

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.150360

长牡蛎壳金选育系 F₄ 与普通养殖群体摄食和呼吸的比较研究

邓传敏, 李琪, 孔令锋, 于瑞海, 于红

中国海洋大学 海水养殖教育部重点实验室, 山东 青岛 266003

摘要: 为了从生理学角度探讨长牡蛎壳金选育系的快速生长机制, 本研究以两种规格长牡蛎(*Crassostrea gigas*)第 4 代壳金选育系(简称金 1 和金 2)和两种普通养殖群体(简称对照 1 和对照 2)为材料, 比较了不同温度(16℃、20℃、24℃、28℃、32℃)和盐度(15、20、25、30、35)条件下各实验组的滤水率(FR)和耗氧率(OCR)。结果显示: (1)摄食实验中, 4 个组长牡蛎的滤水率均随温度或盐度增加先上升后下降, 在温度 28℃ 时出现最大值; 对照 1 的滤水率在盐度 25 时达到最大值, 其他 3 组滤水率在盐度 30 时达到最大值; 方差分析结果显示, 温度、群体、盐度、群体对长牡蛎的滤水率均有显著性影响, 长牡蛎壳金选育系的滤水率均显著大于普通养殖群体($P < 0.05$)。 (2)呼吸实验中, 较大规格长牡蛎壳金选育系的耗氧率受温度或盐度变化的影响更小。方差分析结果显示, 温度、群体、盐度、群体均对长牡蛎耗氧率有显著性影响。实验温度范围内, 金 1 的耗氧率显著小于对照 1, 但金 2 的耗氧率显著大于对照 2($P < 0.05$)。实验盐度范围内, 壳金选育系的耗氧率均显著大于普通群体($P < 0.05$)。 (3)同一壳色群体中, 个体越大, 单位软体部干重滤水率和耗氧率越低。研究表明, 较大规格长牡蛎壳金选育系 F₄ 更能适应外部环境的变化, 该选育系的快速生长可能是由其较高滤食行为导致的。

关键词: 长牡蛎; 壳金选育系; 滤水率; 耗氧率

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)04-0855-09

长牡蛎(*Crassostrea gigas*)又称太平洋牡蛎, 是产量最高的世界广布性大宗经济贝类, 具有环境适应能力强、生长速度快、营养价值高等优点。2013 年中国牡蛎总产量达 421.9 万 t, 居世界首位^[1]。然而, 近年来由于养殖区环境的恶化和亲贝种质的退化, 长牡蛎出现抗逆性下降、生长缓慢、外观差等问题, 使得长牡蛎产量和质量难以满足市场需求。为了确保长牡蛎养殖产业的可持续发展, 对其性状进行遗传改良具有重要意义。目前, 研究者已经开展了长牡蛎的遗传育种研究, 研究主要集中在利用杂种优势进行种间杂交^[2], 群体选育快速生长新品系^[3]和壳色新品系的选育^[4]等方面。

壳色多态性作为一种形态特征, 普遍存在于海产经济贝类中。贝类壳色产生的视觉感受会影

响消费者的喜好, 可以显著提高其商品价值^[5], 因此, 壳色新品系的选育已经成为海产经济贝类遗传育种的一个研究热点^[6]。越来越多的研究表明贝类的壳色多态性不仅受遗传因素控制^[7-10], 而且与其生理特征密切相关。王庆恒等^[11]研究发现马氏珠母贝(*Pinctada martensii*)黄壳色选系与普通养殖群体的耗氧率和排氨率存在明显差异。黄璞祎等^[12]比较了不同温度下皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)“中国红”品系与正常壳色家系的代谢和吸收效率, 结果表明“中国红”品系与正常壳色家系的耗氧率和排氨率存在显著差异, 在较高温度下, “中国红”出现更高的吸收效率。以上研究仅仅比较了壳色间的生理差异, 未能阐述壳色间的生长差异与生理的内在联系。

收稿日期: 2015-09-14; 修订日期: 2015-11-04.

基金项目: 国家 863 计划项目(2012AA10A405-6); 国家自然科学基金项目(31372524); 山东省农业良种工程项目.

