

水生大型无脊椎动物的能量密度*

闫云君^{1,2} 梁彦龄²

(1. 华中科技大学生命科学与技术学院, 武汉 430074; 2. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

提 要 测定了 72 种大型水生无脊椎动物的能量密度, 其中 69 种是第一次测定. 底栖动物的能量密度随物种、季节、地区、年龄等的不同而存在差异. 绝大多数寡毛类的能量密度为 22.99 - 25.08 kJ/g (干重), 软体动物的能量密度为 16.72 - 22.99 kJ/g (干重), 昆虫及其幼虫的能量密度变异较大, 为 10.45 - 25.08 kJ/g (干重) 左右.

关键词 无脊椎动物 能量密度

分类号 Q959.1

能量密度(能值)是主要的生物能量学参数之一,是指单位重量(干重或无灰干重)的有机物含能多少,其单位一般为 J/g (干重) J/g (无灰干重).同时,它还是衡量生物储能水平的重要指标.因此,研究生物的能量密度具有重要理论意义.国外在这方面的研究较多,主要集中在测定动物的能量密度上^[1-4].我国尚无研究动物能量密度的报道,由于我国动物区系的独特性,多数物种的能量密度在国际同行工作中未有报道.因此,测定这些动物的能量密度既是对国际同行工作完善和补充,也填补了国内这方面的空白,还为开展国内动物生态能量学研究提供条件.

1 材料和方法

1.1 标本采集

水生无脊椎动物采自扁担塘、后湖、武汉市一些市区,如洪山区、汉阳区、武昌区的一些水体.另外,还有部分标本采自大冶市和罗田县的一些池塘及河道.

1.2 能量密度(能值)的测定

把待测各水生无脊椎动物标本(鲜活或固定)置于 70℃ 的烤箱中烤干,然后碾磨成粉末,经压制成颗粒,再烤至恒重,在 Phillipson 微量热量计(Gentry Instruments Inc.)中燃烧测定其能量含量.四个重复.

2 结果

2.1 若干底栖动物的能量密度(能值)

共测定了我国 72 种水生大型无脊椎动物的能量密度,其中 69 种为首次测定(表 1).

2.2 能量密度的周年动态

2.2.1 霍雨水丝蚓能量密度的周年动态 霍雨水丝蚓能量密度的周年动态呈多峰状.种群的能量密度分别在 5、11 和次年 3 月出现峰值,这与上述各月种群成体所占比例较大有关.6 月、10 月和次年 1 月出现低谷,其中 10 月为最小值.出现低谷的原因不尽相同,6 月和 10 月,特别是 10 月的种群幼体居多,造成种群能量密度较低;而次年 1 月则是由于种群越冬消耗大量贮存能量的缘故(图 1).

2.2.2 苏氏尾螺蛳的能量密度的季节动态 苏氏尾螺蛳能量密度的周年动态呈单峰状态.种群能量密度的峰值出现在 10 月,这时种群较大个体占据优势,小个体极少,因此种群能量密度达到最大.种群能量密度最小

* 国家自然科学基金(39600019 和 39430101)及湖北省自然科学基金(2000J109)联合资助.
收稿日期 2001-09-17;收到修改稿日期 2001-11-17. 闫云君,男,1969 年生,副教授.

表 1 72 种大型水生无脊椎动物的能量密度

Tab. 1 Energy densities of seventy two species of aquatic macroinvertebrates in China

