

太平洋牡蛎三倍体与二倍体 特殊动力代谢的比较*

周一兵 李晓艳 屈英 宋坚 张国范[†]

(大连水产学院 农业部海洋水产增养殖生态学重点开放实验室 大连 116023)

[†](中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 采用耗氧强度测定法,对太平洋牡蛎三倍体和二倍体代谢进行比较研究。结果表明,在不同温度下,2n 标准代谢(S_M)占常规代谢(有饵料条件下, $R_f M$)的比例平均为 85.7% (82.6%—91%),高于 3n 的 78.4% (72%—84.3%);2n 因摄食所耗机械代谢变动于 $R_f M$ 的 2.6%—6.7%,平均值为 4.3%,低于 3n 的 8% (4.9%—13.6%);同时,2n 用于消化、吸收食物的代谢平均约占 $R_f M$ 的 9.98%,低于 3n 的均值 12.6%。经协方差分析检验,倍性对标准代谢、消化和吸收代谢及摄食代谢虽未表现出显著作用,但在不同生理状况下,2n 耗氧率的均值都高于 3n。在 20℃ 下,对太平洋牡蛎 2n 和 3n 标准代谢和常规代谢(无饵料条件下, R_M)的昼夜周期性比较表明,3n 的特殊动力代谢(SDA)峰值略高于 2n, SDA 持续时间和总耗能分别为 2n 的 1.3 倍和 0.80 倍。实验还表明,2n 和 3n 在停食后 28h 和 24h 分别达到其排氮率的高峰,两者的排氮率差异虽不显著,但排氮率均值 3n 高于 2n。

关键词 太平洋牡蛎,三倍体,特殊动力代谢,标准代谢,常规代谢

中图分类号 Q789

太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*)是我国北方海域的重要养殖对象。目前,贝类养殖的困境主要是种质资源衰退、动物抗逆能力下降;同时,海域养殖过度、养殖自身污染、适时饵料不足(张涛等,2000)、赤潮频发(吴玉霖等,2001)和病害大规模流行(王运涛等,1999)等外在因素更是严重地制约了贝类养殖业可持续发展。因此,在我国海区养殖环境总体恶化的背景下,通过三倍体来改良贝类的种质资源状况,可在一定程度上改善贝类养殖产业所面临的问题。太平洋牡蛎三倍体研究近年在我国取得了很大的进展,产业化发展十分迅速,并形成了一定的生产规模。揭示三倍体贝类倍性效应及其与二倍体的区别具有一定的理论和实践意义。

呼吸代谢是生物能量学研究中的重要内容。其中,关于特殊动力代谢的研究,目前在鱼类已经积累了许多资料(谢小军等,1991),并且,在贝类中也观察到这一现象(Bayne *et al.*, 1977),但是,对于贝类进行系统、深入地研究,尤其是关于贝类三倍体与二倍体的比

* 国家海洋“863”课题资助项目,863-819-01-04号。周一兵,男,出生于1957年8月,教授, E-mail: ybzhou@mail.dlptt.ln.cn

收稿日期:2001-12-17,收修改稿日期:2002-04-10

较, 现在尚无报道。本文对太平洋牡蛎三倍体(3n)与二倍体(2n)特殊动力代谢的形成、起始时间、持续时间、峰值和总耗能量进行了比较和探讨, 为阐明3n的能量利用对策和代谢调节机理提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验所用太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*)取自大连红星养殖场, 于实验室恒温水槽中进行温度驯化: 由自然水温开始每天升高1℃直到所需实验温度(20℃), 盐度为31.5。实验贝规格4.2—10.6cm, 在实验温度下培养2—3周后开始实验。驯化期间每日全换水一次, 投喂新月菱形藻(*Nitzschia closterium*)三次, 使培养水体藻浓度保持在 6×10^4 cell/ml。

1.2 方法

1.2.1 倍性鉴定 应用PARTEC PAS-III流式细胞仪鉴定牡蛎倍性。

1.2.2 耗氧率周期性变化的测定方法 将饱食2h和饥饿2d的牡蛎按照倍性分别分为两组, 每组16只, 设置两个平行实验。采用流水式呼吸室测定标准代谢和常规代谢的昼夜周期变化, 分别记为 S_tM 和 RM 。流水式呼吸室结构装置见图1, 为保证呼吸室中溶氧均匀, 采用水样混匀瓶。

每隔2h测定入水口与出水口溶氧量, 连续监测36h。溶氧用碘量法测定。耗氧率的计算:

$$OC = [(DO_1 - DO_2) \times v] / DW \cdot t$$

式中, OC 为耗氧率[mg/(g·h)]; DO_1 为入水口处溶氧含量(mg/L); DO_2 为呼吸室出水口处溶氧含量(mg/L); v 为流速(L/h); DW 为牡蛎软体部干重(g); t 为采样间隔时间(h)。

