

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2013.00968

不同温度和体质量对南海野生真蛸呼吸和排泄的影响

冯雪^{1,2}, 陈丕茂¹, 秦传新¹, 周艳波¹, 袁华荣¹, 乔培培^{1,2}, 李娜^{1,2}

1. 中国水产科学研究院 南海水产研究所, 农业部南海渔业资源环境科学观测试验站, 广东 广州 510300;

2. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306

摘要: 采用室内封闭静水式呼吸代谢实验装置, 开展不同水温梯度、不同体质量的南海野生真蛸(*Octopus vulgaris*)的呼吸代谢实验, 分析了不同水温条件下真蛸耗氧率和排氮率的变化, 不同体质量真蛸耗氧率和排氮率的变化, 以及真蛸呼吸代谢底物 O:N 比的变化。结果表明, 水温变化对南海野生真蛸耗氧率和排氮率有明显影响, 体质量对耗氧率和排氮率的影响不显著($P < 0.05$)。在 16~32℃ 实验水温范围内, 不同水温梯度下, 相同体质量南海野生真蛸耗氧率及排氮率呈现先升高后降低的趋势; 相同水温条件下, 随着个体体质量的增加, 南海野生真蛸的耗氧率和排氮率虽有缓慢下降但不明显($P > 0.05$)。24℃ 可能为南海野生真蛸呼吸代谢的转折点, 在该水温下, 其耗氧率和排氮率最高, 代谢速率最快, 单位体质量真蛸的耗氧率和排氮率分别为 0.86 mg/(g·h) 和 36.69 μg/(g·h)。真蛸呼吸代谢底物分析结果中, 在 24~28℃ 水温变化范围内, O:N 比不断增加, 表明真蛸呼吸消耗的能量中蛋白质供能比例不断降低。

关键词: 真蛸; 南海; 耗氧率; 排氮率; 水温; 体质量

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2013)05-0968-07

头足类(Cephalopoda)为软体动物, 主要有乌贼、柔鱼、枪乌贼和蛸四大类^[1]。真蛸(*Octopus vulgaris*)属头足纲、八腕目、蛸科、蛸属, 是浅海中型至大型底栖种, 常栖息在沿岸至大陆架边缘的岩石、珊瑚礁以及海草水域, 栖息水深 0~200 m^[2], 除南北极海域外, 其广泛分布于世界各大洋热带和温带水域。

真蛸是重要底拖网捕捞对象之一, 就中国分布的 8 种章鱼而言, 最有经济价值的是真蛸^[3], 对真蛸高值水产品不断增加的需求刺激了包括中国在内的世界真蛸增养殖渔业的发展^[4]。近年来关于真蛸增养殖方面的研究不断增多, 在养殖环境条件设定和控制、人工繁育真蛸的饵料配制等方面均取得一定进展^[5-7], 但关于真蛸尤其是野生

真蛸个体的呼吸代谢的研究未见报道。呼吸代谢是生物能量学研究的重要内容之一, 不仅能反映生物的生理状态, 也可反映环境条件对生物生理活动的影响。本研究在室内模拟海洋环境条件, 对不同温度条件下不同体质量南海野生真蛸的呼吸代谢进行了研究, 研究结果可为南海区乃至中国沿海真蛸野生资源养护、增养殖及利用提供基础数据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

实验于 2012 年 9 月在中国水产科学研究院南海水产研究所深圳试验基地进行, 实验用野生真蛸捕自深圳大亚湾自然海域。采回的真蛸选取健

收稿日期: 2012-12-19; 修订日期: 2013-03-26.

基金项目: 农业部国家公益性行业科研专项经费项目(201003068); 国家科技支撑计划课题(2012BAD18B02); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(2012TS11, 2012TS10).

