

盐度对大型溞同化、代谢、增长及 碳收支的影响^{*}

杨弘诣 何志辉
(大连水产学院, 116023)

摘 要 在 20℃, 饲以小球藻的条件下, 用原子示踪方法, 研究了山西运城寨盐水体和吉林镇贡淡水鱼池两个大型溞 (*Daphnia magna*) 种群的幼溞和成溞在 1~7 的盐幅内的同化、代谢、增长和碳收支。当盐度从 1 升到 3 时, 山西溞和吉林成溞的同化速率达到高峰, 吉林幼溞在 2 时达高峰。而代谢速率则都在 2 时最低, 3 时最高。山西溞的增长速率以 3 时最高, 吉林溞则以 2 时最高。同时分析比较了不同盐度下两个种群溞的能量学参数, 表明在一定范围内盐度对大型溞的能量利用效率有促进作用。

关键词 大型溞, 同化, 代谢, 增长, 碳收支, 盐度

大型溞分布的盐幅很广, 在我国晋南地区分布的最高盐度为 13.6^[3]; 在西班牙为 30, 在阿尔及利亚高达 40^[5]。这说明这种溞具有很强的耐盐潜力, 经一定驯化很有希望在近岸半咸水或海水池塘中生长繁殖, 作为海水鱼虾苗发育后期的活饵料。为此笔者对不同海水盐度下大型溞的能量平衡进行了研究。

近年发展起来的生物能量学研究, 能全面地评价动物的摄食、增长、同化及代谢间的定量关系, 因而在动物的生长和育种研究中具有重要意义。本文用¹⁴C 示踪技术, 测定了不同盐度下大型溞的各项能量学指标, 以期为此种溞的海水驯化和选育提供一定的理论依据。

关于枝角类能量学的研究开展得较晚, 也不够系统深入。早期的研究主要测定温度、饵料和溞体大小对溞摄食和代谢的影响, 70 年代后 Lampert 和 Lynch^[7~12]等对枝角类的碳收支进行了有益的探讨, 迄今我国在这方面仍然是个空白。

1 材料和方法

1.1 材料

1990 年 5 月在山西运城一个盐度 4.8 的硫酸盐型水体中采到大型溞, 运回实验室分离培养单个雌体后代, 在 20±1℃, 自然光, 200~500 万细胞/毫升小球藻的条件下, 经 5 个月连续培养用于实验, 称为山西种群, 代号 SX。另一种群于同年 7 月采自吉林一个淡水鱼池,

收稿日期: 1995-11-24。

^{*} 国家自然科学基金资助项目 38970589 号。

按同样方法培养后用于实验,称为吉林种群,代号 JL。

1.2 方法

1.2.1 蚤体长—体重回归方程的建立 分别测定 120 个不同大小的 SX 的 JL 蚤之体长和体重,得回归方程为:

$$\text{SX: } \text{Lg}W = 2.2047\text{Lg}L - 0.7541 \quad (n=12, r=0.89, P<0.01)$$

$$\text{JL: } \text{Lg}W = 2.1407\text{Lg}L - 0.7081 \quad (n=12, r=0.98, P<0.01)$$

W: 蚤湿重 (mg) L: 蚤体长 (mm)

1.2.2 小球藻细胞含碳量及藻液浓度和藻液光密度值回归方程的确立 按 Mullin^[13]的方法,求得本实验用小球藻一个细胞的平均含碳量为 $1.59 \times 10^{-6} \mu\text{g C/cell}$ 。

对本实验用小球藻藻液浓度([alga], cell/ml), 和其光密度值(A)回归得方程:

$$\text{Lg[alga]} = 5.131 + 7.8568A \quad (n=8, r=0.99, P<0.01)$$

1.2.3 急性耐盐力实验 将不同发育阶段的大型蚤立即移至盐度 1~7 的海水中,结果 SX 蚤和 JL 成蚤生长正常, JL 幼蚤在 5 时未出现死亡,但在 6 时,6h 后有 30% 死亡。本实验设计盐度梯度为 1、2、3、5 和 7 或 6。

1.2.4 小球藻液的标记 取 1 000ml 0.16A (约 $4 \mu\text{g C/ml}$) 藻液, 3 000 转/分下离心 4 分钟,去上清液,重新悬浮到 P^{H} 8.0 含 ^{14}C 的新鲜培养液中,在比放射强度 $40 \mu\text{Ci}/100\text{ml}$, 20°C 下,荧光灯照射 16~20h,将上述标记藻液离心、洗涤 3 次,等量悬浮到 100ml 盐度为 1~7 的新鲜培养液中。测定喂食前后藻液的放射强度和光密度值,并按平均值进行计算。