实验结束后, 测定壳长, 称取活体重和软体部干重。

1.2.3 排氨率周期性变化的测定方法 排氨率测定与耗氧率同步进行, 同时设置空白对照; 每隔4h测定排氨量, 连续监测36h。氨氮用奈氏法测定。

排氨率的计算:

$$AE = (N_t V_t - N_0 V_0) \times V / DW \cdot t$$

式中, AE 为排氨率[$\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$]; N_t 为实验瓶水样 $\text{NH}_4\text{-N}$ 变化量($\mu\text{g}/\text{L}$); N_0 为空白瓶的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 变化量($\mu\text{g}/\text{L}$); V 为实验水体积(L); DW 为实验贝干肉重(g); t 为采样间隔时间(h)。

1.2.4 不同摄食状态下太平洋牡蛎耗氧率和排氨率的测定方法 将牡蛎按照倍性分为两组, 每组90只, 按照Nanarro(1982)的方法, 分别测定其在5℃、10℃、15℃、20℃和25℃下的标准代谢、无饵料条件下的常规代谢和有饵料条件下的常规代谢, 分别记为 S_tM 、 RM 和 R_fM : (1) S_tM : 待牡蛎饥饿2d后, 放入封闭式呼吸室中测定无饵料条件下的耗氧率; (2)

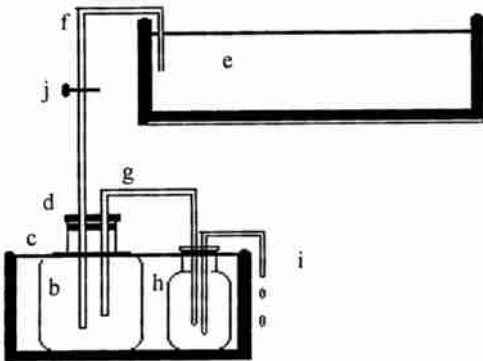


图1 流水式耗氧测定装置结构原理图

Fig. 1 Diagram of the oxygen determining apparatus by flowing water system

- a. 恒温水箱; b. 呼吸室; c. 呼吸室开口;
d. 呼吸室密封盖; e. 高位水槽;
f. 进水管; g. 出水管; h. 水样混匀瓶;
i. 取水样管; j. 螺旋止水夹

RM: 将饱食 2h 后的牡蛎放入封闭式呼吸室中测定无饵条件下的耗氧率; (3) *R_fM*: 将牡蛎分别置于用黑油漆涂黑遮光的封闭式呼吸室中, 呼吸室中饵料浓度为 6×10^4 cell/ml, 测定牡蛎在有饵状态下的耗氧率。以上各组均设置对照组。

封闭式耗氧率的计算:

$$OC = (O_i V_i - O_0 V_0) / DW \cdot t$$

式中, *OC*、*DW*、*t* 和 *V* 定义同前; *O_i* 为实验瓶水样溶解氧变化量(g/L); *O₀* 为空白瓶的溶解氧变化量(g/L)。

2 结果

2.1 牡蛎在不同生理状况下的耗氧率

太平洋牡蛎 2n 和 3n 在三种不同生理状况下的耗氧率随温度变化的结果见表 1。

表 1 太平洋牡蛎 2n 和 3n 在不同温度下耗氧率与生理状况的关系

Tab.1 The relationship between oxygen consumption and physiological condition of diploid and triploid oysters in different temperature