作者简介: 邓传敏(1989-), 男, 硕士研究生, 主要从事贝类遗传育种研究. E-mail: determine1989@163.com

通信作者: 李琪, 教授. E-mail: qili66@ouc.edu.cn

研究者以长牡蛎的壳色和生长为选育指标,自 2010 年开展长牡蛎壳色新品系的选育工作,经连续 4 代选育获得长牡蛎壳金选育系 F_4 。Ge 等^[13]通过研究长牡蛎的金壳色的遗传规律,发现金壳色长牡蛎的背景色受一个位点上的两个等位基因控制,遵循孟德尔遗传定律。丛日浩等^[14]研究发现长牡蛎壳金选育家系在幼虫和成贝生长阶段具有显著生长优势。上述研究对长牡蛎壳金选育系的遗传规律、生长存活等进行了初步研究,但有关其快速生长机制与生理特性的内在联系尚不明确。本实验研究了不同温度、盐度条件下两种规格长牡蛎壳金选育系 F_4 和普通养殖群体的滤水率和耗氧率的差异,从生理学角度初步探讨长牡蛎壳金选育系的快速生长机制,为长牡蛎壳色新品系进一步选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用长牡蛎均取自威海刘公岛海区,来源于两个不同群体。研究者在 2010 年从山东省乳山养殖的长牡蛎中筛选出壳金个体,并构建了第一代全同胞家系,2011 年继续构建了第二代全同胞家系。壳金选育系 F_4 (群体 G)是以第二代壳金长牡蛎全同胞家系为基础,以生长速度和壳色为选育指标,经过连续两代群体选育而成。对照组是同期同海域培育的普通养殖群体(群体 C)。2015 年 3 月从壳金选育系 F_4 和普通养殖群体中分别取两种规格(10 月龄和 22 月龄)的长牡蛎进行实验,并分为 4 组。两组小规格贝壳高为 $53.66 \text{ mm} \pm 5.08 \text{ mm}$ (以下简称金 1 和对照 1),两组大规格贝壳高为 $113.13 \text{ mm} \pm 8.02 \text{ mm}$ (以下简称金 2 和对照 2),样品表型性状见表 1。实验前清除贝体表面附着物,在池中暂养 7 d。暂养期间连续充气,每日投喂足量新月菱形藻(*Nschia closterium*)及 100%换水 1 次。

1.2 实验方法

1.2.1 实验梯度设定 设置 16°C 、 20°C 、 24°C 、 28°C 和 32°C 5 个温度梯度,采用水浴恒温器控制水温。每天升降幅度为 2°C ,达到预定温度后稳定 7 天进行,实验其他条件与暂养一致。

设置 5 个盐度梯度 15、20、25、30、35,自然海水加充分曝气后的淡水或粗盐配置不同盐度海水,用脱脂棉过滤后进行实验。每天升降幅度为 2,达到预定温度后稳定 7 天进行实验。实验温度为 18°C ,其他条件与暂养一致。

1.2.2 滤水率的测定 试验在 3 L 水体的容器中进行,每个容器分别放大贝 1 个,小贝 2 个,设 3 个重复和 1 个空白对照。实验所用藻为新月菱形藻,初始浓度为 $3 \times 10^5 \text{ cell/mL}$ 。实验持续时间为 0.5~1 h。实验开始和结束时分别在显微镜下用血球计数板计算藻浓度。实验结束后,把实验贝软体部烘干称干重,用以下公式计算滤水率。

$$FR = V(\ln C_{t0} - \ln C_{t1}) / (w \cdot t)$$

式中,FR 为滤水率[L/(g·h)];V 为实验溶液体积(L);w 为实验用贝软体部干重(g);t 为实验时间(h); C_{t0} 为实验开始时的藻类浓度(cell/mL); C_{t1} 为 t 时间时的藻类浓度(cell/mL)。

1.2.3 耗氧率的测定 采用 Winkler 碘量法测定溶解氧。耗氧率与滤水率的测定使用同一实验贝。实验前停饵 1 d,将实验贝放入装满用脱脂棉过滤的新鲜海水 3 L 的广口瓶中,然后用保鲜膜封口,每组实验分别设置 3 个重复组和 1 个空白对照组。实验在白天进行,持续时间为 3 h,测定实验前后呼吸瓶内水中的溶解氧。

根据溶解氧的浓度变化计算单位干质量的耗氧率:

$$OCR = [(DO_0 - DO_t)V] / (W \cdot t)$$

式中,OCR 为单位干质重耗氧率[mg/(g·h)]。 DO_0 和 DO_t 为实验开始和结束时水中氧的溶解度(mg/L)。V 为呼吸瓶中水的体积(L),W 为实验用贝的软组织干重(g),t 为实验持续时间(h)。

实验结束后测量实验贝的壳长、壳宽、壳高和总湿重,取软体部于 65°C 下烘干至恒重,并用电子天平(精确度 0.01 g)称量其干质量。

1.3 数据分析

采用 SPSS19.0 软件对温度和群体及盐度和群体进行双因素方差分析(two-way ANOVA),组间差异采用 LSD 法分析,不同规格间进行独立样本 T 检验,显著性水平设为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 4 个组长牡蛎实验个体的性状差异

每种规格长牡蛎壳金选育系 F₄ 与对照组实验个体的平均壳高、壳长、壳宽、总湿重和软体部干重没有显著性差异($P<0.05$)(表 1)。

2.2 温度和盐度对长牡蛎滤水率的影响

在实验温度范围内, 随着水温的升高, 4 个组长牡蛎的滤水率均先上升后下降, 在 28℃ 时出现最大值(图 1)。同等规格大小的长牡蛎, 壳金选育系的滤水率大于对照组, 在 28℃ 时, 金 2 的滤水率显著大于对照 2($P<0.05$)。两种规格间, 个体越大, 单位软体部干重滤水率越