1.2.5 同化速率的测定 在枝角类能量学研究中,通常用同化速率表示单位蚤干重在单位时间内同化的食物能量,用同化效率表示单位时间内蚤同化食物能量和食入能量之比。

取 200 个体长 $1.7 \pm 0.2\text{mm}$ 或 150 个体长 $2.9 \pm 0.2\text{mm}$ 的 SX 和 JL 大型蚤,等量置于盐度 1~7, 0.16A 的小球藻液中,适应 2h。然后按 10 个/瓶的密度,投放到 100ml 相应盐度的新鲜标记藻液中,弱光下喂食 1h 或 3h^[7]。尔后捞取蚤,将死亡和已排出粪例的个体剔除,用酒精杀死,自来水淋洗 10 分钟,将蚤转入同位素计数瓶,按 1ml/200mg 湿组织的比例加入组织溶解液 BTS-450, 60°C 恒温过夜,加闪烁液 PPO-bis-MSB-TritonX-100, 24h 后用 LS-5 801 型液体闪烁仪测定蚤之放射强度,淬灭校正由仪器自动完成。按 Rigler^[16]公式和 Lampert^[8]校正公式求出蚤 3h 和 1h 所滤取的藻量,两者相减再除 2 即为蚤的同化速率。Rigler 公式:

$$\text{FR} = 60\text{Dv} \cdot \text{C} \cdot \text{Wal} / \text{Da} \cdot \text{T} \cdot \text{N} \cdot \text{Wan}$$

FR: 摄食速率, (微克碳/毫克干重蚤·小时, $\mu\text{g C/mg dry tissue} \cdot \text{h}$)

Dv : 每瓶蚤的放射强度, (dpm). Wal: 1 个藻细胞含碳量, (μgC)。

Da : 1 毫升藻液的放射强度, (dpm). Wan: 1 个蚤的干重, (mg)。

C: 藻液浓度, (ind/ml); T: 喂食时间, (min); N: 每瓶蚤的个数, (ind)。

Lampert 公式: $\text{L1} = 0.473\text{T} - 1.423\text{C} - 0.131\text{W} + 12.05$

$$\text{L3} = 0.502\text{T} - 2.417\text{C} - 0.134\text{W} + 24.35$$

L1, L3: 实验期间蚤在 1 小时和 3 小时呼吸损失 ^{14}C 占摄食量的百分比。

T: 实验温度, $^\circ\text{C}$; C: 饵料密度, mg C/L ; W: 1 个蚤的含碳量, $\mu\text{g C/ind}$ 。

据 Lampert^[9]的材料,蚤状蚤 (*Daphnia pulex*) 在饵料密度超过 3mg C/L 时 L1 和 L3 不受 C 变化的影响,本实验将 C 取为 3mgC/L 进行计算。本实验用蚤的干湿比为 1:12.7。Lemcke and Lampert^[11]测得蚤状蚤的含碳量为其干重的 42%,本文引用这些数据计算。

1.2.6 代谢速率的测定 用 Winkler 法测得溞的呼吸耗氧率乘以系数 $0.3753 \mu\text{g C}/\mu\text{g O}_2^{[15]}$, 即得溞代谢速率值。

1.2.7 增长速率和碳收支 根据实验 5 和 6 的测定结果, 并引用王左等^[4]测得大型溞的摄食速率值, 按公式 $A=R+P$ 和 $C=A+Fu$ 即可得大型溞的增长速率和碳收支式。其中 C 为摄食, A 为同化, R 为代谢, P 为增长, Fu 为粪便和排泄。

表 1 大型溞的摄食、代谢、增长和同化速率及其同化效率

Table 1 The feeding rate, rate of metabolic expenditures production rate, assimilation rate and assimilation efficiency of *D. magna* ($\mu\text{g C}/\text{mg dry tissue} \cdot \text{h}$)