温度 (°C)	规格		耗氧率[mgO ₂ /(g·h)]					
	倍性	(软体部干重, mg)	标准代谢 (<i>S_fM</i>)	<i>S_fM</i> / <i>R_fM</i> (%)	常规代谢 (无饵) (<i>RM</i>)	(<i>RM-S_fM</i>) / <i>R_fM</i> (%)	常规代谢 (有饵) (<i>R_yM</i>)	(<i>R_yM-RM</i>) / <i>R_fM</i> (%)
25	2n	837	0.437	93.98	0.459	4.73	0.465	1.29
		670	0.498	88.61	0.546	8.54	0.562	2.85
		516	0.567	88.87	0.630	9.87	0.638	1.25
		503	0.684	96.88	0.698	1.98	0.706	1.13
		346	0.997	87.92	1.085	7.76	1.134	4.32
		330	0.796	88.44	0.857	6.78	0.900	4.78
		533.67±177.27	0.663±0.190	90.78±3.40	0.713±0.21	6.61±2.60	0.73±0.22	2.60±1.50
	3n	680	0.425	92.39	0.450	5.43	0.460	2.17
		670	0.410	86.50	0.451	8.65	0.474	4.85
		558	0.498	78.80	0.564	10.44	0.632	10.76
		400	0.782	84.09	0.885	11.08	0.930	4.84
		348	0.702	82.49	0.780	9.17	0.851	8.34
		321	0.806	81.66	0.853	4.76	0.987	13.58
		496.17±147.04	0.603±0.165	84.32±4.30	0.664±0.182	8.26±2.38	0.722±0.211	7.42±3.89
20	2n	670	0.379	86.9	0.408	6.7	0.436	6.4
		674	0.280	81.6	0.340	17.5	0.343	0.9
		560	0.403	78.7	0.498	18.6	0.512	2.7
		397	0.682	86.7	0.767	10.8	0.787	2.5
		350	0.588	82.4	0.642	7.6	0.714	10.1
		320	0.668	79.2	0.809	16.7	0.843	4
		495.17±146.14	0.500±0.154	82.58±3.24	0.577±0.176	12.98±4.81	0.605±0.186	4.43±3.04
	3n	840	0.263	74.08	0.329	18.59	0.355	7.32
		667	0.385	84.62	0.443	12.75	0.455	2.64
		520	0.525	86.21	0.596	11.66	0.609	2.13
		500	0.448	75.17	0.512	10.74	0.596	14.09
		350	0.737	81.89	0.874	15.22	0.900	2.89
		327	0.590	74.12	0.724	16.83	0.796	9.05
		534±177.66	0.491±0.151	79.35±5.06	0.580±0.180	14.30±2.82	0.619±0.186	6.35±4.31

续表

温度 (°C)	规格 倍性 (软体部干 重, mg)	耗氧率[mgO ₂ /(g·h)]						
		标准代谢 (<i>S_IM</i>)	<i>S_IM</i> / <i>R_fM</i> (%)	常规代谢 (无饵) (<i>RM</i>)	(<i>RM-S_IM</i>) / <i>R_fM</i> (%)	常规代谢 (有饵) (<i>R_fM</i>)	(<i>R_fM-RM</i>) / <i>R_fM</i> (%)	
15	2n	844	0.271	83.90	0.306	10.84	0.323	5.26
		672	0.259	82.75	0.305	14.70	0.313	2.56
		518	0.344	90.53	0.361	4.47	0.380	5.00
		503	0.326	78.74	0.382	13.53	0.414	7.73
		347	0.508	82.74	0.591	13.52	0.614	3.75
		331	0.481	91.27	0.518	7.02	0.527	1.71
	535.83±179.13	0.365±0.097	84.99±4.48	0.411±0.108	10.68±3.75	0.429±0.109	4.33±1.97	
15	3n	682	0.197	84.55	0.230	14.16	0.233	1.29
		671	0.222	76.55	0.277	18.97	0.290	4.48
		555	0.205	76.21	0.250	16.73	0.69	7.06
		403	0.320	91.43	0.335	4.29	0.350	4.29
		317	0.459	83.00	0.512	9.58	0.553	7.41
			525.6±144.92	0.281±0.100	82.35±5.64	0.321±0.102	12.75±5.26	0.423±0.172
10	2n	1020	0.172	98.85	0.173	0.57	0.174	0.57
		731	0.194	87.00	0.215	9.42	0.223	3.59
		683	0.275	80.41	0.316	11.99	0.342	7.60
		480	0.360	86.54	0.414	12.98	0.416	0.48
		341	0.294	75.38	0.376	21.03	0.390	3.59
			651±232	0.259±0.069	85.64±7.87	0.299±0.092	11.20±6.58	0.309±0.095
	3n	1020	0.143	67.45	0.193	23.58	0.212	8.96
		820	0.167	76.26	0.191	10.96	0.219	12.79
		752	0.153	73.21	0.190	17.70	0.209	9.09
		663	0.154	68.75	0.163	4.02	0.224	27.23
		390	0.300	86.71	0.312	3.47	0.346	9.83
			302	0.206	60.06	0.316	32.07	0.343
	657.83±246.55	0.187±0.054	72.07±8.26	0.228±0.062	15.30±10.34	0.259±0.061	12.63±6.70	
5	2n	1016	0.112	91.80	0.116	3.28	0.122	4.92
		725	0.139	90.26	0.149	6.49	0.154	3.25
		684	0.244	90.37	0.263	7.04	0.270	2.59
		546	0.123	75.46	0.143	12.27	0.163	12.27
		477	0.287	85.16	0.320	9.79	0.337	5.04
			341	0.214	73.54	0.255	14.09	0.291
		631.5±214.05	0.187±0.066	84.43±7.34	0.208±0.075	8.83±3.65	0.223±0.080	6.74±4.04
	3n	1016	0.108	74.67	0.130	12.00	0.150	13.33
		815	0.165	85.05	0.179	7.22	0.194	7.73
		754	0.126	70.00	0.148	12.22	0.180	17.78
		668	0.121	75.63	0.139	11.25	0.160	13.13
		389	0.223	87.11	0.233	3.91	0.256	8.98
		304	0.110	52.38	0.166	26.67	0.210	20.95
	656±245	0.142±0.041	74.14±11.40	0.166±0.034	12.21±7.12	0.192±0.035	13.65±4.61	