低。T 检验表明, 同一群体小贝和大贝滤水率在 16~28℃ 时差异显著($P<0.05$), 在 32℃ 时差异不显著。

盐度对 4 个组长牡蛎滤水率的影响如图 2 所示。随着盐度的升高, 长牡蛎滤水率表现出先增大后减小的趋势, 每个组长牡蛎的最大滤水率均不相同。对照 1 在盐度 25 时有最大滤水率, 其他三组的滤水率在盐度 30 时出现最大值。同等规格大小的长牡蛎, 壳金选育系的滤水率均大于对照组。在盐度 15、20 和 30 时, 金 1 显著大于对照 1($P<0.05$)。在盐度 35 时, 金 2 显著大于对照 2($P<0.05$)。同一群体中, 个体越大, 单位软体部干重滤水率越低, 且差异显著($P<0.05$)。

表 1 4 个长牡蛎组的生物学测定
Tab. 1 Biology date of four groups used in the experiment

实验组 experimental group	壳高/mm shell height	壳长/mm shell length	壳宽/mm shell width	总湿重/g total wet weight	软体部干重/g softbody weight
金 1 golden 1	52.61 ± 4.54 ^a	33.47 ± 3.81 ^a	17.25 ± 1.86 ^a	15.43 ± 3.49 ^a	0.36 ± 0.05 ^a
对照 1 control 1	54.71 ± 5.45 ^a	33.59 ± 2.99 ^a	17.57 ± 2.95 ^a	15.41 ± 2.84 ^a	0.37 ± 0.05 ^a
金 2 golden 2	112.78 ± 8.21 ^b	57.01 ± 5.69 ^b	33.83 ± 4.42 ^b	108.41 ± 9.81 ^b	2.41 ± 0.27 ^b
对照 2 control 2	113.48 ± 8.11 ^b	54.10 ± 4.08 ^b	33.67 ± 3.88 ^b	115.05 ± 11.95 ^b	2.69 ± 0.50 ^b

注: 每列内具有不同字母数值差异显著($P<0.05$).
Note: Within the same column, mean values with different letters are significantly different ($P<0.05$).

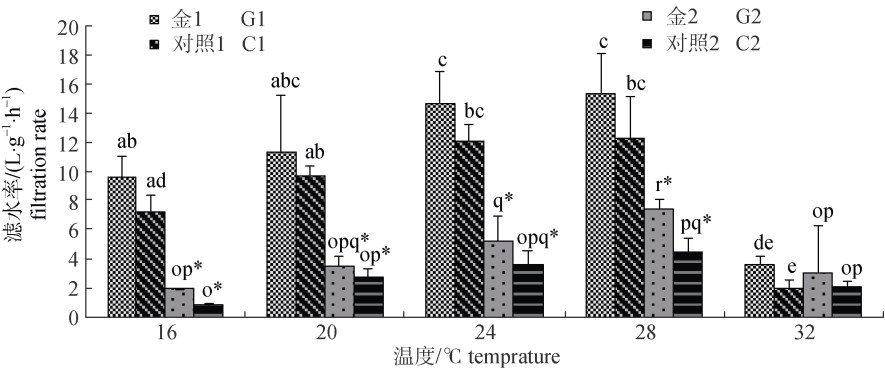


图 1 不同温度下 4 个长牡蛎组的滤水率

相同小写字母表示同一规格间差异不显著($P>0.05$); *表示相同温度下两种规格间差异显著($P<0.05$).

Fig. 1 Filtration rate of four groups at different temperatures

The same lowercase mean no significant difference ($P>0.05$) between the same size; * mean significant difference ($P<0.05$) between two standards at the same temperature.

温度、群体和盐度、群体对长牡蛎的滤水率的影响均显著($P<0.05$), 但其交互作用对滤水率的影响

不显著($P>0.05$)(表 2)。两个群体间, 长牡蛎壳金选育系的滤水率均显著大于普通养殖群体($P<0.05$)。

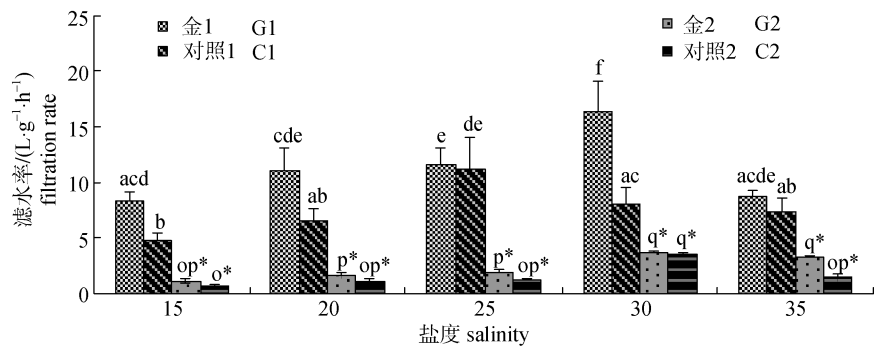


图 2 不同盐度下 4 个长牡蛎组的滤水率

相同小写字母表示同一规格间差异不显著($P>0.05$); *表示相同盐度下两种规格间差异显著($P<0.05$).

