

## 电子传递系统(ETS)活力测定法及其 在海洋生态系统中的应用

汤 鸿 李少菁 王桂忠

(厦门大学海洋学系, 厦门 361005)

**摘 要** 本文介绍了 ETS 的概念、ETS 活力测定法的原理和方法;概述了 ETS 活力在海洋中的时空变化及其影响因子和在海洋生态研究中的应用;最后对该法作简要的评价并提出展望。

**关键词** 电子传递系统活力 呼吸率 海洋生态系统

在海洋生态系统的研究中,呼吸率的测定是十分重要的。处于生态系不同结构层次的生物的呼吸率有着不同的意义。海洋生物个体的呼吸率是生物代谢率高低的度量;种群的呼吸率可以用来粗略地估计动物的产量,如深海底栖动物区系的产量;生态系统生物呼吸率的测量则有助于弄清海洋生态系统的结构和功能特征<sup>[1]</sup>。譬如:计算深海水团的年龄和循环模式;计算大洋中 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的分布状况;提供大洋生态系中碳、氧和生物可利用能量的经济信息;判断生态系的成熟程度和效率。因此,呼吸率是海洋生态学研究的重要参数之一。

常规的呼吸率测定法,一般是把动物驯养在密闭容器中,过一段时间后或是连续地测量容器内溶解氧含量或压力的变化来计算呼吸率。最常用的是水瓶法(water bottle method),也称为 Winkler 法;此外还有氧电极法(或称极谱法)(oxygen electrode or polarographic method)、压力测定法(manometric method)、浮沉子法(catesian diver method)、径流装置法(flow-through system method)等<sup>[2]</sup>。这些方法各有其优缺点,归结起来,除径流装置法外,都要求在密闭容器中并模拟海区现场环境条件驯养动物。由于动物被捕捞时难免要受到扰动甚至受伤,使生理状态发生了变化;而且,密闭容器中氧气含量随时间推移不断降低,这些都会影响动物正常的呼吸率。因此,常规的方法耗时,且灵敏度、精确度都比较低,通常只能在实验室测定。这就激发海洋生物工作者去探索新的、快速、简便、灵敏度和精确度更高的呼吸率测定法——呼吸电子传递系统(respiratory electron transport system,简称 ETS)活力测定法。

ETS 活力测定法是通过测定 ETS 活力间接地估算生物潜在呼吸率的方法。Packard (1971)<sup>[3]</sup>首次采用呼吸电子传递系统(EST)活力测定结果计算浮游植物的呼吸率。尔后,他与他的同事又多次改进了这种方法<sup>[4~7]</sup>。自此,该法如雨后春笋般发展起来,人们纷纷用它来研究海洋中细菌、浮游植物、浮游动物、底栖生物、鱼类、沉积物和水体(包括水柱、水层、水团)等的耗 O<sub>2</sub> 率。

收稿日期:1994-07-02

# 1 ETS 概念和活力测定法

## 1.1 ETS 的基本概念

ETS 即呼吸链,由细胞色素、黄素蛋白、金属离子和有关的脱氢酶、氧化酶等组成,存在于细胞的线粒体和微粒体中。它的功能是把电子从待氧化的底物逐级传递到分子氧,并在电子传递过程中释放出能量,经氧化磷酸化作用合成 ATP,供给生物体生命活动的需要。图 1 表示 ETS 及其与三羧酸循环以及氧化磷酸化作用的关系<sup>[8]</sup>。