种类	采集时间	采集地点	能量密度(kJ/g,干重)
线形动物门 Nematelminthes			
铁线虫一种 <i>Gordus</i> sp	1996 - 10 - 05	罗田县胜利镇	23.2383 ± 0.1998
轮虫门 Rotifera			
巨冠长柄轮虫 <i>Sinantharina procerata</i>	1996 - 07 - 12	水生所鱼池	19.5428 ± 0.0769
环节动物门 Annelida			
寡毛纲 Oligochaeta			
指鳃尾盘虫 <i>Dero digitata</i>	1996 - 07 - 29	水生所马路旁水沟	24.0095 ± 0.7520
霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	1996 - 04 至 1997 - 03	水生所马路旁水沟	23.4586 ± 1.8359
单孔蚓 <i>Monopylephorus limosus</i>	1996 - 09 - 23	水生所马路旁水沟	23.2784 ± 0.5284
苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	1996 - 04 至 1997 - 03	水生所马路旁水沟	24.0095 ± 1.3372
软体动物门 Mollusca			
腹足纲 Gastropoda			
中国圆田螺 <i>Cipangopaludina chinensis</i>	1996 - 07 - 18	水生所鱼池	18.1466 ± 1.8563
铜锈环棱螺 <i>Bellamya aeruginosa</i>	1996 - 07 - 18	水生所鱼池	17.9895 ± 1.4597
	1996 - 09 - 13	武汉马沧湖	19.2790 ± 0.9572
	1996 - 10 - 06	罗田胜利镇	18.1023 ± 0.6462
	1996 - 04 至 1997 - 03	扁担塘及后湖	16.9679 ± 0.6379
	1996 - 09 - 13	武汉南湖	16.9169 ± 0.9171
梨形环棱螺 <i>B. purificata</i>	1996 - 07 - 18	水生所鱼池	19.3718 ± 0.6521
	1996 - 08 - 15	后湖	17.4055 ± 0.6592
纹沼螺 <i>Parafossarusulus striatulus</i>	1996 - 08 - 21	扁担塘	18.1675 ± 1.6592
	1996 - 09 - 30	大冶大箕铺	18.4397 ± 0.9785
大沼螺 <i>P. eximius</i>	1996 - 09 - 11	武汉南湖	16.3584 ± 0.4067
赤豆螺 <i>Bithunia fuchsiana</i>	1996 - 10 - 03	罗田县胜利镇	16.8521 ± 0.0819
长角涵螺 <i>Alocinma longicornis</i>	1996 - 04 至 1997 - 03	扁担塘	18.3414 ± 0.1927
短沟蜷 <i>Semisulcospira</i> sp.	1996 - 09 - 20	扁担塘	19.0766 ± 0.8506
椭圆萝卜螺 <i>Radix ovata</i>	1996 - 09 - 11	武汉南湖	16.3981 ± 2.4211
腺膀胱螺 <i>Physa fontinalis</i>	1996 - 09 - 03	华师大一水沟	17.4385 ± 0.3545
斧足纲 Pelecypoda			
淡水壳菜 <i>Limnoperna lacustris</i>	1996 - 09 - 26	三峡巫山船码头	21.6495 ± 0.0999
圆顶珠蚌 <i>Unio douglaniae</i>	1996 - 09 - 20	扁担塘	17.3035 ± 0.0757
圆背角无齿蚌 <i>Anodonta woodiana pacifica</i>	1996 - 09 - 20	扁担塘	17.8595 ± 0.7692
圆头楔蚌 <i>Cuneopsis heudei</i>	1996 - 09 - 27	鄱阳湖	13.1306 ± 0.4970
河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>	1996 - 08 - 23	扁担塘	22.8190 ± 0.3252
湖球蚬 <i>Sphaerium lacustre</i>	1996 - 12 - 16	后湖	20.9581 ± 0.3658
节肢动物门 Arthropoda			
介形纲 Ostracoda			
腺介一种 <i>Cypris</i> sp.	1996 - 09 - 09	武汉卓刀泉菜沟	10.6512 ± 0.5672
软甲纲 Malacostraca			
米虾一种 <i>Cardina</i> sp	1996 - 07 - 12	水生所鱼池	18.9860 ± 1.2026
米虾一种 <i>Cardina</i> sp	1996 - 10 - 01	大冶大箕铺	23.3867 ± 0.2567
米虾一种 <i>Cardina</i> sp	1996 - 10 - 03	罗田县胜利镇	18.5788 ± 0.3733
秀丽白虾 <i>Palaemon modestus</i>	1996 - 09 - 11	武汉南湖	21.6503 ± 0.4050
日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponensis</i>	1996 - 07 - 12	水生所鱼池	16.1131 ± 1.1654
沼虾一种 <i>Macrobrachium</i> sp.	1996 - 07 - 12	水生所鱼池	19.0775 ± 0.1463
克氏螯虾 <i>Cambarus clarkii</i> (adult)	1996 - 08 - 23	扁担塘	14.0293 ± 1.1319
克氏螯虾 <i>Cambarus clarkii</i> (larvae)	1996 - 09 - 09	武汉卓刀泉菜沟	18.7841 ± 0.5162
溪蟹一种 <i>Potamon</i> sp.	1996 - 10 - 05	罗田县胜利镇	13.6481 ± 0.5948
昆虫纲 Insecta			