由表 1, 将倍性和温度设置为因素变量, 体重为协变量, 分别对牡蛎标准代谢 ($S_I M$)、无饵料条件下的常规代谢 (RM) 和有饵料条件下的常规代谢 ($R_f M$) 进行单因变量协方差分析。结果表明, 温度、体重对 $S_I M$ ($F_t = 37.100$, $P < 0.001$; $F_w = 44.811$, $P < 0.001$)、

RM ($F_t = 35.516$, $P < 0.001$; $F_w = 51.997$, $P < 0.001$) 和 $R_f M$ ($F_t = 30.462$, $P < 0.001$; $F_w = 50.794$, $P < 0.001$) 均产生极显著的影响; 而倍性对三种代谢类型均未表现出显著作用, 但在不同生理条件下, 2n 耗氧率的均值都高于 3n (表 2)。

在不同温度下, 牡蛎 2n 和 3n 不同代谢组分占 $R_f M$ 的比例见表 1。由表 1 可知, 在不同温度下, 2n $S_t M$ 占 $R_f M$ 的比例平均为 85.7% (82.6%—91%), 高于 3n 的 78.4% (72%—84.3%); 2n 用于消化、吸收食物的代谢 ($RM-S_t M$) 平均约占 $R_f M$ 的 9.98%, 极值为 6.6%—12.9%, 低于 3n 的 12.6% (8.3%—15.3%); 2n 因摄食的机械所耗 ($R_f M-RM$) 变动于 $R_f M$ 的 2.6%—6.7%, 平均值为 4.3%, 低于 3n 的 8% (4.9%—13.6%)。将倍性设为因素变量, 温度为协变量, 检验表明, 牡蛎 $S_t M$ ($F_p = 11.765$, $P < 0.05$; $F_t = 6.242$, $P < 0.05$) 和摄食的机械所耗 ($F_p = 7.489$, $P < 0.05$; $F_t = 10.038$, $P < 0.05$) 在 $R_f M$ 中的比重均受到倍性和温度的显著影响, 但倍性对 RM 的影响不显著。

表 2 不同生理状况下牡蛎 2n 和 3n 代谢的比较

Tab. 2 Comparison of diploids with triploids in different physiological condition

项目	倍性	均值 [mgO ₂ /(g·h)]	标准误	95% 置信区间	
				最小值	最大值
$S_t M$ (标准代谢)	2n	0.390	0.017	0.356	0.425
	3n	0.346	0.017	0.311	0.381
RM (常规代谢, 无饵)	2n	0.437	0.019	0.399	0.474
	3n	0.399	0.019	0.361	0.437
$R_f M$ (常规代谢, 有饵)	2n	0.458	0.021	0.416	0.499
	3n	0.447	0.021	0.405	0.488

注: 协方差分析模型的估算: 软体部干重 = 567.15mg

2.2 2n 和 3n 牡蛎标准代谢和常规代谢昼夜变化的比较

在 20℃ 下, 太平洋牡蛎 2n 和 3n $S_t M$ 和 RM 的昼夜周期性变化见图 2a、b。

由图 2 可见, 2n 和 3n 的 RM 分别在停食后 14h 和 18h 达到峰值, 为各自在该期间 $S_t M$ 的 7.3 倍和 4.6 倍。相比之下, 2n 和 3n 的 $S_t M$ 在实验期间波动平稳, 均处于较低的水平; 并且 2n 在凌晨 4 时, 3n 在凌晨 6 时出现最低值, 这可能与牡蛎在清晨 6—8 时生理性闭壳有关。

根据图 2 的数据, 利用 t 值检验, 将 2n 的 $S_t M$ 和 RM 分别与 3n 进行比较, 结果表明, 2n $S_t M$ 和 RM 的均值与 3n 未见显著差异, 但无论 $S_t M$ 亦或 RM , 2n 的均值都高于 3n (表 3)。