Fig. 2 Filtration rate of four groups at different salinities

The same lowercase mean no significant difference ($P>0.05$) between the same size; * means significant difference ($P<0.05$) between two standards at the same salinity.

表 2 温度、群体、盐度、群体对长牡蛎滤水率和耗氧率影响的方差分析结果

Tab. 2 Two-way ANOVA comparing the effect of temperature, population; salinity, population on filtration rate (FR) and oxygen consumption rate (OCR) of *C. gigas*

方差来源 source of variation	自由度 df	滤水率 FR/(L·g ⁻¹ ·h ⁻¹)			耗氧率 OCR/(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)		
		均方 MS	F	P	均方 MS	F	P
温度(T)	4	122.961	18.355	0.000*	1.494	20.375	0.000*
群体(P)(G1/C1)	1	33.793	5.044	0.036*	0.034	4.664	0.043*
T × P	4	0.332	0.050	0.995	0.584	7.967	0.001*
温度(T)	4	17.856	14.527	0.000*	0.672	8.024	0.000*
群体(P)(G2/C2)	1	15.856	12.900	0.002*	0.564	6.743	0.017*
T × P	4	0.986	0.802	0.538	0.177	2.115	0.117
盐度(S)	4	32.296	10.005	0.000*	0.153	3.241	0.033*
群体(P)(G1/C1)	1	97.452	30.192	0.000*	0.873	18.461	0.000*
S × P	4	14.128	4.377	0.011*	0.067	1.411	0.267
盐度(S)	4	6.933	21.841	0.000*	0.091	12.288	0.000*
群体(P)(G2/C2)	1	3.831	12.067	0.002*	0.069	9.315	0.006*
S × P	4	0.660	2.079	0.122	0.010	1.350	0.286

注: *表示差异显著($P<0.05$).

Note: Significant differences are denoted by asterisks ($P<0.05$).

2.3 温度和盐度对长牡蛎耗氧率的影响

温度对 4 个组长牡蛎耗氧率的影响如图 3 所示。金 1、对照 1、对照 2 的耗氧率与滤水率变化趋势相同, 随温度增加呈先上升后下降的趋势, 均在 28℃时达到最大值。金 2 的耗氧率随温度升高而增大, 在 32℃时出现最大值, 未出现拐点。同等规格大小的长牡蛎, 金 1 的耗氧率小于对照 1 (16℃除外), 金 2 的耗氧率均大于对照 2。在水温 32℃时, 金 1 的耗氧率显著小于对照 1($P<0.05$), 金 2 耗氧率显著大于对照 2($P<0.05$)。同一群体中,

个体越大, 单位软体部干重耗氧率越低。

4 个组长牡蛎的耗氧率与水温的关系式符合二次函数关系: $OCR=aT^2+bT+c$, 系数 a 、 b 、 c 的值见表 3。耦合的二次项系数 $|a|$ 代表了长牡蛎耗氧率受温度影响的程度, 该值越大, 受温度的影响程度越大。

不同盐度下 4 个组长牡蛎的耗氧率如图 4 所示。4 个组长牡蛎的耗氧率均随盐度的增加呈先上升后下降趋势, 在盐度 25 时出现最大耗氧率; 同等规格大小的长牡蛎, 壳金选育系的耗氧率均

大于对照组。在盐度 35 时, 金 1 耗氧率显著大于对照 1($P<0.05$)。在盐度 25、35 时, 金 2 耗氧率显著大于对照 2($P<0.05$)。同一群体中, 个体越大, 单位软体部干重耗氧率越低。

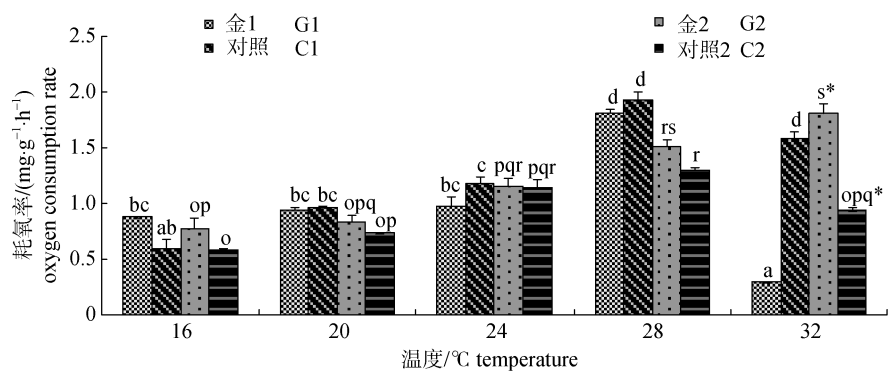


图 3 不同温度下 4 个长牡蛎组的耗氧率

不同小写字母表示同一规格间差异显著($P<0.05$); *表示相同温度下两种规格间差异显著($P<0.05$).