作者简介: 冯雪(1987-), 女, 硕士, 从事海洋牧场及资源评估研究. E-mail: xue-er-1987-good@163.com

通信作者: 陈丕茂, 研究员. E-mail: cpmgd@yahoo.com.cn

康无损伤个体, 头长 35~69 mm, 体干重 5.79~16.51 g, 断食暂养 48 h 后进行实验, 暂养温度为 24℃。实验海水取自大亚湾大鹏澳海区自然海水, 经沉淀后使用, 盐度 30.55, pH8.09。

1.2 实验方法

实验设定 5 个水温梯度, 分别为 16℃、20℃、24℃、28℃及 32℃。真蛸根据体质量分为 4 组, 每组包含 3 个重复实验对象。预实验时发现真蛸的呼吸代谢强烈, 故实验容器选用体积较大的运输鱼苗的塑料袋, 袋内实验水体体积为 10 L。实验时袋口扎紧密封以隔绝空气, 将实验袋置于水槽中水浴, 通过可调节式冷暖水机控制水槽水温以调节实验袋水温, 各梯度水温控制波动幅度为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。呼吸室内放置 1 个实验对象, 在实验时为避免实验对象发生应激反应, 采取缓慢调节水温的方法, 逐步将水温调节到实验所需温度, 并将实验个体在实验水温条件下暂养一段时间, 等其适应环境温度且未发生生理应激性变化后再进行目标水温下的呼吸代谢实验。

在实验对象处于良好适应状态下, 自扎口开始计时, 每组实验每个梯度水温的实验在恒温条件下持续 0.5 h, 随即测定袋中溶解氧(DO)及氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)含量。DO 采用 YSI550 测定, 氨氮采用 FOSS 公司 FIAstar™5000 流动注射分析系统测定。

1.3 分析方法

1.3.1 耗氧率及排氨率的测定 耗氧率按下式计算:

$$Q_O = \frac{V \times (A_1 - A_2)}{W \times T} \quad (1)$$

排氨率按下式计算:

$$Q_T = \frac{V \times (N_T - N_0)}{W \times T} \quad (2)$$

(1)式和(2)式中, Q_O 为耗氧率($\text{mg/g}\cdot\text{h}$), Q_T 为排氨率($\mu\text{g/g}\cdot\text{h}$), W 为体干重(g), V 为实验水体体积(L), T 为实验时间(h), A_1 为初始溶解氧量(mg/L), A_2 为经过 T 时间后的溶解氧量(mg/L), N_0 为初始氨氮质量浓度($\mu\text{g/L}$), N_T 为经过 T 时间后的氨氮质量浓度($\mu\text{g/L}$)。

1.3.2 温度对真蛸呼吸代谢的影响 用 Q_{10} 值法

评估, 计算公式:

$$Q_{10} = \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^{\frac{10}{(T_2 - T_1)}} \quad (3)$$

式中: Q_{10} 为水温每上升 10°C 所引起的真蛸代谢率的变化率, 表示水温对代谢影响的强度, M_1 、 M_2 分别为温度 T_1 、 T_2 时真蛸的代谢率。 Q_{10} 值是表示生物体内反应速率与温度依存关系的指标, 其可度量适宜范围内温度上升引起的生理活动对能量的需求。耗氧率 Q_{10} 值用 $Q_{10(O)}$ 表示, 排氨率 Q_{10} 值用 $Q_{10(N)}$ 表示。

1.3.3 不同体质量对真蛸呼吸代谢率的影响 使用下式进行模拟:

$$Y = aX^{b[8]} \quad (4)$$

式中, Y 为耗氧率(Q_O)或排氨率(Q_T)。 a 为条件因子, a 值一般因条件和种类不同差异较大; b 为幂指数系数, 可反映出生物的异速生长特征。

1.3.4 真蛸的呼吸和排泄特性 通过对呼吸代谢底物进行研究, 用 O:N 比值(呼吸氧原子数与排出氨氮原子数之比)法进行分析:

$$O : N = 1000 \times \frac{Q_O}{Q_T} \quad (5)$$

式中, Q_O 及 Q_T 分别为某温度下真蛸耗氧率及排氨率。

实验数据采用 Excel 及 SPSS17.0 处理, 采用单因素方差分析(ANOVA), 当处理之间差异显著($P < 0.05$)时, 用 LSD 检验法进行均值间多重比较。差异显著度为 0.05。结果以 $\bar{x} \pm \text{SD}$ 表示。