种类	采集时间	采集地点	能量密度(kJ/g,干重)
蜉蝣一种 <i>Ephemera</i> sp.	1996-07-12	水生所鱼池	23.7282 ± 0.5927
扁蜉一种 <i>Ecdyru</i> sp.	1996-10-01	大冶大箕铺	20.7871 ± 0.5785
	1996-10-06	罗田县胜利镇	19.9407 ± 0.2299
小裳蜉一种 <i>Leptophlebia</i> sp.	1996-10-01	大冶大箕铺	17.9539 ± 0.4878
	1996-10-03	罗田县胜利镇	19.6418 ± 0.3407
二尾蜉一种 <i>Siphonurus</i> sp.	1996-10-04	罗田县胜利镇	21.5571 ± 0.7240
康氏丝虫 <i>Lestes congener</i>	1996-07-12	水生所鱼池	20.9945 ± 0.2157
丝虫一种 <i>Lestes</i> sp.	1996-09-09	武汉卓刀泉菜沟	21.9166 ± 2.3722
虎蜓种 1 <i>Epitheca</i> sp.1	1996-09-09	武汉卓刀泉菜沟	24.0070(a sample)
虎蜓种 2 <i>Epitheca</i> sp.2	1996-10-03	罗田县胜利镇	22.3881 ± 0.6349
蜓种 1 <i>Aeschna</i> sp.1	1996-09-30	大冶大箕铺	17.1898(a sample)
蜓种 2 <i>Aeschna</i> sp.2	1996-10-03	罗田县胜利镇	22.1327 ± 0.2763
黄蜓 <i>Pantala flavescens</i>	1996-10-01	大冶大箕铺	19.2920 ± 0.3678
赤卒一种 <i>Sympetrum</i> sp.	1996-10-04	罗田县胜利镇	21.4129 ± 0.1822
小螳蜴蜻 <i>Ranatra unicolor(adult)</i>	1996-07-12	水生所鱼池	20.5883(a sample)
<i>Ranatra unicolor(larvae)</i>	1996-10-05	罗田县胜利镇	27.8242 ± 3.8707
华螳蜴蜻 <i>Ranatra chinaensis</i>	1996-07-12	水生所鱼池	22.2526 ± 0.2199
田鳖 <i>Kirkaldyia deyrrolled</i>	1996-10-01	大冶大箕铺	24.8451 ± 0.3528
红华娘 <i>Laccotrepes japonensis</i>	1996-10-01	大冶大箕铺	20.9832 ± 0.2629
负子蝻 <i>Sphaerodema rustic</i>	1996-07-12	水生所鱼池	21.1650 ± 0.6379
	1996-09-09	武汉卓刀泉菜沟	23.6078 ± 0.3988
小划蝻 <i>Micronecta quadriseta</i>	1996-07-12	水生所鱼池	18.5981(a sample)
黑纹仰蝻 <i>Notonecta chinensis</i>	1996-10-06	罗田胜利镇	23.1950 ± 0.8159
小仰蝻 <i>Anisops fieberi</i>	1996-07-12	水生所鱼池	18.1834 ± 0.1505
	1996-09-09	武汉卓刀泉菜沟	19.9361 ± 0.8586