Fig. 3 Oxygen consumption rate of four groups at different temperatures

Values with different letters mean significant difference ($P<0.05$) between the same size; * means significant difference ($P<0.05$) between two standards at the same temperature.

表 3 温度与 4 个组长牡蛎的耗氧率回归方程的参数

Tab. 3 Parameters related to regression equation between temperature and OCR of *C. gigas*

实验组 experiment group	温度/°C temperature				P
	a	b	c	R ²	
金 1 G1	-0.1667	0.9735	-0.1112	0.3438	0.017
对照 1 C1	-0.0608	0.6574	-0.0568	0.8463	0.001
金 2 G2	0.0378	0.0505	0.647	0.9860	0.001
对照 2 C2	-0.0894	0.6628	-0.0666	0.8147	0.012

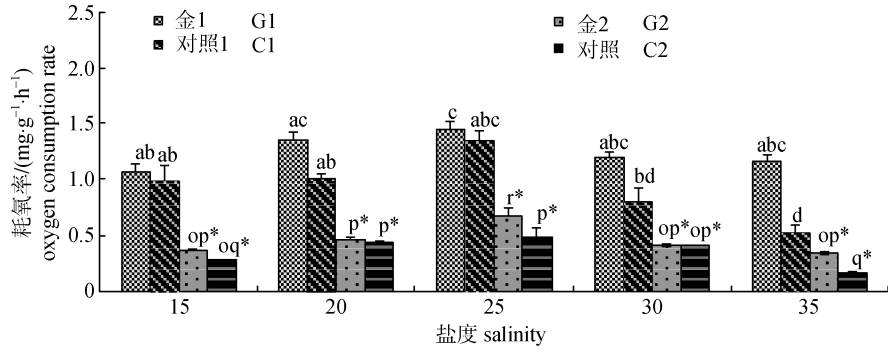


图 4 不同盐度下 4 个长牡蛎组的耗氧率

不同小写字母表示同一规格间差异显著($P<0.05$); *表示相同盐度下两种规格间差异显著($P<0.05$).

Fig. 4 Oxygen consumption rate of four groups at different salinities

Values with different letters mean significant difference ($P<0.05$) between the same size; * means significant difference ($P<0.05$) between two standards at the same salinity.

4 个组长牡蛎的耗氧率与盐度的关系式符合二次函数关系: $OCR = dS^2 + eS + f$, 系数 d 、 e 、 f 的值见表 4。耦合的二次项系数 $|d|$ 代表了长牡蛎

耗氧率受盐度影响的程度, 该值越大, 受盐度的影响程度越大。

方差分析结果显示(表 2), 温度、群体、盐度、

群体对长牡蛎耗氧率有显著性影响($P<0.05$),但其交互作用对耗氧率的影响不显著($P>0.05$)。在实验温度下,金 1 的耗氧率显著小于对照 1($P<0.05$),金 2 的耗氧率显著大于对照 2($P<0.05$)。在实验盐度下,两种规格的长牡蛎壳金选育系的耗氧率均显著大于对照组($P<0.05$)。

表 4 盐度与 4 个组长牡蛎的耗氧率回归方程的参数
Tab. 4 Parameters related to regression equation between salinity and OCR of *C. gigas*

实验组 experiment group	盐度 salinity				<i>P</i>
	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>R</i> ²	
金 1 G1	-0.0723	0.4383	0.7216	0.7607	0.015
对照 1 C1	-0.1081	0.5309	0.5788	0.7625	0.006
金 2 G2	-0.0556	0.3230	0.0946	0.6881	0.010
对照 2 C2	-0.0675	0.3795	-0.0396	0.9929	0.001