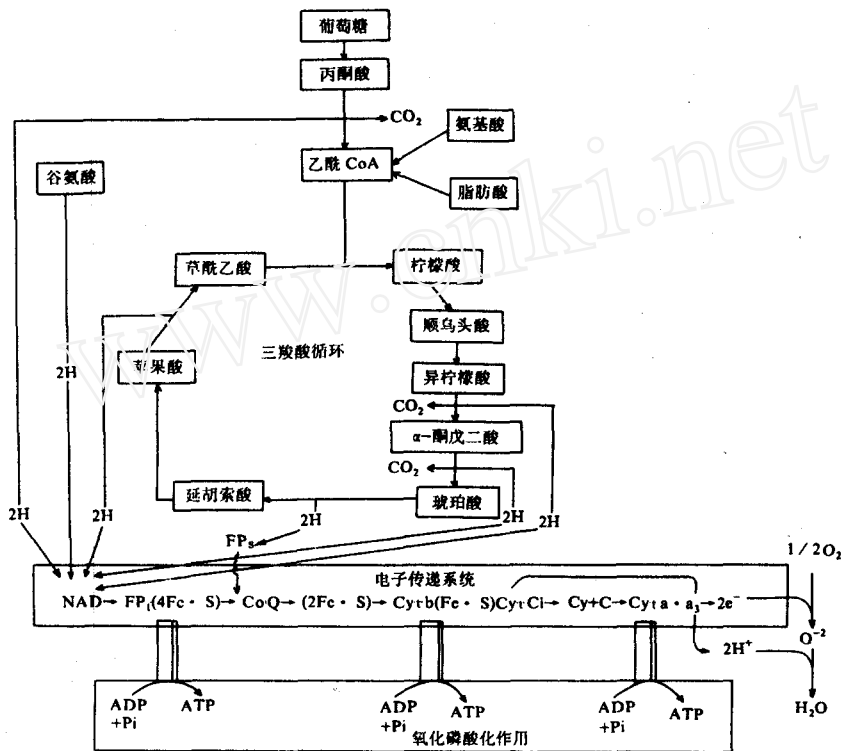


图 1 三羧酸循环、氧化磷酸化作用和电子传递系统的关系(引自 Mayzaud, 1986)

## 1.2 原理

ETS 是一个复杂的多酶体系,所以测 ETS 活力只能是测定电子传递过程中某一限速步骤酶反应的活力,此即 C<sub>o</sub>Q-Cytb 复合体的氧化<sup>[3]</sup>。现在普遍用于测定 ETS 活力的 INT-甲磨法,是以 INT(2-p-iodophenyl-3-p-nitrophenyle-5-phenyl tetrazolium chloride,即 2-对碘苯基-3-对硝基苯-5-苯基四唑氯化物)作为外来电子受体,在适宜底物(NADH 和 NADPH)存在的条件下,与 C<sub>o</sub>Q-Cytb 复合体反应(图 2)<sup>[3]</sup>。反应后 C<sub>o</sub>Q-Cytb 复合体被氧化,INT 则被还原为甲磨(formazan)。甲磨是一种有色物质,可以在 490nm 处测其消光值,据此计算出 ETS 活力。再根据 ETS 活力与呼吸率之间的经验关系,把 ETS 活力换算成呼吸率。

## 1.3 方法

由于测试对象不同和方法的不断改进,目前有许多 ETS 活力测定法,各种方法在缓冲液

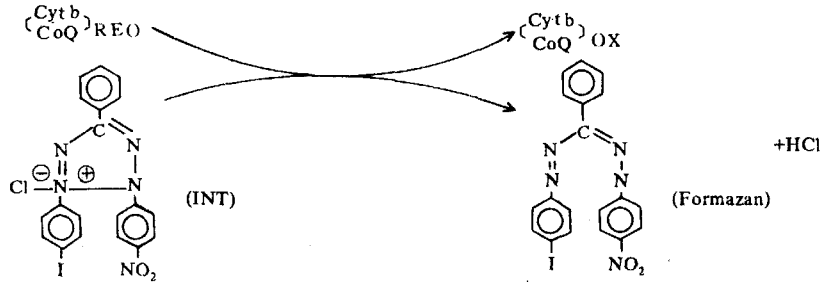


图2 INT 与 C<sub>1</sub>Q Cytb 复合体的氧化还原反应(引自 Packard, 1971)

的组成和 pH 值、底物溶液和反应终止试剂的成分和浓度、是否加表面活性剂 Triton X-100 等方面均有差别。

Christensen & Packard (1979)<sup>[9]</sup>曾比较了 6 种 ETS 测活方法测定浮游植物和细菌的结果,发现 ETS 活力有 4~10 倍的差异,而是否加 Triton X-100 是造成差别的主要原因,加入 Triton X-100 大大提高了 ETS 活力。采用他们所提出的校正因子可以消除不同方法引起的差别,使不同方法成为可比。因篇幅所限,这里对 ETS 具体的测活方法不做赘述。

