1.85—4.83	2.882	3	17	77.88 ± 1.01 ^a	0.013*	77.98 ± 1.01 ^a	0.013*	77.98 ± 1.01 ^a	0.013*	18.72 ± 0.29 ^b	0.011*	18.72 ± 0.29 ^b	0.011*
	<i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>	83—110	93.4	4.51—12.73	7.846	3	10	76.55 ± 0.45 ^a	0.294	76.70 ± 0.75 ^a	0.294	76.70 ± 0.75 ^a	0.294	19.42 ± 0.32 ^b	0.034*	18.72 ± 0.29 ^b	0.011*
	6. 椿花鱼	32—55	46.3	0.27—0.40	0.854	4	30	76.70 ± 0.75 ^a	0.013*	76.70 ± 0.75 ^a	0.013*	76.70 ± 0.75 ^a	0.013*	19.59 ± 0.21 ^a	0.015*	19.42 ± 0.32 ^b	0.034*
	<i>Abbotina rivularis</i>	63—97	82.4	2.24—8.93	5.281	4	15	73.98 ± 1.29 ^a	0.143	73.98 ± 1.29 ^a	0.143	73.98 ± 1.29 ^a	0.143	19.43 ± 0.22 ^a	0.451	19.43 ± 0.22 ^a	0.451
	7. 彩丽鱣	42—60	52.0	0.73—2.11	1.425	3	26	77.19 ± 0.92 ^a	0.333	75.62 ± 1.18 ^a	0.333	75.62 ± 1.18 ^a	0.333	19.87 ± 0.11 ^a	0.153	19.43 ± 0.22 ^a	0.451
	<i>Paracheirodonthus imberbis</i>	66—72	68.9	2.01—3.60	2.701	3	17	76.70 ± 0.75 ^a	0.013*	76.70 ± 0.75 ^a	0.013*	76.70 ± 0.75 ^a	0.013*	20.01 ± 0.27 ^a	0.153	19.42 ± 0.32 ^b	0.034*
	8. 高体鳑鲏	36—44	40.3	0.53—0.96	0.742	3	30	77.61 ± 1.56 ^a	0.013*	77.61 ± 1.56 ^a	0.013*	77.61 ± 1.56 ^a	0.013*	19.59 ± 0.21 ^a	0.310	19.42 ± 0.32 ^b	0.034*
	<i>Rhodeus acutus</i>	42—58	48.9	0.83—2.21	1.343	3	24	75.78 ± 0.80 ^a	0.355	75.78 ± 0.80 ^a	0.355	75.78 ± 0.80 ^a	0.355	19.93 ± 0.35 ^a	0.451	19.42 ± 0.32 ^b	0.451
	9. 间下鱥	54—99	78.1	0.25—1.42	0.763	4	21	82.57 ± 4.36 ^a	0.670	79.66 ± 0.82 ^a	0.575	79.66 ± 0.82 ^a	0.575	21.15 ± 1.15 ^a	0.310	19.42 ± 0.32 ^b	0.451
	<i>Hemirhamphidae</i>	107—163	125.8	1.62—4.74	2.322	4	13	79.29 ± 1.02 ^a	0.355	79.29 ± 1.02 ^a	0.355	79.29 ± 1.02 ^a	0.355	19.87 ± 0.40 ^a	0.310	19.42 ± 0.32 ^b	0.451
	塘鳢科	71—89	84.4	4.25—11.04	7.682	3	8	79.29 ± 1.02 ^a	0.355	79.29 ± 1.02 ^a	0.355	79.29 ± 1.02 ^a	0.355	19.42 ± 0.32 ^b	0.451	19.42 ± 0.32 ^b	0.451
	<i>Eleotridae</i>	101—118	112.7	14.56—21.28	18.771	3	6	78.79 ± 0.42 ^a	0.261	78.79 ± 0.42 ^a	0.261	78.79 ± 0.42 ^a	0.261	20.42 ± 0.21 ^a	0.158	19.42 ± 0.32 ^b	0.451
	<i>Odontobutis obscura</i>	124—167	137.2	23.31—67.74	36.979	3	5	78.45 ± 0.22 ^a	0.670	78.45 ± 0.22 ^a	0.670	78.45 ± 0.22 ^a	0.670	22.60 ± 0.77 ^b	0.021*	19.42 ± 0.32 ^b	0.451
	11. 小黄黝鱼	26—38	32.7	0.12—0.33	0.209	4	37	75.63 ± 0.57 ^a	0.261	75.63 ± 0.57 ^a	0.261	75.63 ± 0.57 ^a	0.261	18.23 ± 0.20 ^a	0.158	19.42 ± 0.32 ^b	0.451
	<i>Micropercops suinonis</i>	36—58	44.2	0.28—1.37	0.597	4	29	74.77 ± 0.34 ^a	0.261	74.77 ± 0.34 ^a	0.261	74.77 ± 0.34 ^a	0.261	19.01 ± 0.40 ^a	0.158	19.42 ± 0.32 ^b	0.451
	12. 孔腹𫚥虎鱼科	23—47	34.6	0.24—0.75	0.350	4	31	77.26 ± 0.63 ^a	0.375	76.46 ± 0.48 ^a	0.375	76.46 ± 0.48 ^a	0.375	19.58 ± 0.36 ^a	0.592	19.42 ± 0.32 ^b	0.451
	<i>Gobiidae</i>	57—67	61.7	0.87—1.85	1.321	4	27	76.46 ± 0.48 ^a	0.375	76.46 ± 0.48 ^a	0.375	76.46 ± 0.48 ^a	0.375	19.89 ± 0.38 ^a	0.592	19.42 ± 0.32 ^b	0.451
	刺鳅科	98—150	131.7	1.48—6.00	4.083	3	9	78.46 ± 1.97 ^a	0.375	78.46 ± 1.97 ^a	0.375	78.46 ± 1.97 ^a	0.375	18.95 ± 0.21 ^a	0.310	19.42 ± 0.32 ^b	0.451
	<i>Mastacembelidae</i>	156—186	172.1	6.23—12.75	9.621	3	15	78.01 ± 0.60 ^a	0.967	78.01 ± 0.60 ^a	0.967	78.01 ± 0.60 ^a	0.967	19.12 ± 0.32 ^a	0.355	19.42 ± 0.12 ^a	0.355
	<i>siniensis</i>	192—235	206.8	14.50—26.22	17.524	3	14	78.18 ± 0.53 ^a	0.967	78.18 ± 0.53 ^a	0.967	78.18 ± 0.53 ^a	0.967	19.45 ± 0.12 ^a	0.355	19.42 ± 0.32 ^b	0.355