3 讨论

3.1 温度和盐度对长牡蛎滤水率的影响

研究表明,滤水率作为贝类生长最重要的驱动力,是其获取能量的关键因素,本质上影响贝类供应能量的能力^[16-17]。双壳贝类的摄食生理主要受温度和盐度等环境因子影响^[18]。本研究结果也表明,温度和盐度对长牡蛎滤水率均有显著性影响。温度对贝类摄食生理的影响已有大量研究,Guzmán-Agüero 等^[18]的研究表明,牡蛎(*C. corteziensis*)随着温度的升高滤水率先增加后下降,在温度 29℃时达到最大值;Deng 等^[19]研究发现珠母贝(*P. martensii*)在温度 25℃时滤水率出现最大值。本研究结果得到相似规律,4 个组长牡蛎的滤水率均在 28℃达到最大值,推测长牡蛎在 28℃时有最强摄食活力,这有利于其在夏季获取更多能量用于繁殖等生理活动。王芳等^[20]研究发现,两种规格的长牡蛎在 26℃时有最大滤水率,与本研究结果基本一致。Ren 等^[21]在研究长牡蛎的摄食时发现在 20.7℃时滤水率出现最大值,Bougrier 等^[22]发现长牡蛎在 19℃有最大滤水率。导致长牡蛎在不同温度出现最大滤水率的原因可能是实验贝规格差异、不同地区的环境和气候差异以及物种内的遗传差异。

盐度变化可以影响贝类鳃纤毛的运动,同时可以改变贝类体内的渗透压,从而影响贝类与外界的水流交换,引起贝类摄食活动的改变。本研究结果显示,长牡蛎滤水率随着盐度增加先升高

后下降,对照 1 在盐度 25 时有最大滤水率,金 1、金 2 和对照 2 的滤水率在盐度 30 时有最大值。类似的结果在其他海洋贝类中也有发现。范嗣刚等^[23]研究发现不同规格和种类的珠母贝出现最大滤水率时的盐度不同。Zhuang^[24]的研究表明,文蛤(*Meretrix meretrix*)在盐度 27~30 范围内达到最大滤水率,变化规律与本实验一致。

3.2 温度和盐度对长牡蛎耗氧率的影响

耗氧率作为贝类代谢的生理指标,可以反映海洋贝类代谢活力的强弱^[25]。温度和盐度等环境因子对贝类耗氧率影响的研究较多。王芳等^[26]在研究太平洋牡蛎的呼吸和排泄中发现,不同规格长牡蛎的耗氧率在 24~28℃时达到最大值。唐保军等^[27]研究发现,细角螺(*Hemifusus ternatanus*)的耗氧率在盐度 28~32 时高于其他盐度处理组。本研究结果表明,4 个组长牡蛎的耗氧率均随温度或盐度的增加先升高后下降,变化规律与以上研究一致。双壳贝类呼吸等生理活动对温度和盐度变化极其敏感^[28]。本研究通过对长牡蛎耗氧率回归曲线的比较发现,随着温度和盐度的变化,不同群体和不同规格长牡蛎的变化幅度存在差异。较小规格的长牡蛎对温度和盐度的变化更加敏感,长牡蛎壳金选育系的耗氧率受温度或盐度的影响更小。由此我们推测,随着长牡蛎的生长,其适应外部环境的能力逐渐增强,而且长牡蛎壳金选育系比普通养殖群体更能适应环境的变化。

3.3 两个群体摄食和呼吸的比较

在长牡蛎壳色选育的过程中,育种工作者通

常还对生长、存活等性状进行选育。前期研究比较了长牡蛎壳金选育家系与普通养殖家系的生长差异,发现长牡蛎壳金选育家系的生长得到显著提高^[14]。我们推测其生长优势是由两个群体间摄食与呼吸等生理差异引起的。本研究发现,长牡蛎壳金选育系在不同温度和盐度条件下滤水率显著高于普通养殖群体,表明长牡蛎壳金选育系的快速生长可能是由其较高的滤食行为导致的。类似的结果在其他海洋贝类中也有过报道。Bayne^[29]研究发现悉尼岩牡蛎(*Saccostrea commercialis*)快速选育系的摄食率和代谢效率显著高于对照组。Deng 等^[19]研究发现马氏珠母贝快速生长选育系通过快速的摄食能力获取更多能量用于生长。Bayne^[30]研究发现长牡蛎的快速生长与较高的摄食率、较低的代谢率和生长代谢值相关。目前,从生理学角度可用3种模型解释贝类快速生长机制:能量摄取模型、能量分配模型和代谢效率模型^[31],这3种模型从能量平衡的不同角度解释了贝类的快速生长机制。本研究表明长牡蛎壳金选育系的快速生长是通过获取较多的食物来加快能量的吸收,该结果符合第1种模型。然而,长牡蛎金壳色选育系在温度和盐度范围内的耗氧率显著大于普通养殖群体,表明金壳色选育系群体的代谢活力强于普通养殖群体,需消耗更多的能量,不适用于第3种模型。在今后的研究中,我们需将生理指标转化成能量值,进一步从能量学的角度探讨长牡蛎壳色选育系的生理与快速生长的关系。

参考文献:

- [1] Ministry of Agriculture Fisheries and fishery administration. China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2014. [农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.]
- [2] Kong L F, Teng S S, Li Q. Growth and Survival of the first generation of Hybrid between Chinese and Japanese populations of Pacific oyster *Crassostrea gigas*[J]. Marine Sciences, 2013, 37(8): 78–84. [孔令锋, 滕爽爽, 李琪. 长牡蛎中国群体与日本群体杂交子一代的生长和存活比较[J]. 海洋科学, 2013, 37(8): 78–84.]
- [3] Wang Q Z, Li Q, Kong L F, et al. Response to selection for fast growth in the second generation of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. J Ocean U China, 2012, 11(3): 413–418.
- [4] Ge J L, Li Q, Yu H, et al. Comparison of growth and survival among the hybrid offspring of three different shell color families of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(3): 345–352. [葛建龙, 李琪, 于红, 等. 长牡蛎3种壳色家系间杂交子代生长和存活比较[J]. 水产学报, 2015, 39(3): 345–352.]
- [5] Nell J A. The history of oyster farming in Australia[J]. Mar Fish Rev, 2001, 63(3): 14–25.
- [6] Zhang Y H, Yan X W, Zhang P, et al. Research advances and prospects on shell color polymorphism of mollusks[J]. Fisheries Science, 2008, 27(12): 680–683. [张跃环, 闫喜武, 张澎, 等. 贝类壳色多态的研究概况及展望[J]. 水产科学, 2008, 27(12): 680–683.]
- [7] Evans S, Camara M D, Langdon C J. Heritability of shell pigmentation in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*[J]. Aquaculture, 2009, 286(3): 211–216.
- [8] Kozminkii E V, Lezin P A, Fokin M V. A study of inheritance of white spots on the shell of *Littorina obtusata* (Gastropoda, Prosobranchia)[J]. Russ J Gen, 2010, 46(12): 1455–1461.
- [9] Ge J L, Li Q, Yu H, et al. Identification and mapping of a SCAR marker linked to a locus involved in shell pigmentation of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Aquaculture, 2014, 434: 249–253.
- [10] Zheng H P, Zhang T, Sun Z W, et al. Inheritance of shell colours in the noble scallop *Chlamys nobilis* (Bivalve: Pectinidae)[J]. Aquac Res, 2013, 44(8): 1229–1235.
- [11] Wang Q H, Zhang S F, Du X D, et al. Comparison of oxygen consumption rate and NH₃ excretion rate of the first-generation yellow shell color and control groups at different temperatures and salinities[J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33(5): 790–796. [王庆恒, 张善发, 杜晓东, 等. 马氏珠母贝黄壳色选系F₁与对照组耗氧率和排氨率的比较[J]. 水产学报, 2009, 33(5): 790–796.]
- [12] Huang P Y, Zhou Y B, Liu X, et al. Metabolism and absorption efficiency of "Chinese red" abalone *Haliotis discus hannai* at various temperatures with reference to the family strains[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2008, 23(1): 37–41. [黄璞玮, 周一兵, 刘晓, 等. 不同温度下皱纹盘鲍“中国红”与各家系代谢和吸收效率的比较[J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(1): 37–41.]
- [13] Ge J L, Li Q, Yu H, et al. Mendelian inheritance of golden shell color in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*[J]. Aquaculture, 2015, 441: 21–24.
- [14] Cong R H, Li Q, Ge J L, et al. 2014. Comparison of pheno-