2 结果与分析

2.1 不同水温下真蛸耗氧率和排氨率的变化

在 16~32℃ 范围内, 相同体质量真蛸的耗氧率随着水温的升高而呈现先升高后降低的趋势(图 1), 在 16~24℃ 中, 水温越高, 耗氧率越大。当水温升至 24℃ 时, 耗氧率增大到最高值, 随后不断降低。其结果符合多项式方程(表 1), 经单因素方差检验表明, 在实验设定水温范围内, 温度对耗氧率的影响达极显著水平($P < 0.01$)。

实验水温分别为 16℃、20℃、24℃、28℃和 32℃ 时, 真蛸的耗氧率分别为 0.38 $\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 、0.56

mg/(g·h)、0.86 mg/(g·h)、0.60 mg/(g·h)和 0.38 mg/(g·h)。

在 16~32℃水温范围内,真蛸的排氮率变化趋势与其耗氧率相似(图 2)。在 16~24℃水温范围内,相同体质量真蛸的排氮率随着水温的升高而不断增大,在 24℃时达到最高。在 24~32℃水温范围内则随着温度的升高而不断降低。其结果变化符合多项式方程(表 2),经单因素方差检验,在实验设定温度范围内,水温对真蛸排氮率的影响达显著水平($P<0.05$)。

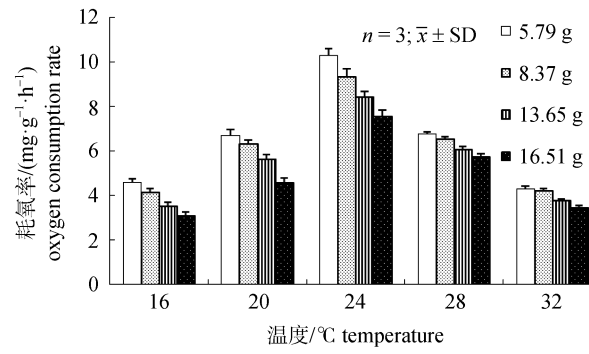


图 1 温度变化对不同干体质量真蛸耗氧率的影响
Fig.1 The impact of water temperature change on oxygen consumption rate of *Octopus vulgaris* with different dry body weight

表 1 不同体质量真蛸耗氧率(y)与温度(x)之间的关系式
Tab.1 The relationship of *Octopus vulgaris* oxygen consumption rate (y) and water temperature (x) under different dry body weight

体质量/g body weight	关系式 function	R^2	a	b	c	P
5.79 ± 0.97	$y = -1.164x^2 + 6.9288x - 1.457$	0.8252	-1.164	6.9288	-1.457	0.0004
8.37 ± 1.67	$y = -1.0584x^2 + 6.3936x - 1.4244$	0.8660	-1.0584	6.3936	-1.4244	0.0003
13.65 ± 1.45	$y = -1.0015x^2 + 6.1044x - 1.8109$	0.8870	-1.0015	6.1004	-1.8109	0.0002
16.51 ± 1.83	$y = -0.8801x^2 + 5.4708x - 1.8391$	0.8488	-0.8801	5.4708	-1.8391	0.0002

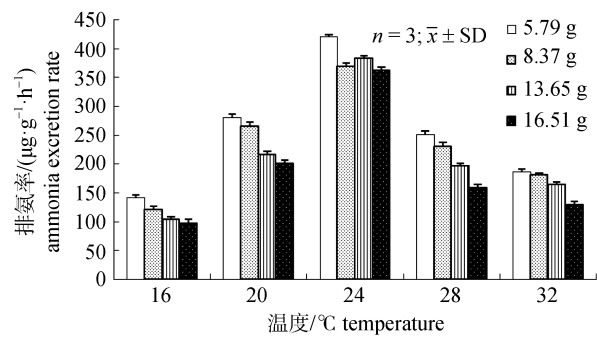


图 2 温度变化对真蛸排氮率的影响
Fig.2 The impact of water temperature change on *Octopus vulgaris* ammonia excretion rate