大型溞 <i>D. magna</i>	摄食速率 ^[4] Feeding rate		代谢速率 Rate of metabolic expenditures		增长速率 Production rate		同化速率 Assimilation rate		同化效率 Assimilation efficiency(%)		盐度 Salinity
	成溞 Adult	幼溞 Juvenile	成溞 Adult	幼溞 Juvenile	成溞 Adult	幼溞 Juvenile	成溞 Adult	幼溞 Juvenile	成溞 Adult	幼溞 Juvenile	
SX 大型溞	18.10	20.68	5.24	7.33	4.15	4.55	9.39	11.88	51.9	57.4	1
	18.20	23.39	4.53	6.57	9.06	10.49	13.59	17.06	74.7	72.9	2
	19.20	26.28	5.05	7.87	13.25	15.01	18.30	22.88	95.3	85.3	3
	16.69	17.95	4.73	7.65	11.30	12.30	16.03	19.95	96.0	111.1	5
	16.18	17.32	4.56	4.99	2.27	3.61	6.83	8.60	42.2	49.6	7
JL 大型溞	11.60	18.71	4.82	6.51	3.88	2.42	8.70	8.93	75.1	47.4	1
	12.70	21.07	3.93	4.92	5.65	6.68	9.57	11.60	75.3	55.1	2
	14.70	15.38	5.26	8.39	4.94	-0.19	10.20	8.20	69.4	--	3
	9.60	11.89	4.70	5.74	1.80	-0.34	6.50	5.40	67.8	--	5
	8.00	8.97	5.10	4.48	0.70	-3.96	5.80	0.52	72.5	--	6

2 结果与讨论

2.1 从表 1 可看出, 当盐度从 1 升到 7 时, 大型溞的同化速率上升后又下降。在盐度 3(JL 幼溞在 2)时溞的同化速率值最大, U 检验表明这时的同化速率较其它盐度时明显高($U > U_{0.005}$)。在 1~7 盐幅内, SX 和 JL 溞的同化与盐度的关系存在明显差异($U > U_{0.005}$), 随盐度升高时, 同化速率值之差也增加, 这说明两者的耐盐力不同。

从表 1 可见, SX 和 JL 溞的同化速率为 $6 \sim 22 \mu\text{g C}/\text{mg dry tissue} \cdot \text{h}$ 。Lynch et al^[12]测得四种溞属的同化速率为 $8 \sim 48 \mu\text{g C}/\text{mg dry tissue} \cdot \text{h}$, Lampert 总结了溞属的同化速率多在 $5 \sim 50 \mu\text{g C}/\text{mg dry tissue} \cdot \text{h}$ 之间, 本实验结果与之一致。

2.2 从表 1 可见, 盐度 1 时 SX 和 JL 溞的代谢速率为 $4.5 \sim 7.3 \mu\text{g C}/\text{mg dry tissue} \cdot \text{h}$, 这和 Obreshkova^[14]在淡水中测得的结果相近。Kersting^[6]和 Lampert & Bohert^[10]的结果分别为 3.75 和 $3.60 \mu\text{g C}/\text{mg dry tissue} \cdot \text{h}$ 。但 Kersting 的实验温度为 16°C , 考虑到温度的影响^[6], 本实验的结果应该和 Kersting 的很接近。

2.3 从表 2 看出, 当盐度超过 3 时, JL 幼溞为负增长, 表明这时的环境已不适该溞的生长; 盐度 5 时 SX 幼溞的 Fu 为负, 应是实验误差造成的, 这和操作过程及所选溞的生理状态有关, 这种现象在其他作者的研究中也有发生^[9, 12]。

2.4 盐度从 1 升到 2 时, SX 和 JL 溞的代谢速率降低, 而摄食和同化速率都升高, 这表明此盐度利于溞的生长, 溞用于调节水盐代谢的能量支出减少。盐度从 2 升到 3 时两个种群溞

对盐度变化的反应出现差异:(1)JL 幼蚤在盐度 3 时已不适宜其生长,为了保持正常体液渗透压,必须额外消耗能量,导致代谢速率升高,而摄食和同化速率都迅速下降,增长为负。(2)SX 种群来源于寡盐水体,耐盐力强,随盐度升高,其代谢、摄食、同化和增长都达最大值。(3)JL 成蚤的耐盐力介于两者之间,其能量学参数也介乎两者之间,此盐度其同化和代谢达最大值。但增长速率仍有所下降。