## 2 海洋生物 ETS 活力的影响因子

海洋生物的呼吸受其自身生理状态和许多环境因子的影响<sup>[10]</sup>,作为呼吸率的量度,ETS 活力也可能类似地受这些因素的影响。

### 2.1 生理状态

动物从自然海区转移到实验室,环境条件的变化对其产生各种压力,使动物生理状态发生变化。动物 ETS 活力可以作为衡量动物生理状态的指标。

浮游甲壳动物毛虾(*Acetes sibogae*)、澳洲纺缍水蚤(*Acartia australis*)和挪威真刺水蚤(*Euchaeta norvegica*)等被捕捞到实验室后,ETS 活力随时间的推移表现出降低的趋势,呼吸率也有类似变化<sup>[11,12]</sup>。同时,挪威真刺水蚤的 O/N 比值随时间逐渐升高,N/P 比降低,说明动物由蛋白质代谢转化为脂代谢;毛虾和纺缍水蚤的几种生化成分(蛋白质、RNA、ATP)含量也随时间而下降,但能荷值(adenylate energy charge, EC,  $([ATP] + \frac{1}{2}[ADP]) / ([ATP] + [ADP] + [AMP])$ )却维持恒定。这些现象表明,动物从自然海区被捕捞后驯养在实验室条件下代谢率降低的主要原因不是捕捞压力,而是饥饿或食物条件不适。

### 2.2 温度

理论上讲,温度变化引起生物代谢率调节的酶反应有 4 种类型:酶浓度变化、底物及辅助因子浓度的变化、酶结构修饰、同工酶的表达等。而变温动物多通过酶结构修饰改变酶的动力学或热力学性质来调节酶活力<sup>[8]</sup>。如低温时酶催化活力的下降可以通过提高酶-底物亲和力(即减小米氏常数  $K_m$  值)或降低活化自由能  $\Delta G^\ddagger$ (实际测量中以 Arrhenius 活化能  $E_a$  代替)来补偿,以提高有效酶活力。

Packard, et al. (1975)<sup>[7]</sup>曾以太平洋西部 10°~45°N 海区的小型浮游生物、表层和底层浮游动物种群为对象,对温度与 ETS 活力变化的关系进行探讨,结果没能得到 ETS 的  $K_m$  和  $E_a$ 。

有预期的变化。由此他们得出结论,认为温度对浮游动物和小型浮游生物的 ETS 活力影响很小。是否真的如此,尚待更多的证据证明。

### 2.3 压力

King & Packard (1975)<sup>[4]</sup>发现,从 Puget Sound 采集的 4 种浮游动物,太平洋哲水蚤 (*Calanus pacificus*)、太平洋拟长脚蛾 (*Parathemisto pacifica*)、驼背钩虾 (*Cyphocaris* sp.) 和太平洋磷虾 (*Euphausia pacifica*),在实验室条件下,在从 1~100 大气压逐渐加压的过程中,ETS 活力几乎不变;甚至压力大到 500 大气压,ETS 活力变化仍然很小。静水压力对北太平洋东部的表层和底层混合浮游动物种群 ETS 活力亦无显著影响。

压力对浮游动物 ETS 活力没有显著影响与压力对呼吸作用的影响类似<sup>[8]</sup>。

### 2.4 盐度和食物条件

Bamstedt (1980)<sup>[13]</sup>发现,汤氏纺缍水蚤在盐度为 18~43 的变化范围内,ETS 活力和呼吸率均无显著变化;在饥饿或浮游植物过量时,它的 ETS 活力则与摄食率表现出相同的变化模式,即二者均随时间推移降低。