表 3 牡蛎 2n 标准代谢和常规代谢与 3n 的比较 (t 检验)

Tab. 3 The comparison of $S_t M$ and RM of diploids with those of triploids (t -test)

项目	倍性	样本数量	均值 [mgO ₂ /(g·h)]	标准差	标准误均值
标准代谢	2n	17	0.172682	6.31496E-02	1.53160E-02
	3n	17	0.149071	2.72979E-02	6.62071E-03
常规代谢	2n	17	0.302459	0.120235	2.91612E-02
	3n	17	0.287988	0.115444	2.79992E-02

表4为2n和3n牡蛎特殊动力代谢(SDA)的主要参数;由图2,将2n和3n摄食后出现的耗氧率波峰分别对时间回归,两者SDA随时间变化的规律可分别由如下方程表达:

$$2n \text{ OC} = 0.1581 + 0.1114t - 0.0091t^2 (R^2 = 0.961; F = 49.04; P = 0.002)$$

$$3n \text{ OC} = 0.1520 + 0.1548t - 0.0216t^2 + 0.0008t^3 (R^2 = 0.888; F = 13.25; P = 0.008)$$

式中,OC为耗氧率[$\text{mgO}_2/(\text{g}\cdot\text{h})$]; t 为SDA持续时间(h)。由上述方程对时间积分,并根据氧热系数,可分别得到2n和3nSDA的总耗能分别为28.660J和22.832J。

表4 2n和3n牡蛎SDA的主要参数

Tab. 4 Main parameters of SDA of diploid and triploid

倍性	组别	干肉重(g)	起始时间(h)	持续时间(h)	峰值 [$\text{mgO}_2/(\text{g}\cdot\text{h})$]	总耗能(J)
2n	2	1.69 ± 0.08	食后(8±3)h	12±1	食后(14±1)h 0.4958 ± 0.0013	28.660 ± 2.87
3n	3	1.68 ± 0.34	食后(12±2.5)h	16±2.5	食后(18±1.5)h 0.5032 ± 0.0021	22.832 ± 4.36

2.3 2n和3n牡蛎不同生理状况下排氨率昼夜变化的比较

20℃时,两种倍性牡蛎在不同生理条件下排氨率周期性变化见图3a、b。由图3可知,饱食后,2n和3n牡蛎的排氨率分别在28h和24h达到其最高峰,为各自在饥饿状态下个体排氨率的1.8倍(2n)和1.9倍(3n)。

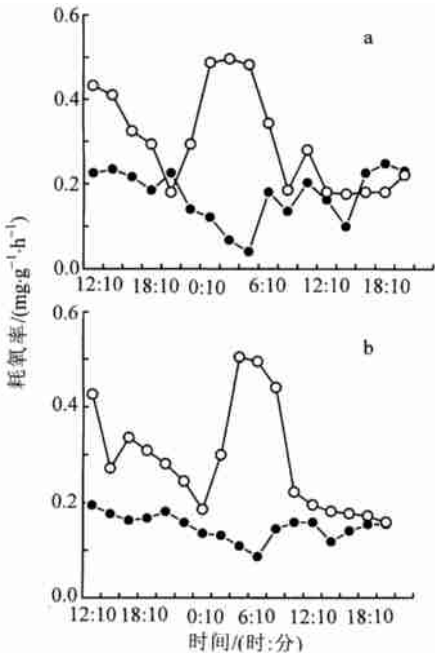


图2 2n牡蛎(a)和3n牡蛎(b)不同生理条件下耗氧率周期性变化

Fig. 2 The long-term changes of oxygen consumption of diploid (a) and triploid (b) in different physiological condition
—●— 标准代谢; —○— 常规代谢

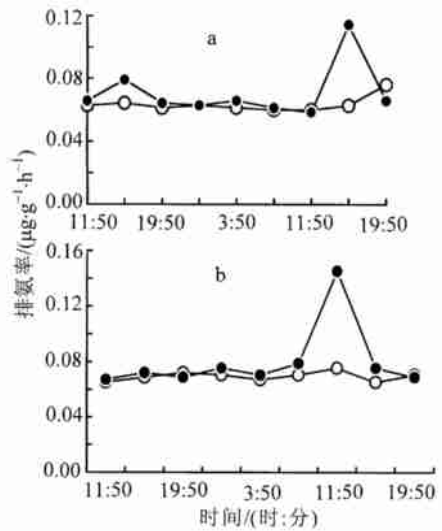


图3 2n牡蛎(a)和3n(b)牡蛎在不同生理条件下的排氨率昼夜变化

Fig. 3 The period changes of ammonia excretion of diploids (a) and triploids (b) in different physiological condition
—○— 饥饿状态; —●— 摄食后状态