表 2 不同盐度下 SX 和 JL 蚤的碳收支

Table 2 The carbon budget of SX and JL *D. aphnia* on salinity

盐度 Salinity	大型蚤 <i>D. magna</i>	摄食 C	代谢 R	增长 P	粪便、排泄 Fu	大型蚤 <i>D. magna</i>	摄食 C	代谢 R	增长 P	粪便、排泄 Fu
1	SX 成蚤 SX Adult	100	27.9	24.0	48.1	JL 成蚤 JL Adult	100	41.6	33.1	24.9
2		100	24.0	49.8	25.3		100	30.9	44.4	24.7
3		100	28.2	67.1	4.7		100	35.8	33.6	30.6
5		100	28.3	67.7	4.0		100	49.0	18.8	32.2
7		100	28.2	14.0	57.8		100	63.9	8.6	27.5
1	SX 幼蚤 SX Juvenile	100	35.5	22.0	42.6	JL 幼蚤 JL Juvenile	100	34.8	12.9	52.3
2		100	27.9	45.0	27.1		100	23.6	31.5	44.9
3		100	29.3	56.0	14.7		100	54.6	-2.2	47.6
5		100	42.6	68.5	-11.1		100	48.3	-2.9	54.6
7		100	28.8	20.8	50.4		100	49.9	-44.1	94.2

表 3 枝角类的几个能量学参数

Table 3 Some energetics parameters of Cladocera

盐度 Salinity	枝角类 Cladocera	P/C (K1)	P/A (K2)	P/R	盐度 Salinity	枝角类 Cladocera	P/C (K1)	P/A (K2)	P/R	作者 Author
1	山西大型蚤成蚤 SX <i>D. magna</i> Adult	24.0	46.3	86.0	1	山西大型蚤幼蚤 SX <i>D. magna</i> Adult	22.0	38.3	62.1	本文作者 This paper
2		49.8	66.7	200.0	2		45.0	61.7	61.3	
3		67.1	70.4	237.9	3		56.0	65.7	191.1	
5		67.7	70.5	239.2	5		68.5	61.7	160.8	
7		14.0	33.2	49.6	7		20.8	41.9	72.2	
1	吉林大型蚤成蚤 JL <i>D. magna</i> Adult	33.1	44.1	79.6	1	吉林大型蚤幼蚤 JL <i>D. magna</i> Juvenile	12.9	27.0	37.1	本文作者 This paper
2		44.4	59.0	113.7	2		31.5	57.2	33	
3		33.6	48.4	93.9	淡水		10-17	56-73	--	
5		18.8	27.7	38.4	Fresh		25-32	60-64	--	
6		8.6	11.9	14.5	water					
淡水 Fresh	老年低额蚤成蚤 <i>Simocephalus</i> <i>retulus</i> Adult	20.0	64.6	—	淡水 Fresh Water	老年低额蚤幼蚤 <i>S. retulus</i> Juvenile	52.9	73.1	—	Kleto wski ^[2] 1970

从表 3 可见,在 1~7 的盐幅内,随着盐度的升高,大型蚤的代谢速率增加,同时增长速率也增加,代谢速率高的种群其增长率也高。近年 Jobling 提出“高的生长率必然伴随高的代谢率”的新观点^[1],本实验的结果支持了 Jobling 的观点。这一观点在生长和育种中具有重要意义。但目前关于枝角类方面的比较研究很少,要得出确切的结论仍需作大量工作。从增长速率和能量效率来看,3~5 为 SX 蚤的最适生长盐度,JL 则为 2。

盐度 1 时大型蚤的 K_1 、 K_2 范围分别为 13~33% 和 27~46%,这和其他作者在淡水中测

得的结果基本吻合^[2](见表3)。综合来看,枝角类的 K_1 、 K_2 值分别在 20~40% 和 40~70% 之间,而 P/R 当代谢性质变化时,会有很大变化。

3 结语

3.1 在 1~7 盐度范围内,大型溞的摄食和同化有一个峰值,盐度为 3 时寡盐种群(SX)的摄食速率和同化速率达峰;淡水种群(TL)成溞盐度 3 时达峰值,幼溞则在盐度 2 时达峰值。

3.2 盐度变化时,大型溞两种群代谢速率的变化趋势一致。

3.3 寡盐种群大型溞(SX)的增长速率在盐度 3 时最高,淡水种群(JL)则在 2 时最高。

3.4 寡盐种群大型溞的同化效率 K_1 、 K_2 均在盐度 3~5 时最高,淡水种群约在 2 时最高。

3.5 寡盐种群大型溞的同化、代谢、增长和能量利用效率等指标均高于淡水种群。

总之,在 1~5 盐度范围内,盐度升高对 SX 和 JL 溞的摄食、同化、代谢、增长和能量利用效率等各项生理机能都有积极促进作用。淡水种群的最适盐度为 2,寡盐种群为 3~5,与其原栖地盐幅接近。鉴于寡盐种群各项指标均高于淡水种群,可见大型溞对海水盐度有较强的适应能力,如前所述,大型溞原栖地的最高盐度高达 40,说明这种溞在遗传基因上有很大的耐盐潜力,如经长期定向驯化,很有希望在半咸水或海水中生长繁殖,在海水鱼虾类养殖中,作为继褶皱臂尾轮虫和卤虫幼体之后新的活饵料源,以弥补卤虫资源的不足。