从上述内容可以看到,对 ETS 活力影响因子的研究目前只有少数零散的资料,而且大多数都不能定论,还有待于进一步系统地研究。

## 3 海洋中 ETS 活力的时空变化

### 3.1 季节变化

对海洋生态系中 TES 活力季节变化的研究到目前为止甚少。

Devol & Packard (1978)<sup>[14]</sup>,1974 年在华盛顿湖真光层的调查结果表明,在该年度的前几个月,ETS 活力、<sup>14</sup>C 吸收、叶绿素浓度等都处于最低值,此时海区温度最低,营养盐浓度 ( $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ ) 最高;到春季水华时,上述前三个参数都达到峰值。此外,他们还计算了光合作用率:呼吸率 (P : R) 比值的季节变化:夏末和秋季低,冬季高。Bamstedt (1985)<sup>[15]</sup>、Estrada (1992)<sup>[16]</sup>也发现浮游植物水华时,浮游动物 ETS 活力很高的现象。

Schalk (1988)<sup>[17]</sup>研究了印度洋-太平洋海域浮游动物群落和几种小型漂游生物 ETS 活力的季节变化规律。该海域一年中交替受东南风和西北风的作用,水文条件和营养条件有明显的季节变化。受东南风作用时,形成富营养的上升流,受西北风作用时,形成寡营养的下降流。但动物的 ETS 比活力却没有明显的季节变化,只是由于海区中动物生物量的变化和动物迁移行为,ETS 比活力略有变化。

Bamstedt (1979)<sup>[18]</sup>发现瑞典峡湾 (Swedish Fjord) 深水浮游动物的呼吸率和 ETS 的重量比活力都表现出季节变化,即春季值最高,夏季最低。但二者并非总是平行地变化,且 ETS 活力年变化幅度比呼吸率更大,ETS : R 值的年变化范围为 0.3~5.6。因此,他们对以 ETS : R 值估算耗  $\text{O}_2$  率的可行性提出疑问。

### 3.2 空间变化

对大洋中 ETS 活力水平和垂直分布有过较多报道<sup>[1,17,19~23]</sup>。一般认为 EST 活力在垂直方向上的变化比水平分布特征更为重要。

最大 ETS 活力一般都在富氧的表层,随深度增加 ETS 活力逐渐下降<sup>[17,23]</sup>。King, et al.

(1978)<sup>[22]</sup>指出,ETS活力在垂直方向上的降低是由于温度的降低和浮游动物丰度的下降,且后者影响更大。Devol(1981)<sup>[21]</sup>根据对近岸水域的调查结果,断言O<sub>2</sub>浓度是决定ETS垂直分布的限制因子。

Devol et al. (1976)<sup>[20]</sup>在北大西洋西部对缺氧O<sub>2</sub>层ETS活力垂直分布的研究中发现,氧分压最低处ETS活力最高,而以ATP为指数表征的生物量并不高,因此认为这种现象是生物对环境低氧分压胞内生化适应的结果。

## 4 ETS活力测定在海洋生态研究中的应用

### 4.1 ETS活力作为海洋生物代谢率的指标

越来越多的证据表明,海洋中浮游植物、浮游动物、微生物、底栖生物、水层或水柱有机物、沉积物等的呼吸率都与ETS活力密切相关<sup>[5,13,24~27]</sup>。图3表示几种海洋生物ETS活力与呼吸率R的关系<sup>[5,28,29]</sup>。

海洋生物ETS活力和呼吸率的关系目前还不是十分清楚。Kenner & Ahmed(1975)<sup>[26]</sup>根据Chance及其同事定义的“呼吸调节比率”(respiratory control ratio)概念<sup>[31,32]</sup>,类似地定义了R:ETS值。也有人采用其倒数ETS:R。Yamashita & Bailey(1990)<sup>[27]</sup>认为,当R和ETS活力采用的单位一致时,R:ETS比值反映了生物利用呼吸潜能的分數(因为ETS活力表示生物在最适条件下最大潜在耗氧能力)。例如多数浮游动物R:ETS值为0.5,表明在通常条件下,浮游动物发挥了呼吸耗O<sub>2</sub>潜能的一半。按这种解释,R:ETS值似乎应当总小于1,事实并非如此<sup>[29]</sup>。因此,R:ETS值或ETS:R值的生物学意义还有待探讨。

从理论上讲,R:ETS值是稳定的,实验结果也表明该值不受生物栖息环境的温度和个体大小的影响<sup>[5]</sup>。因此,R:ETS的经验值已被广泛用来从ETS活力估算种群或群落的呼吸率。这大大简便了呼吸率的测定工作。