实验水温分别为 16℃、20℃、24℃、28℃和 32℃时,真蛸的排氮率分别为 11.10 μg/(g·h)、22.65 μg/(g·h)、36.69 μg/(g·h)、19.86 μg/(g·h)和 15.71 μg/(g·h)。

水温对真蛸呼吸代谢的影响可用 Q_{10} 值来表示。不同水温下,单位干重真蛸耗氧率 Q_{10} 在 20~24℃时最大,为 2.94(表 3),在 28~32℃时最小,为 0.32。单位干重真蛸排氮在 16~24℃时最大, Q_{10} 为 3.88,在 24~28℃时最小, Q_{10} 为 0.28。

2.2 不同体质量真蛸耗氧率和排氮率的变化

根据耗氧率大小,可将水生动物分为低型、中型、高型、极高型 4 种类型,本研究中不同体质量真蛸的呼吸代谢变化的结果表明,真蛸为极高耗氧型动物,在相同水温条件下,不同体质量真蛸的呼吸变化不甚明显(图 3)。在同一温度下,真蛸的耗氧率随着体质量的增加而缓慢降低,体质量越大的真蛸,其耗氧率越低,但整体降低速率不明显。经单因素方差检验,体质量对耗氧率没有显著影响($P>0.05$)。

在不同水温条件下,不同体质量真蛸耗氧率的变化规律符合幂指数增长模式(表 4),水温 16~32℃时,真蛸耗氧率变化中 a 值范围为 4.8878~11.727, b 值范围为 0.033~ -0.013。

真蛸不同体质量与排氮率的变化,和不同体质量与耗氧率关系类似(图 4)。在相同水温条件下,随着体质量的增加,真蛸排氮率基本无变化。经单因素方差检验,体质量对排氮率的影响未达显著水平($P>0.05$)。

在不同水温条件下,不同体质量真蛸排氮率

表 2 不同体质量真蛸排氨率(y)与温度(x)之间的关系式

Tab.2 The relationship of *Octopus vulgaris* ammonia excretion rate (y) and water temperature (x) under different dry body weight

体质量/g body weight	关系式 function	R^2	a	b	c	P
5.79 ± 0.97	$y = -51.112x^2 + 312.66x - 119.88$	0.8128	-51.112	312.66	-119.88	0.0012
8.37 ± 1.67	$y = -45.108x^2 + 279.24x - 107.45$	0.8362	-45.108	279.24	-107.45	0.0010
13.65 ± 1.45	$y = -45.795x^2 + 284.99x - 137.85$	0.7009	-45.795	284.99	-137.85	0.0036
16.51 ± 1.83	$y = -45.131x^2 + 273.25x - 132.73$	0.6624	-45.131	273.25	-132.73	0.0072

表 3 不同水温下真蛸耗氧率和排氨率的 Q_{10} 值

Tab.3 The Q_{10} value of oxygen consumption rate $Q_{10(O)}$ and ammonia excretion rate $Q_{10(N)}$ of *Octopus vulgaris* under different water temperature

温度/℃ temperature	$Q_{10(O)}$	$Q_{10(N)}$
16-20	2.57	2.92
16-24	2.74	3.88
16-28	1.38	1.61
16-32	0.96	1.18
20-24	2.94	2.76
20-28	1.01	0.87
20-32	0.69	0.71
24-28	0.35	0.28
24-32	0.33	0.36
28-32	0.32	0.47

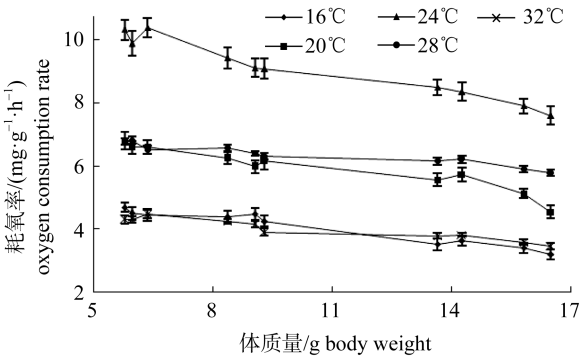


图 3 不同体质量真蛸耗氧率的变化

Fig.3 The impact of body weight on *Octopus vulgaris* oxygen consumption rate

的变化规律与耗氧率类似, 均符合幂指数增长模式(表 5), 真蛸排氨率变化中, a 值范围为 4.887 8~11.727 0, b 值范围为 0.033~0.013。