根据图 3 数据, 分别将不同生理状况下 2n 的排氨率与 3n 进行 t 值检验。结果表明, 在饥饿状态下, 倍性对排氨率影响极显著 [Sig (2-tailed) = 0.006 < 0.01]; 而在饱食后, 两者的排氨率差异不明显。但无论何种生理状态, 3n 的排氨率均值都高于 2n (表 5)。

表 5 在不同生理状态下牡蛎 2n 和 3n 排氨率的比较 (t 检验)

Tab 5 The comparison of ammonia excretion of diploid with triploid in different physiological condition

项目	倍性	样本数量	均值 [$\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$]	标准差	标准误均值
饥饿状态	2n	9	6.34667E-02	4.95555E-03	1.65185E-03
	3n	9	6.96889E-02	3.23784E-03	1.07928E-03
摄食后状态	2n	9	7.08667E-02	1.73342E-02	5.77807E-03
	3n	9	8.04111E-02	2.46303E-02	8.21011E-03

由图 3, 将 2n 和 3n 摄食后出现的排氨率 [AE, $\mu\text{gNH}_4/(\text{g}\cdot\text{h})$] 波峰分别对时间 (t, h) 回归, 两者随时间变化的规律可分别由如下方程表达:

$$2n \quad AE = 0.0138 + 0.0639t^2 - 0.0194t^3 \quad R^2 = 1.0000$$

$$3n \quad AE = 0.0241 + 0.0794t^2 - 0.0246t^3 \quad R^2 = 1.0000$$

由上述方程对时间积分, 可分别得到 2n 和 3n 的总耗能分别为 1.78J 和 1.87J。

表 6 2n 和 3n 牡蛎排氨率变化的主要参数

Tab 6 Main parameters of ammonia excretion of diploid and triploid

倍性	组别	干肉重 (g)	起始时间 (h)	持续时间 (h)	峰值 [$\mu\text{gNH}_4\text{N}/(\text{g}\cdot\text{h})$]	总耗能 (J)
2n	1	1.54 ± 0.34	食后 (24 ± 3.5) h	8 ± 2	食后 (28 ± 2) h 0.1145 ± 0.0072	1.78 ± 0.30
3n	2	1.69 ± 0.22	食后 (20 ± 4.7) h	8 ± 1.5	食后 (24 ± 3.5) h 0.1453 ± 0.0054	1.87 ± 0.14

由表 4 和表 6 可见, 停食后, 3n 牡蛎排氨率波峰比 2n 早出现 4h, 且峰值更高, 所耗能量也较多。另外, 2n 和 3n 排氨率波峰较耗氧率波峰分别延迟了约 14h 和 6h。

3 讨论与结论

3.1 牡蛎在不同生理状况下的代谢特征及其不同倍性之间的比较

在贝类能量学研究中, 一般将代谢分为: 标准代谢 (standard metabolism)、活动代谢 (activity metabolism) 和特殊动力代谢 (specific dynamic metabolism)。贝类在正常状况下的实际代谢率波动于标准代谢与最大活动代谢之间, 即为常规代谢 (routine metabolism)。目前, 大多数文献将贝类在饱食后无饵料条件下的代谢定义为常规代谢。实际上, 对于营附着或固着生活的滤食性贝类, 其常规代谢主要由摄食行为所引起, 包括滤水时的机械消耗 (唇瓣和鳃上纤毛激动水流的运动、外套腔对颗粒的抽滤、贝壳开合所消耗的能量) 和与摄食过程有关的生理消耗 (对食物的消化和吸收等) (Bayne *et al.*, 1983)。本实验测定了贝类在有饵料条件下的代谢, 其中应包括与贝类摄食行为相关的活动代谢。

据 Navarro 等 (1982) 报道, 贻贝 (*Mytilus chilensis*) 在体重 20—3000mg 范围内 (12℃), 其标准代谢 (S_M)、消化和吸收代谢 ($RM-S_M$) 及摄食代谢 ($R_f M-RM$) 的比重依次为: 标准代谢 > 消化和吸收代谢 > 摄食代谢, 即各自占 $R_f M$ 的比例范围分别为: 68%—75%、17%—29% 和 3%—8%。本实验中, 太平洋牡蛎在 10—25℃ 范围内, 2n 和 3n 三种代谢组分占