表1列出一些文献中得到的R:ETS值。

### 4.2 ETS活力作为海洋生态系统特征参数

ETS活力不单用作海洋生物代谢率的指标,还可以作为海洋生态系的特征参数之一。以下举几例予以说明。

在西北非的布兰角(Gape Blanc)上升流系,测得ETS活力在垂直方向上(0~26m)变化很小。真光层底部(1%透光率处,这里约21m)ETS活力仍然很高;1%~0.1%透光率处(约36m)ETS活力还可达真光层的72%。这反映了上升流的混合作用能使浮游生物在水体中较

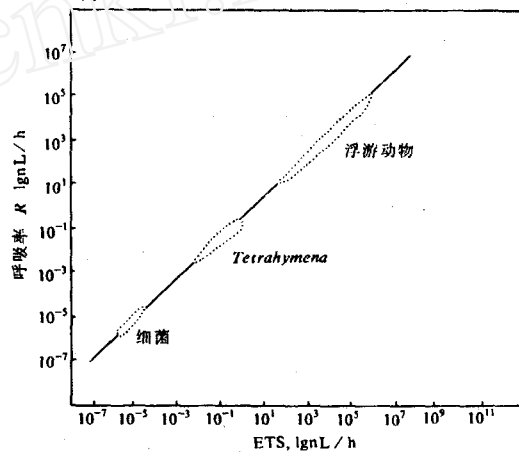


图3 几种海洋生物ETS活力与呼吸率R的关系  
虚点(……)表示:细菌(生长期),Christensen, et al. (1980);原生动物 *Tetrahymena pyriformis*, Finlay & Ochsenein-Gattlen(1983);浮游动物, King & Packard(1975)。实线(—)表示: King & Packard(1975)对几种浮游动物ETS活力与R的回归方程  $R = 0.953 \lg ETS + 0.202 (n = 98)$

表 1 海洋生物 R: ETS 值

作 者	ETS 测活法	采集的海区	水温 (°C)	生 物 种 类	R: ETS	n	
Owens & King(1975)	Packard (1971)改进	Shilshole, Central Puget Sound	8	Copepoda; <i>Calanus pacificus</i>	$\frac{1}{2.02 \pm 0.29}$	48	
King & Packard (1975)	Packard (1971)	Puget Sound, Washington	8	Annelida; <i>Tomopteris septentrionalis</i>	$0.95 \pm 0.29$	5	
				Chaetognatha; <i>Sagitta elegans</i>	$1.25 \pm 0.16$	3	
			10	Arthropoda			
				Amphipoda;			
			10	<i>Parathemisto pacifica</i>	$1.67 \pm 0.24$	7	
				Copepoda			
			16	<i>Calanoides carinatus</i>	$1.98 \pm 0.69$	13	
			15	<i>Calanus pacificus</i> (♀)	$1.57 \pm 0.05$	3	
			15	<i>C. pacificus</i> (V)	$2.79 \pm 0.31$	5	
			15	<i>C. pacificus</i> (N)	$1.71 \pm 0.19$	3	
			15	<i>C. pacificus</i> (I)	$2.24 \pm 0.28$	2	
			15	<i>C. pacificus</i> (W)	$1.79 \pm 0.69$	2	
			16	<i>Calanus</i> sp.	$1.27 \pm 0.43$	3	
			10	<i>Epilabidocera amphitrites</i>	$1.45 \pm 0.49$	4	
			27	Mixed copepods	$2.16 \pm 0.40$	6	
				Decapoda			
			16	<i>Brachyuran</i> larvae (megalops)	$1.38 \pm 0.04$	2	
			23	<i>Pleuromcodes planipes</i>	$1.59 \pm 0.18$	5	
				Euphausiacea			
			8	<i>Euphausia pacifica</i>	$1.35 \pm 0.42$	5	
16	<i>Nematoscelis atlantica</i>	$1.47 \pm 0.42$	8				
13	Ctenophora; <i>pleurobrachia bacheii</i>	$1.44 \pm 0.41$	15				
	Coelenterata						
10	<i>Leuckartiara octona</i>	$0.79 \pm 0.23$	3				
13	<i>Phialidium gregarium</i>	$0.91 \pm 0.18$	9				
13	<i>Stomatoca artra</i>	$0.54 \pm 0.12$	36				
24	Mixed zooplankton	$1.53 \pm 0.59$	7				
Kenner & Ahmed (1975)	Kenner & Ahmed (1975)	实验室培养	18	Diatoms			
				<i>Cyclotella</i> sp.	$0.106 \pm 0.006$	10	
				<i>Thalassiosira fluviatilis</i>	$0.135 \pm 0.011$	8	
				<i>Coscinodiscus angustii</i>	$0.137 \pm 0.006$	17	
				<i>Skeletonema costatum</i>	$0.151 \pm 0.008$	11	
				<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	$0.163 \pm 0.007$	10	
				<i>Ditylum brightwellii</i>	$0.319 \pm 0.010$	13	
				Other phytoplankton			
				<i>Cricospaera carteri</i>	$0.159 \pm 0.007$	11	
				<i>Dunaliella tertiolecta</i>	$0.169 \pm 0.016$	12	
	<i>Isochrysis</i> sp.	$0.177 \pm 0.018$	14				
Yamashita & Bailey (1990)	Owens & King (1975) Kenner & Ahmed (1975)	实验室由卵孵化培养	6.3 ± 0.1	Fish			
				<i>Theragra chalcogramma</i> (larvae) pre-feeding	$0.47 \pm 0.16$ $0.27 \pm 0.06$	— —	