2.3 呼吸排泄底物分析

通过呼吸排泄底物分析, 研究真蛸的 O:N 与体质量和温度之间的关系。不同水温条件下真蛸的 O:N 的比值不同(图 5), 在设定温度 16℃、20℃、24℃、28℃及 32℃下 O:N 的变化范围为 20.81~

35.97。O:N 在 24℃时最低, 在 28℃时最高, 真蛸 O:N 在 16~24℃及 28~32℃内随着温度的升高而降低, 即呼吸底物中蛋白质比例增加, 脂肪及糖比例降低; 而在 24~28℃内随着温度的升高, O:N 也增加, 说明在 24~28℃温度范围内, 真蛸呼吸时所消耗的能量中, 蛋白质所提供的供能比例不断减少。

3 讨论

3.1 水温变化对真蛸呼吸代谢的影响

3.1.1 水温变化对真蛸呼吸的影响 水生生物的呼吸代谢既受到自身内在因素的控制, 又受外界环境因子的影响, 其变化规律是生物体呼吸代谢的重要研究内容。国内外学者研究表明, 在适宜温度范围内, 绝大多数生物耗氧率及排氨率的变化与温度变化成正比^[9-11], 最大呼吸代谢出现的外界温度为该生物的最适生活温度。真蛸是变温动物, 水温是影响其呼吸代谢的重要环境因子之一。本研究得出的真蛸耗氧率研究结果与夏灵敏等^[10]对曼式无针乌贼(*Sepiella maindroni*)幼体的研究结果一致, 这说明真蛸的代谢强度受到环境温度影响十分明显。当水温升高时, 真蛸体内组织器官活动性能提高, 生理活动加快, 对氧气的需求量也相应增加。当温度升高超过真蛸适宜温度时, 耗氧率开始下降, 这说明过高的温度使真蛸代谢强度过大, 身体机能受到影响及损害。

3.1.2 水温变化对真蛸代谢的影响 排泄是生物进行能量代谢的基本生理活动之一。氨是生物代谢的主要产物, 不仅反映了动物的生理状态, 也反映了环境条件的影响, 氨的变化情况直接反映了蛋白质作为能量代谢底物的情况^[13]。本研究结

表 4 不同温度下真蛸耗氧率(y)与干体质量(x)之间的关系式

Tab.4 The relationship of *Octopus vulgaris* oxygen consumption rate (y) and dry body weight (x) under different water temperature

温度/℃ temperature	关系式 function	R^2	a	b	P
16	$y = 5.5694e^{-0.033x}$	0.9650	5.5694	-0.033	0.0001
20	$y = 7.8539e^{-0.027x}$	0.8732	7.8539	-0.027	0.0030
24	$y = 11.727e^{-0.026x}$	0.9554	11.727	-0.026	0.2937
28	$y = 7.2267e^{-0.013x}$	0.9361	7.2267	-0.013	0.0055
32	$y = 4.8878e^{-0.019x}$	0.8978	4.8878	-0.019	0.0001