R_fM 的比例均与 *M. chilensis* 表现出相同的现象。相比之下, 2n 标准代谢在 R_fM 所占的比例显著高于 3n, 而因摄食所消耗的机械代谢所占比例则较 3n 明显偏低。这种现象与两者在不同生理条件下耗氧率的差异是一致的。在不同温度和生理条件下, 尽管协方差分析没有表现出倍性对代谢的显著影响, 但是 2n 的 S_fM 和 RM 均高于 3n (表 1)。已有许多研究表明, 杂合度较高的个体具有较低的耗氧率 (Koehn *et al.*, 1982, 1984; Rodhouse *et al.*, 1984)。据 Koehn 等 (1982) 报道, 美洲牡蛎 (*Crassostrea virginica*) 的生长率随个体的杂合度增加而升高, 常规代谢却随杂合度增加而降低; Garton 等 (1984) 考察了 *Mulinia lateralis* 能量转化效率与个体杂合度之间的关系, 也发现了同样的规律。

3.2 牡蛎 2n 和 3n 之间 SDA 的比较

特殊动力代谢 (specific dynamic action, SDA) 是指动物摄食后用于处理和转化食物过程所消耗的代谢能。从能量平衡来看, 一般认为, 同化能用于代谢部分越多, 剩下用于生长的就越少, 反之亦然。然而, Jobling (1985) 指出, 代谢能中 SDA 是摄食后体内蛋白质合成和转化率在短期内上升所引起的, SDA 的高低应是生长速率的一个标志, 因此, 特殊动力代谢和生长之间的关系不是竞争性而是正相关的: SDA 代谢增强, 生长亦加快。

关于 SDA 的研究, 现在主要集中于将其与摄食活动中的机械所耗和消化、吸收代谢区分开来, 这需要了解 SDA 出现的时间、峰值及其持续时间。对太平洋牡蛎 2n 和 3n 代谢昼夜周期比较研究表明, SDA 峰值一般发生于摄食后的数小时或十几小时: 如 2n 出现于摄食后的 8h, 3n 则发生于食后的 12h; 二者的持续时间分别为 12h 和 16h。这种现象亦见于其他种类, 如贻贝 (*M. edulis*) SDA 波峰出现于摄食后的 22h, 持续时间为 8h (Bayne *et al.*, 1977); 皱纹盘鲍 (*Haliotis discus hannai*) 在 11—20℃ 条件下, SDA 约发生于摄食后的 14h, 持续时间 6—8h (常亚青等, 1998)。对鱼类的研究结果认为, SDA 作用的形成是由于摄食后细胞内蛋白质周转过程加速引起的代谢耗能量增长所造成 (Jobling, 1983)。Jobling 等 (1980) 提出 SDA 是一个“吸收后 (post-absorptive)”现象。因此, 牡蛎摄食后在无饵状态下耗氧率所表现出的瞬时升高现象 (表 1、图 2) 尚不能认为与 SDA 有关, 它应该代表由于摄食引起消化道运送、消化和吸收食物过程所消耗的能量。考察 2n 和 3n 在摄食后代谢昼夜变化趋势 (图 2) 可见, 仅通过测定摄食后贝类的瞬时耗氧率 (Navarro *et al.*, 1982) 来确定和区分摄食的代谢组分是不全面的。

实验还表明, 摄食引起牡蛎氨氮排泄率的变化与摄食后耗氧率的变化规律是相似的 (图 3)。在实验期间, 牡蛎 2n 和 3n 排氨率的峰值分别出现于各自耗氧率峰值之后。大量的研究表明, 这两个不同的生理学过程存在密切的内在联系, 即由食物消化吸收和体内蛋白质分解进入体液的自由氨基酸构成了动物的氨基酸代谢库, 组织生长按所需的比例利用各种氨基酸。当蛋白质合成加速, 氨基酸氧化过程中的脱氨基作用加强, 因而有更多的氨氮排出 (谢小军等, 1991)。显然, 氨基酸氧化过程中的脱氨基作用是 SDA 能量消耗的主要生化基础 (Cho *et al.*, 1982)。

现在认为, SDA 的持续时间、峰值和总耗能是物种能量利用对策的特征之一 (谢小军等, 1991)。在摄食量一定的情况下, SDA 持续时间越长, 峰值越高, 总耗能量越大, 动物对能量物质转化效率就越高, 获取能量的能力就越强, 生长越旺盛。比较 2n 和 3n 牡蛎摄食后代谢的昼夜变化, 可见 3n SDA 的峰值略高于 2n, SDA 持续时间和总耗能分别为 2n

的 1.3 倍和 0.8 倍。尤其是 3n 牡蛎排氨率峰值约为 2n 的 1.3 倍, 所耗能量是 2n 的 105%。这些可能说明 3n 牡蛎较 2n 具有更为活跃的蛋白质代谢和周转, 可以从一定程度上说明 3n 牡蛎较 2n 具有一定生长优势。