注：“*”表示具有显著性差异 ($P < 0.05$)；数值后的字母表示 Tukey 检验或多重比较 (Tukey 检验) 结果，具有相同字母的平均值在 0.05 水平下无显著性差异。

量的增高,能量密度有降低的趋势;另一方面,同种鱼不同全长组间水分含量的差异也基本上与能量密度的差异相反(表1)。鱼类的能量密度主要由其生化组成中的脂肪和蛋白质所决定,已有的研究^[1,2]发现鱼类的水分含量与脂肪和蛋白质含量的关系一般为负相关,进而与能量密度也呈现出负的相关性,本文的研究结果证实了鱼体能量密度和水分含量间的这种负相关关系。

需要指出的是,由于鱼类的能量密度存在着一定的地理差异^[1]和季节变化^[9],因而本文所测的13种小型鱼类的能量密度值在特定的区域(长江中下游地区)和季节(春末)具有更好的代表性;另一方面,本文所采用的热量计直接测定能量密度方法较其他间接推算方法(如鱼体干物质或含水量回归法和蛋白质含量和脂肪含量换算系数法)更为精确和可靠^[2,10],但其缺点在于价格昂贵、操作较为费时。

参考文献:

- [1] Chen S L, Liu X F, Hu C L, et al. Nutrition and energetics of the Chinese herbivorous fishes of important food values . Chemical composition and energy content of *Ctenopharyngodon idellus*, *Megalobrama amblycephala* and *Parabramis pekinensis* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1992, 23(2):193—205 [陈少莲,刘肖芳,胡传林,等. 我国淡水优质草食性鱼类的营养和能学研究 . 草鱼、团头鲂、长春鳊的生化成分和能值. 海洋与湖沼, 1992, 23(2):193—205]
- [2] Liu J S, Cui Y B, Yang Y X, et al. Effects of body weight and ration level on the body composition and energy content of *Siniperca chuatsi* and *Channa argus* [J]. *Acta Hydrobiological Sinica*, 2000, 24(1):19—24[刘家寿,崔奕波,杨云霞,等. 体重和摄食水平对鱲和乌鳢身体的生化组成和能值的影响. 水生生物学报, 2000, 24(1):19—24]
- [3] Zhang TL, Fang R L, Cui Y B. Comparisons of fish community diversity in five lake areas under different levels of fishery development [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1996, 20(Suppl.):191—199[张堂林,方榕乐,崔奕波. 渔业发展阶段不同的五个水体鱼类多样性的比较. 水生生物学报, 1996, 20(增刊):191—199]
- [4] Cui Y B, Li Z L, Fishery resources and conservation of environment in lakes of the Changjiang River basin [C]. Beijing: Science Press, 2005, 424. [崔奕波,李钟杰. 长江流域湖泊的渔业资源与环境保护. 北京:科学出版社, 2005, 424]
- [5] Xie S G, Cui Y B, Zhang TL, et al. The spatial pattern of the small fish community in the Biandantang Lake—a small shallow lake along the middle reach of the Yangtze River, China [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2000, 57:179—190
- [6] Zhang T L. Life-history strategies, trophic patterns and community structure in the fishes of Lake Biandantang [D]. PhD Dissertation. Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan, 2005[张堂林. 扁担塘鱼类生活史对策、营养特征及群落结构研究. 博士学位论文. 中国科学院水生生物研究所, 武汉, 2005]
- [7] Yan Y J, Liang Y L. Distribution of animal energy densities (caloric values) [J]. *J. Huazhong Univ. of Sci. & Tech. (Nature Science Edition)*, 2003, 31(7):100—102[闫云君,梁彦龄. 动物能量密度(能值)分布规律的研究. 华中科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(7):100—102]
- [8] Roff D A. An allocation model of growth and reproduction in fish [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1983, 40: 1396—1404
- [9] Paul A J, Paul J M, Smith R L. Seasonal changes in whole-body energy content and estimated consumption rates of age 0 walleye pollock from Prince William Sound, Alaska. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1998, 47:251—259
- [10] Cui Y B, Chen S L, Wang S M. Calorific values of lipids from five freshwater fish species [J]. *Acta Hydrobiological Sinica*, 1995, 19(3):287—288[崔奕波,陈少莲,王少梅. 五种淡水鱼类脂肪的能值. 水生生物学报, 1995, 19(3):287—288]