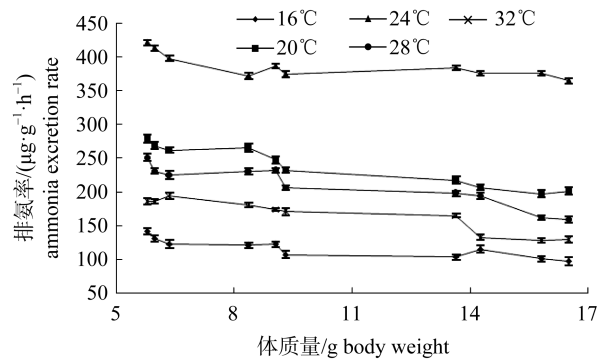


图 4 不同体质量真蛸排氨率的变化

Fig.4 The impact of body weight on *Octopus vulgaris* ammonia excretion rate

果与 Melzner 等^[14]的研究结果类似。Cerezo 等^[15]对西班牙穆尔西亚省捕获的真蛸研究表明,当水温在 13.75~22.23℃时,真蛸个体摄食后的耗氧量增加了 2 倍,在摄食 6~16 h 后达到最高,也支持了本研究结果。本研究中水温变化对真蛸代谢影响的拟合曲线在 24℃达到最高点,在该温度下真蛸生理活动达到顶峰,呼吸代谢速率最快,说明 24℃左右可能为真蛸生活最适温度。当温度超过 24℃时,真蛸排氨率急剧下降,这说明由于温度过高,致使真蛸生理机能受到影响。其他生物在温度过高时也有类似现象发生,例如杨章武等^[16]

对福建地区紫海胆(*Anthocidaris crassispina*)幼苗进行呼吸代谢实验,当水温达到 33℃时,紫海胆幼苗出现棘下垂和脱落等异常现象,即高水温是导致生物生长异常及死亡的主要原因。本研究结果表明,南海野生真蛸生长最适温度在 24℃左右,当水温超过耐受温度时,正常生理活动受到破坏,导致排氨率波动异常,持续下降。

3.1.3 水温变化对真蛸代谢强度的影响 Q_{10} 的大小反映了水温对代谢强度的影响^[17]。 Q_{10} 值表示温度每上升 10℃所引起的耗氧率的变化率,可量度水生动物对温度变化做出代谢调整的能力,反映适宜范围内温度上升引起的酶和生理活动对能量的需求。由于生物的生理功能差异和对环境不同的适应机制,物种间 Q_{10} 值差异很大,例如甲壳动物一般为 2~3,并随着温度的增高而减小^[18],而双壳贝类为 1~2.5,平均值为 2^[19]。本研究结果表明,南海野生真蛸在水温 16~24℃时耗氧率 Q_{10} 及排氨率 Q_{10} 分别为 1.38~2.94 及 1.18~3.88,与上述研究结果接近,故 16~24℃可能为南海野生真蛸适宜生活水温范围。

3.2 体质量变化对真蛸呼吸代谢的影响

水生动物的耗氧率不仅与环境因素有关,还

表 5 不同水温条件下真蛸排氨率(y)与干体质量(x)之间的关系式

Tab.5 The relationship of *Octopus vulgaris* ammonia excretion rate (y) and body weight (x) under different water temperature

温度/℃ temperature	关系式 function	R^2	a	b	P
16	$y = 151.89e^{-0.026x}$	0.7652	151.89	-0.026	0.0000
20	$y = 325.70e^{-0.031x}$	0.9454	325.70	-0.031	0.0000
24	$y = 422.35e^{-0.009x}$	0.5597	422.35	-0.009	0.0000
28	$y = 298.19e^{-0.035x}$	0.8731	298.19	-0.035	0.0000
32	$y = 239.04e^{-0.036x}$	0.8820	239.04	-0.036	0.0000

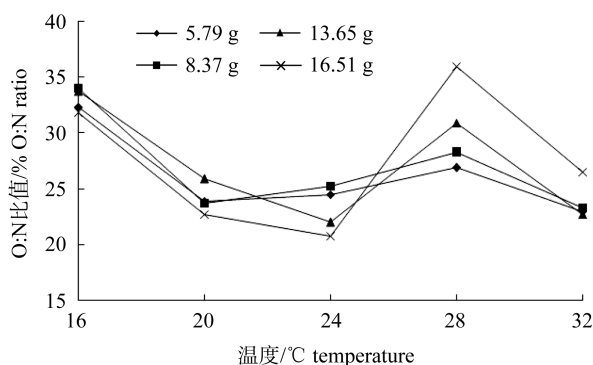


图5 真蛸 O:N 比与体质量和温度的关系

Fig.5 The relationship between body weight, water temperature and O:N ratio of *Octopus vulgaris*