参 考 文 献

- [1] 崔奕波, 1989. 鱼类生物能量学的理论与方法. 水生生物学报, 13(4): 369 - 383.
- [2] 何志辉, 1985. 淡水生物学, 下册, 117. 农业出版社.
- [3] 何志辉等, 1989. 晋南和银川地区盐水和超盐水体的浮游生物. 水生生物学报, 13(1): 24 - 27.
- [4] 王左等, 1991. 盐度对大型溞摄食的影响. 大连水产学院学报, 6(2): 13 - 20.
- [5] Hammer, U. T., 1986, Saline Lake Ecosystem of the world Dr. W. Jank publishers.
- [6] Kersting, K. and v. d. Leeuw, w., 1973. The use of Coulter counter for measuring the feeding rates of *Daphnia magna*. (In:) Kersting, K. L.; Het energic verloop in een *D. magna* populatie. - PH. D. Thesis Univ. Amsterdam.
- [7-9] Lampert, W., 1977a, b, c. Studies on the carbon balance of *Daphnia pulex* de Geen as related to environmental conditions. 1. Methodological problem of the use of ^{14}C for the measurement of carbon assimilation. 2. The dependence of carbon assimilation of animal size, temperature, food concentration and diet species. 3. Production and production efficiency. Arch. Hydrobiol. Suppl., 48: 287 - 360.
- [10] W. R. Boohret, 1984. Effect on food availability on the respiratory quotient of *Daphnia magna* Comp. Biochem Physiol. 78: 221 - 224.
- [11] Lemcke, H. W. and Lampert, W., 1975. Veränderungen in Gewicht und chemischen Zusammensetzung von *Daphnia pulex* in Hunger. Arch. Hydrobiol., Suppl. 48(1): 108 - 137.
- [12] Lynch, W. L. J. Weiher and W. Lampert, 1986, Measurement of the carbon balance in *Daphnia*. Limnol. Oceanogr. 31: 17 - 33.
- [13] Mullin M. M. and P. R. Sloan, and R. W. Eppliy, 1966. Relationship between carbon and cell volume in phytoplankton. Limnol. Oceanogr. 11: 307 - 311.
- [14] Obreshkove, N., and Abramowitz, A., 1932. Temperature characteristics for the oxygen consumption of Cladoceran. J. Cellular Comp. Physiol., 2: 113 - 139.
- [15] Porter, K. G. J. Gerritsen, and J. D. Orcutt, Jr., 1982. The effect of food concentration on swimming patterns, feeding behavior, ingestion, assimilation by *Daphnia pulex*. Ecol. Monogr., 28: 273 - 291.
- [16] Rigler, E. H., 1971. The feeding rates: Zooplankton p. 227 - 255. Int. T. Edmonds and G. G. Winberg (eds) sec-

- odary productivity in fresh water. IBP. Handbook. 17. Blackwed.
- [17] Schindler, D. W., 1968. Feeding, assimilation and respiration rate of *Daphnia magna* under various environmental conditions and their relation to production estimate. J. Animal. Ecol., 37:369-385.

THE EFFECT OF SALINITY ON ASSIMILATION, METABOLISM, GROWTH AND CARBON BUDGET OF *DAPHNIA MAGNA*

Yang Hongyi He Zhihui

(Dalian Fisheries College, Dalian 116023)

ABSTRACT The effects of salinity on the assimilation rates, respiration rates and carbon budgets of two populations of *Daphnia magna*, which were caught from 1: a fresh water pool (JL) and 2: a 4.83 salinity lake (SX) were studied under 5 gradients (1-7) of salinity in laboratory when the water temperature was 20°C and the food was *Chlorella* sp. Short term measurements of assimilative and metabolic rates of *Daphnia* confirmed that the relationship between salinities and net carbon intakes were parabolic. The net carbon intake of SX *Daphnia* went to its highest value at 3 salinity, and JL *Daphnia* at 2 salinity. The assimilative rates, respiratory rates and production rates of SX *Daphnia* were higher than those of the JL *Daphnia*. The results showed that the salinity stimulate the growth and reproduction of *Daphnia magna*. It suggests that *Daphnia magna* may survive well in sea water and become a kind of high quality food of marine animals.

KEYWORDS *Daphnia magna*, Assimilation, Metabolism, Growth, Carbon budget, Salinity