参 考 文 献

- 王运涛, 相建海, 1999. 栉孔扇贝大规模死亡的原因初探. 海洋与湖沼, 30(6): 770—774
- 吴玉霖, 周成旭, 张永山等, 2001. 烟台四十里湾海域红色裸甲藻赤潮发展过程及其成因. 海洋与湖沼, 32(2): 159—178
- 张 涛, 杨红生, 王 萍等, 2000. 烟台四十里湾海区栉孔扇贝同化率周年变化及其与环境的关系. 海洋与湖沼, 31(3): 266—272
- 常亚青, 王子臣, 1998. 皱纹盘鲍的个体能量收支. 应用生态学报, 9(5): 511—516
- 谢小军, 孙儒泳, 1991. 鱼类的特殊动力作用的研究进展. 水生生物学报, 15(1): 82—89
- Bayne B L, Scullard C, 1977. An apparent specific dynamic action in *Mytilus edulis* L. J Mar Boil Ass U K, 57: 371—378
- Bayne B L, Newell R C, 1983. Physiological energetics of marine mollusks. In: Wilbur K M, Bayne B L, Widdows J ed. The biology energetics of marine mollusks. New York: Academic Press, 121—206
- Cho C Y, Slinger S J, Beyley H S, 1982. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. Comp Biochem Physiol, 73B: 25—41
- Garton D W, Koehn R K, Scott T M, 1984. Multiple locus heterozygosity and the physiological energetics of growth in the coot clam, *Mulinia lateralis*, from a natural population. Genetics, 108: 445—455
- Jobling M, Davies P S, 1980. Effect of feeding on the metabolic rate and the specific dynamic action in Pleice, *Fleuronectes platessa* L. J Fish Biol, 16: 629—638
- Jobling M, 1983. Towards an explanation of specific dynamic action (SDA). J Fish Biol, 23: 549—555
- Jobling M, 1985. Growth. In: Tytler P, Calow P ed. Fish Energetics: New Perspectives. London: Croom Helm, 213—230
- Koehn R K, Schumway S E, 1982. A genetic/physiological explanation for differential growth rate among individuals of the American oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin). Mar Biol Lett, 3: 35—42
- Koehn R K, Gaffney P M, 1984. Genetic heterozygosity and growth rate in *Mytilus edulis*. Mar Biol, 82: 1—7
- Navarro J M, Winter J E, 1982. Ingestion rate, assimilation efficiency and energy balance in *Mytilus chilensis* in relation to body size and different algal concentrations. Mar Biol, 67: 255—266
- Rodhouse P G, Gaffney P M, 1984. Effect of heterozygosity on catabolism during starvation in the American oyster *Crassostrea virginica*. Mar Biol, 80: 179—187

THE COMPARISON OF SPECIFIC DYNAMIC METABOLISM OF TRIPLOID, *CRASSOSTREA GIGAS*, WITH DIPLOID

ZHOU Yi-Bing, LI Xiao-Yan, QU Ying, SONG Jian, ZHANG Guo-Fan

(Dalian Fisheries University, Key Laboratory of Maricultural Ecology, Ministry of Agriculture, Dalian, 116023)

(Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

Abstract The specific dynamic action of triploid, *Crassostrea gigas* were compared with those of sibling diploids. In different temperature, the proportion of the standard metabolism (S_M) to the routing metabolism (in food, $R_f M$) of diploids was 85.7% on average (82.6%—91%), exceeding 78.4% (72%—84.3%) of triploids. The mechanical costs associated with feeding of diploids possessed about 4.3% to routing metabolism (in food), the range of variation of 2.6%—6.7%, which was lower than 8% of triploids (4.9%—13.6%); Meanwhile, the metabolic costs of digestion and absorption of diploids occupied about 9.98% in $R_f M$, averagely, lower than 12.6% of triploids. By means of covariates test, above-mentioned three types of metabolism were not affected significantly by polyploid. However, there were more oxygen consumption of diploids than those of triploids in different physiological conditions, on average. In 20 °C, it was found that, on comparison of periodicity of standard metabolism and routing metabolism (no food) of diploids with those of triploids, the maximum value of SDA of triploids was higher than those of diploids, and triploids take 130% more times of SDA and spent 80% less energy of SDA than diploids. No significant differences were found between diploids and triploids in the standard metabolism and routing metabolism, but both average values of diploids were higher than triploids. The peak of ammonia excretion were reached by diploids and triploids in 28h and 24h behind of no feeding, respectively. Specially, the average value of ammonia excretion of triploids was higher than diploids in the experiment periods.

Key words *Crassostrea gigas*, Triploid, Specific dynamic action, Standard metabolism, Routing metabolism