与其本身的形态、大小、行为及生理特点有关。体质量是影响动物耗氧率的重要因素之一,通常小个体动物因其生长发育的需要相对需要更多的营养,另外其活动强度和代谢水平也高于大个体动物^[20]。本研究结果表明,南海野生真蛸的呼吸水平随着体质量的增高变化不明显,排氮率也有类似的现象,这与张晓梅等^[21]对长蛸(*Octopus variabilis*)的实验结果一致。王春琳等^[22]认为曼氏无针乌贼较大个体的耗氧量大,溶解氧消耗更快,这与本研究结果有部分差异,这可能是由于种类、地理位置和成熟度差异造成的。

3.3 真蛸呼吸和排泄特性分析

O:N 比是表示生物呼吸代谢底物的重要参数,即 O:N 比越大,其在呼吸时消耗的能量越多由脂肪或者糖分等提供,越少由蛋白质提供^[23]。本研究表明,真蛸呼吸底物中蛋白质比例较高,这与 Katsanevakis 等^[24]研究的希腊萨罗尼科斯群岛海域真蛸的结果相类似,其主要以蛋白质为底物进行能量代谢。本研所得真蛸 O:N 比在 24°C 时最低,与夏灵敏等^[12]对浙江附近海域曼氏无针乌贼幼体 O:N 比研究结果有所差异^[10],这可能是由于不同海域真蛸栖息地理及环境条件、自身构造及生活习性不同造成的,是否与真蛸贮能物质的生化成分和消化生理特性有关,尚需进一步研究。O:N 比值与环境对有机体的胁迫是紧密相关的,可以作为生物体适应环境压力的一项指标,本研究中,南海野生真蛸 O:N 随温度变化波动明显,

说明水温的变化对真蛸造成了胁迫。

由于捕捞过度及海洋性环境污染,中国真蛸传统捕捞产量持续下降。如果不采取有效措施进行保护利用,真蛸渔业不可能持续发展,因此,合理保护利用真蛸资源、大力发展真蛸增养殖业显得越来越重要。本研究探讨了野生真蛸呼吸代谢,填补了南海野生真蛸呼吸代谢研究的空白,可为南海区乃至中国海洋真蛸资源量评估、近岸真蛸增养殖业发展和近海海洋牧场真蛸增殖容量评估等方面提供参考。

参考文献:

- [1] 郑元甲, 凌建忠, 严利平, 等. 东海区头足类资源现状与合理利用的探讨[J]. 中国水产科学, 1999, 6(2): 52-56.
- [2] 陈新军, 刘必林, 王尧耕. 世界头足类[M]. 北京: 海洋出版社, 2009: 312-313.
- [3] 吕国敏, 吴进锋, 陈利雄. 我国头足类增养殖研究现状及开发前景[J]. 南方水产, 2007, 3(3): 61-66.
- [4] 马之明, 徐实怀, 贾晓平. 蛸类渔业概况及增养殖研究现状与展望[J]. 南方水产, 2008, 4(5): 69-73.
- [5] Estefanell J, Socorro J, Alonzo J M, et al. Evaluation of two anaesthetic agents and the passive integrated transponder tagging system in *Octopus vulgaris* (Cuvier 1797) [J]. Aquacult Res, 2011, 42: 399-406.
- [6] 林国清. 真蛸人工繁殖初步试验[J]. 福建水产, 2008, 26(3): 17-20.
- [7] Villanueva R, Koueta N, Riba J, et al. Growth and proteolytic activity of *Octopus vulgaris* paralarvae with different food rations during first feeding, using Artemia nauplii and compound diets[J]. Aquaculture, 2002, 205: 269-286.
- [8] Winberg G. Rate of metabolism and food requirements of fishes[J]. Fish Res Bd Can Trans Ser, 1956, 194: 1-202.
- [9] 宋苏祥, 刘洪柏. 史氏鲟稚鱼的耗氧率和窒息点[J]. 中国水产科学, 1997, 4(5): 100-103.
- [10] 杨红生. 温度对墨西哥湾扇贝耗氧率及排泄率的影响[J]. 海洋学报, 1998, 20(4): 91-96.
- [11] 王俊, 姜祖辉. 栉孔扇贝耗氧率和排氮率的研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1157-1160.
- [12] 夏灵敏, 樊甄姣, 吴常文, 等. 曼氏无针乌贼幼体耗氧率和排氮率及其影响因素[J]. 渔业现代化, 2009, 36(4): 42-45.
- [13] 雷衍之. 水产化学. 养殖水环境化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [14] Melzner F, Bock C, Portner H O. Temperature-dependent