华仰蝻 <i>Enithares sinica</i>	1996-09-09	武汉卓刀泉菜沟	23.4168 ± 0.4268
	1996-10-05	罗田胜利镇	23.4720 ± 0.4121
瓢龙虱一种 <i>Agabus</i> sp.1	1996-09-09	武汉卓刀泉菜沟	30.9592(a sample)
瓢龙虱一种 <i>Agabus</i> sp.2	1996-09-11	南湖	23.0289(a sample)
泥龙虱一种 1 <i>Rhantus</i> sp.1	1996-10-01	大冶大箕铺	24.0367 ± 0.0840
泥龙虱一种 2 <i>Rhantus</i> sp.2	1996-10-05	罗田胜利镇	18.8480(a sample)
龙虱一种 <i>Cybister</i> sp.1	1996-09-30	大冶大箕铺	22.6673 ± 0.4757
龙虱一种 2 <i>Cybister</i> sp.2	1996-10-03	罗田胜利镇	22.8922 ± 0.7495
龙虱一种 3 <i>Cybister</i> sp.3	1996-10-03	罗田胜利镇	19.3141 ± 0.0059
灰龙虱一种 <i>Eretes</i> sp	1996-10-05	罗田胜利镇	21.1554 ± 0.2876
皱龙虱一种 <i>Hydatus</i> sp.	1996-10-05	罗田胜利镇	23.4515 ± 0.1534
锦龙虱 <i>Hydatus boweringi</i>	1996-09-05	罗田胜利镇	22.2710 ± 0.3210
纹石蛾一种 <i>Hydropsyche</i> sp.	1996-10-01	罗田胜利镇	20.5656 ± 0.0150
	1996-10-03	大冶大箕铺	21.8409 ± 0.0084
岩石蛾一种 <i>Polycentropus</i> sp.	1996-10-04	罗田胜利镇	22.1720(a sample)
羽摇蚊 <i>Chironomus plumosus</i>	1996-07-12	水生所鱼池	19.0541(a sample)
	1996-09-15	后湖	18.5688(a sample)
	1996-041997-03	扁担塘	20.5748 ± 0.6521
背摇蚊 <i>C. dorsalis</i>	1996-09-03	华师大一水沟	22.8980 ± 0.1613
粗腹摇蚊一种 <i>Tanytus</i> sp.	1996-10-23	武汉东湖	18.7615 ± 0.5563
摇蚊一种 <i>Chironomus</i> sp	1996-04 至 1997-03	扁担塘	21.3648(a sample)
大红德永摇蚊 <i>Tokunagayusurika akamusi</i>	1996-04 至 1997-03	后湖、扁担塘	21.0994 ± 0.0247
前突摇蚊一种 <i>Procladius</i> sp.	1996-04 至 1997-03	后湖	22.3287(a sample)
菱跗摇蚊一种 <i>Clinotanytus</i> sp.	1996-04 至 1996-03	后湖、扁担塘	24.2448(a sample)
隐摇蚊一种 <i>Cryptochironomus</i> sp.	1996-04 至 1996-03	后湖	21.5429(a sample)