- typic traits of four shell color families of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(3): 494–502. [丛日浩, 李琪, 葛建龙, 等. 长牡蛎 4 种壳色家系子代的表型性状比较[J]. 中国水产科学, 2014, 21(3): 494–502.]
- [15] Jørgensen C B. Bivalve filter feeding: hydrodynamics, bioenergetics, physiology and ecology[M]. Olsen Olsen, 1990: 140.
- [16] Hutchinson S, Hawkins L E. Quantification of the physiological responses of the European flat oyster *Ostrea edulis* L. to temperature and salinity[J]. J Mollus Stud, 1992, 58(2): 215–226.
- [17] Winter J E, Acevedo M A, Navarro J M. Quempi'n estuary, an experimental oyster cultivation station in Southern Chile. Energy balance in *Ostrea chilensis*[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1984, 20: 151–164.
- [18] Guzmán-Agüero J E, Nieves-Soto M, Hurtado M Á, et al. Feeding physiology and scope for growth of the oyster *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951) acclimated to different conditions of temperature and salinity[J]. Aquac Internat, 2013, 21(2): 283–297.
- [19] Deng Y W, Yu Z N, Du X D, et al. Growth performance and physiological parameters of the second generation selected and control groups of *Pinctada martensii*[J]. Acta Oceanol Sin, 2011, 30(2): 120–125.
- [20] Wang F, Dong S L, Zhang S, et al. Study on the respiration and excretion of *Argopecten irradians* and *Crassostrea gigas*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2000, 28(2): 139–144. [王芳, 董双林, 张硕, 等. 海湾扇贝和太平洋牡蛎的食物选择性及滤除率的实验研究[J]. 海洋与湖沼, 2000, 28(2): 139–144.]
- [21] Ren J S, Ross A H, Schiel D R. Functional descriptions of feeding and energetics of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in New Zealand [J]. Mar Ecol Prog Ser, 2000, 208: 119–130.
- [22] Bougrier S, Geairon P, Dealous-Paoli J M, et al. Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumptions rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg)[J]. Aquaculture, 1995, 134(1): 143–154.
- [23] Fang S G, Huang G J, Liu B S, et al. Effects of salinity and temperature on the filtration rate and ingestion rate of *Pinctada maxima* and *Pinctada fucata*[J]. Journal of Hydroecology, 2014, 35(3): 61–65. [范嗣刚, 黄桂菊, 刘宝锁, 等. 盐度与温度对大珠母贝和合浦珠母贝滤水率及摄食率的影响[J]. 水生态学杂志, 2014, 35(3): 61–65.]
- [24] Zhuang S H. The influence of salinity, diurnal rhythm and daylength on feeding behavior in *Meretrix meretrix* Linnaeus[J]. Aquaculture, 2006, 252(2): 584–590.
- [25] Huang S C, Newell R I E. Seasonal variations in the rates of aquatic and aerial respiration and ammonium excretion of the ribbed mussel, *Geukensia demissa* (Dillwyn)[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2002, 270(2): 241–255.
- [26] Wang F, Dong S L, Zhang S, et al. Study on respiration and excretion of *Argopecten irradians* and *Crassostrea gigas*[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1998, 28(2): 233–238. [王芳, 董双林, 张硕, 等. 海湾扇贝 (*Argopecten irradians*) 和太平洋牡蛎 (*Crassostrea gigas*) 呼吸和排泄的研究[J]. 青岛海洋大学学报, 1998, 28(2): 233–238.]
- [27] Tang B J, Wei W, Zou X. Effects of salinity and pH on oxygen consumption and ammonia excretion of Whelk *Hemifusus ternatanus*[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2015, 35(3): 122–126. [唐保军, 魏伟, 邹雄. 盐度和 pH 对细角螺耗氧率和排氨率的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2015, 35(3): 122–126.]
- [28] Tang B J, Liu B Z, Yang H S, et al. Oxygen consumption and ammonia-N excretion of *Meretrix meretrix* in different temperature and salinity[J]. Chin J Oceanol Limnol, 2005, 23(4): 469–474.
- [29] Bayne B L. Relations between variable rates of growth, metabolic costs and growth efficiencies in individual Sydney rock oysters (*Saccostrea commercialis*)[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2000, 251(2): 185–203.
- [30] Bayne B L. Physiological components of growth differences between individual oysters (*Crassostrea gigas*) and a comparison with *Saccostrea commercialis*[J]. Physiol Biochem Zool, 1999, 72(6): 705–713.
- [31] Bayne B L, Svensson S, Nell J A. The physiological basis for faster growth in the Sydney rock oyster, *Saccostrea commercialis*[J]. Biol Bull, 1999, 197(3): 377–387.

Comparison of feeding and respiration of the forth golden shell color line and normal culture groups of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)

DENG Chuanmin, LI Qi, KONG Lingfeng, YU Ruihai, YU Hong

The Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education; Ocean University of China, Qingdao 266003, China

Abstract: In order to assess the effect of shell color selection of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) on feeding and respiration, two groups of the forth golden shell color line (G1, G2) and two groups of the normal culture group (C1, C2) were conducted in the experiment. Filtration rate (FR) and oxygen consumption rate (OCR) of 4 groups at different temperatures and salinities were observed. The results of feeding treatments showed that with the increase of temperature, FR began to rise reaching the maximum at 28°C, and then declined. C1 exhibited the maximum FR at salinity of 25 and other three groups exhibited the maximum FR at salinity of 30; Two-way ANOVA showed that temperature, group and salinity, group had a significant influence on FR of *C. gigas*. Golden shell color line had significantly larger filtrate rate than the normal culture group ($P<0.05$). The results of respiration treatments demonstrated that temperature, group and salinity, group had a significant effect on OCR of 4 groups ($P<0.05$). The maximum OCR of G2 occurred at the temperature of 32°C, while other three groups occurred at the temperature of 28°C. OCR of G1 was significantly lower than C1, while OCR of G2 was significantly higher than C2 ($P<0.05$). In the set salinity range, all groups exhibited the maximum OCR at salinity of 25; OCR of golden shell color line was significantly higher than the normal culture group ($P<0.05$). Oyster of small size filter and consume oxygen more than oyster of large size. The present results indicated that selection for faster growth of golden color line might produce animals that had higher intake of energy by virtue of faster filtrating behavior, and a further selection could be likely meaningful.

Key words: *Crassostrea gigas*; golden shell color line; filtration rate (FR); oxygen consumption rate (OCR)

Corresponding author: LI Qi. E-mail: qili66@ouc.edu.cn