- oxygen extraction from the ventilatory current and the costs of ventilation in the cephalopod *Sepia officinalis* [J]. *J Comp Physiol B: Biochem Syst Environ Physiol*, 2006, 176(7): 607–621.
- [15] Cerezo V J, Garcia G B. Influence of bodyweight and temperature on post-prandial oxygen consumption of common octopus (*Octopus vulgaris*) [J]. *Aquaculture*, 2004, 233(5): 599–613.
- [16] 杨章武, 郑雅友, 李正良, 等. 紫海胆人工养殖试验[J]. *福建水产*, 2001, 20(3): 14–18.
- [17] Bayne B, Newell R. Physiological energetics of marine molluscs [M]//The mollusca. New York: Academic Press, 1983, 4(1): 407–415.
- [18] Watetman T H. Respiration in the physiology of Crustacea [M]. New York: Academic Press, 1960: 35–100.
- [19] 常亚青, 王子臣. 魁蚶耗氧率的初步研究[J]. *水产科学*, 1992, 11(12): 1–6.
- [20] 刘青, 朱海燕, 刘芳, 等. 温度、盐度对强壮箭虫耗氧率和窒息点的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(11): 3081–3086.
- [21] 张晓梅, 王春琳, 李来国, 等. 耗氧率及溶氧胁迫对长蛸体内酶活力的影响[J]. *水生态学杂志*, 2010, 3(2): 72–79.
- [22] 王春琳, 吴丹华, 董天野, 等. 曼氏无针乌贼耗氧率及溶氧胁迫对其体内酶活力的影响[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(11): 2420–2427.
- [23] Aldridge D W, Payne B S, Miller A C. Oxygen consumption, nitrogenous excretion, and filtration rate of *Dreissena polymorpha* at acclimation temperature between 20 to 32°C [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1995, 52: 1761–1767.
- [24] Katsanevakis S, Stephanopoulou S, Miliou H, et al. Oxygen consumption and ammonia excretion of *Octopus vulgaris* (Cephalopoda) in relation to body mass and temperature [J]. *Mar Biol*, 2004, 146(4): 725–732.

Influence of different temperature and body weight on *Octopus vulgaris* respiratory metabolism in the South China Sea

FENG Xue^{1,2}, CHEN Pimao¹, QIN Chuanxin¹, ZHOU Yanbo¹, YUAN Huarong¹, QIAO Peipei^{1,2}, LI Na^{1,2}

1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science; Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources and Environment, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China;
2. College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: The relationship between oxygen consumption rate, ammonia excretion rate and water temperature, body weight and the respiratory metabolism of wild *Octopus vulgaris* in South China Sea were investigated with a breather apparatus in closed static seawater system. The experimental results showed that water temperature had apparent effect on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate ($P < 0.05$), while the influence of weight was not significant ($P > 0.05$). Under 16–32°C, the oxygen consumption rate and ammonia excretion rate first increased and then decreased with increasing temperature; under the same temperature, no significant changes were observed among different body weight. Temperature of 24°C may be the kick point for *Octopus vulgaris* respiratory metabolism. Under this temperature, the highest oxygen consumption rate, ammonia excretion rate and fastest metabolic rate were recorded. At 24°C, *Octopus vulgaris* oxygen consumption rate and ammonia excretion rate were 0.86 mg/(g·h) and 36.69 μg/(g·h) per unit of body mass, respectively. The result of respiratory metabolism substrate analysis showed that under 24–28°C the ratio of O: N increased with temperature increasing, which indicated that the proportion of energy provided by protein decreased.

Key words: *Octopus vulgaris*; South China Sea; oxygen consumption rate; ammonia excretion rate; water temperature; body weight

Corresponding author: CHEN Pimao. E-mail: cpmgd@yahoo.com.cn