* 软体动物的能量密度指其软体部分干重的能量密度,以下各处同.经测定软体动物壳部分能量密度为 0.

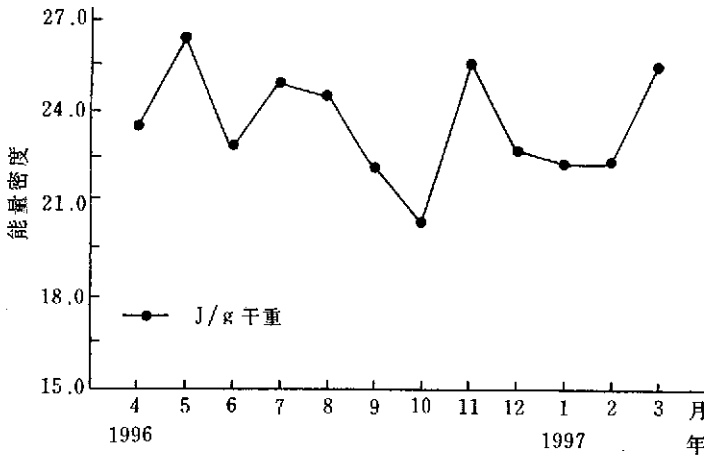


图1 霍雨水丝蚓能量密度的周年动态

Fig.1 Annual dynamics of energy density of *Limnodrilus hoffmeisteri*

值出现在冬季(12月和1月)这是由于在越冬过程中消耗大量贮存能量的缘故(图2)。

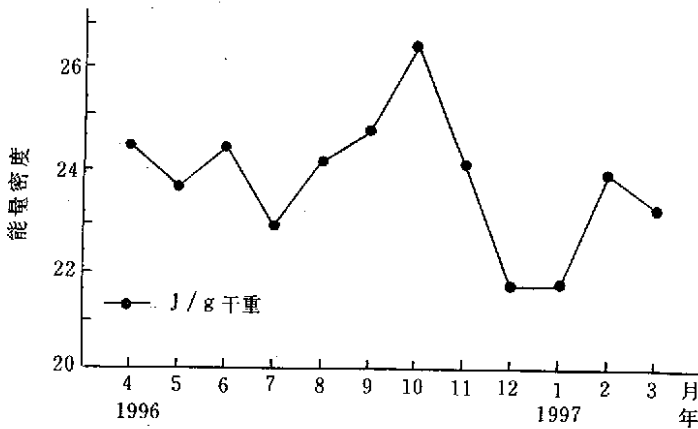


图2 苏氏尾鳃蚓能量密度的周年动态

Fig.2 Annual dynamics of energy density of *Branchiura sowerbyi*

由此可见,能量密度随季节变化而变化,其主要原因在于种群年龄结构变化,当年龄较大个体在种群结构中比例占优时,种群平均能量密度较大,反之亦然。越冬的影响,越冬期间,动物个体消耗了大量贮存脂肪,使种群平均能量密度下降而变小。

2.3 能量密度的年龄差异

研究了两个湖泊(武昌南湖、汉阳马沧湖)中铜锈环棱螺的能量密度与年龄的关系。对螺类而言,通常在某一时刻种群中个体大小基本上可以代表年龄的长短,因此以壳长大小表示该时刻的年龄大小。

2.3.1 武昌南湖铜锈环棱螺能量密度与年龄(体长)的关系 从表2可知,南湖铜锈环棱螺的能量密度与年龄(壳长)关系为:当壳长小于19 mm时,能量密度随壳长的增加而增大,刚出生不久的幼体能量密度为

15.5830kJ/g(干重);当壳长为 19–22 mm 时,能量密度达到最大,为 18.0856 kJ/g(干重);当壳长大于 22 mm 时,能量密度则随壳长的增加而减小。

表 2 武汉南湖铜锈环棱螺能量密度与年龄(体长)的关系

Tab.2 Relationship between energy density and age(size) of *Bellamya aeruginosa* in Lake Nanhu , Wuhan

年龄(壳长, mm)	4–10*	13–16	19–22	23–25(怀仔)	26–30
能量密度(kJ/g, 干重)	15.5830	16.6239 ± 0.2236	18.0856 ± 0.1777	17.2509 ± 0.3235	17.0419 ± 0.1175

* 因收集的标本有限,仅测定一个样本的能量密度。

2.3.2 武汉马沧湖铜锈环棱螺的能量密度与年龄(体长)的关系 从表 3 可知,马沧湖铜锈环棱螺的能量密度与年龄(体长)关系为:当体长小于 20 mm 时,能量密度随体长的增加而增大;当体长为 20–23 mm 时,能量密度达到最大,为 20.7244kJ/g(干重);当体长大于 23 mm 时,能量密度则随体长的增加而呈现减小的趋势。

表 3 武汉马沧湖铜锈环棱螺能量密度与年龄(体长)的关系

Tab.3 Relationship between energy density and age(size) of *Bellamya aeruginosa* in Lake Macanghu , Wuhan

年龄(体长, mm)	<12	13–15	17–20	20–23	25–27	>30
能量密度(kJ/g, 干重)	17.2509 ± 0.6186	17.8277 ± 0.4556	18.93561 ± 0.117	20.724 ± 0.268	19.069 ± 0.477	19.353 ± 0.230

由此说明,能量密度随年龄(壳长)的不同而存在差异,对铜锈环棱螺而言,幼体和衰老个体能量密度低于青壮年个体。

2.4 能量密度的地理差异

同一物种在不同地点的种群,其能量密度存在差异(表白)。如铜锈环棱螺在水生所鱼池、武昌南湖、汉阳马沧湖、罗田胜利镇一河道和扁担塘及后湖等地的种群平均能量密度分别为 18.099,16.916,19.278,18.099,16.967 kJ/g(干重)。其它物种如扁蚌一种、岩石蛾一种、小裳蜉等的能量密度不同地点亦不尽相同。因此,在精确计算及研究动物的能量学时,能量密度的地理差异不容忽视。

3 讨论

3.1 能量密度的测定

据统计迄今为止,已测定了数百种动物的能量密度^[1-3,6,7]。所有这些数据皆为国外测定,国内尚未见有报道。而我国的生物区系较为特殊,多数动物特别是无脊椎动物为我国所特有,其能量密度的测定是对国际同行工作完善和补充,也填补了国内这方面的空白。另外,测定我国动物的能量密度亦是在国内开展生物能量学研究所必须的。

上述底栖动物的能量密度与文献报道的范围(0.836–33.44kJ/g(干重))^[8]相吻合。

3.2 影响能量密度的因素

个体遗传因素、季节、年龄和地理分布等因素对生物能量密度均有不同程度的影响,这与 Bryan^[5]、Golley^[6]、Wieger^[7]的结论相类似。Bryan 讨论了几种肉食性鱼的能量密度与年龄和季节的关系,并认为在鱼类能量学的研究中,应当考虑这一重要影响。Paine 报道一种草食性螺(*Tegula funebris*)能量密度的年龄差异,与上述铜锈环棱螺(壳长大于 15 mm 时,多数个体性成熟)相似,幼体能量密度明显小于成体的。动物能量密度随地理分布的不同而呈现差异,可能与动物的生活环境、食物条件及个体本身遗传因素差异有关。

根据上述分析,在研究动物能量学时,需要考虑个体遗传因素、季节、年龄和地理分布等因素对能量密度的影响。

参 考 文 献

- 1 Slobodkin L B. Preliminary ideas for a predictive theory of ecology. *Amer. Naturalist*, 1961, **95**(876): 213 – 236
- 2 Jorgensen S E. Handbook of Environmental Data and Ecological Parameters. London : Pergamon Press , 1991. 262
- 3 Odum E P, Marshall S G, Marples T G. The caloric content of migrating birds. *Ecology*, 1965, **46**(6): 901 – 904
- 4 Paine R T. Ash and caloric determinations of sponge and opisthobranch tissues. *Ecology*, 1964, **45**: 384 – 387
- 5 Bryan S D, C A Soupir & W G Duffy, *et al.* Caloric densities of three predatory fishes and their prey in Lake Oahe, South Dakota. *J Freshwat Ecol*, 1996, **11**(2): 153 – 161
- 6 Golley F B. Energy values of ecological material. *Ecology*, 1961, **42**(3): 581 – 584
- 7 Jorgensen S E. Handbook of environmental data and ecological parameters. London Pergamon Press , 1979. 147
- 8 Ostapenya A P, Sergeev A I. The calorific values of dry matter in aquatic food invertebrates. *Vopr. Ikhtiol.*, 1963, **3**(1): 177 – 183
- 9 Wiegert R G. Ecological energetics. *Benchmark Papers in Ecology*. 1976, **4**: 1 – 457

Energy Densities of Macroinvertebrates in China

YAN Yunjun LIANG Yanling

(1 :School of Life Science and Technology , Huazhong University of Science and Technology , Wuhan 430074 , P. R. China ;
2 :Institute of Hydrobiology , Chinese Academy of Sciences , Wuhan 430072 , P. R. China)

Abstract

Energy densities of 72 species of macroinvertebrates in China were measured with microcalorimeter , among which 69 species were first calculated. The energy densities of oligochaetes were 22.99 – 25.08 kJ/g(dry weight) , those of molluscs were 16.72 – 22.99 kJ/g(dry weight) , and those of insects and their larvae varied markedly , with the range from 10.45 to 25.08 kJ/g(dry weight). The density of a species differs to some extent with the changes of season , locality and age.

Key Words Macroinvertebrates , energy density