均匀地分布<sup>[1]</sup>。

Martinez et al. (1992)<sup>[33]</sup>调查了地中海西部表层水域小型浮游动物 ETS 活力及叶绿素 a、盐度、温度、海流模式等,以了解物理动力学与水团的化学、生物学特征的关系。他们发现这些参数之间密切相关。如在 Alegrian 海流的锋区和一个大的反气旋涡流周围,ETS/Chl 值特别高,说明地区性环流(regional circulation)显著影响了小型浮游生物种群的分布或生理功能。这些特征对于建立精确的“可预测生物学系统的行为”模型(models of the predictable biological system's behavior)是必需的。

最近,Savenkoff et al. (1993)<sup>[34]</sup>经对 Liguro-Provencal 锋区(地中海)的水柱(可达 800~1200m 深)以水层 ETS 活力近两年的监测发现,和其它寡营养水域不同,ETS 活力并不随深度增加而下降,而是在 300~400m 处有最大值,而且锋区的边缘地带比中央地带 ETS 活力高;在 200~800m 处,代谢 CO<sub>2</sub> 产量也是边缘地带高于中央地带。由此得出两个结论:(1)无光层有离散的微生物积聚现象;(2)海流的中央带和锋面的有机物有向岸转移的趋势。

#### 4.3 计算全球新产量

Packard et al. (1988)<sup>[35]</sup>根据太平洋、大西洋寡营养水域中 ETS 活力的数值,重新估算了全球新产量(global new production)的数值,结果 C 为 21.9 Gt/a,是以往结果的 4~11 倍。

## 5 展 望

ETS 活力测定法在 70 年代发展很快,主要是希望能以 ETS 活力测定法取代常规的呼吸率测定法。这个设想是很有意义的。而且,从某种意义上说,ETS 活力比耗 O<sub>2</sub> 率更能反映出生物在自然海区中原有的呼吸作用情况。因为酶活力对环境变化的适应需要一段时间,是一种中等快的适应过程(medium-term adapting process);而动物的呼吸耗 O<sub>2</sub> 则是一种快速适应过程(fast adapting process),对变化的环境立即表现出补偿反应(compensation reaction)。

但在实际应用时存在一些问题:(1)ETS 活力反映的并不是生物实际的生理耗 O<sub>2</sub> 率,而是其潜在的最大呼吸率(因酶活分析都是在最适条件下测最大反应速率  $V_{max}$ ),即生物耗 O<sub>2</sub> 率的上限。而实际情况下酶反应的条件并非总是最适的(如生理底物浓度)。(2)ETS 活力作为呼吸率的指标,通常是从  $R:ETS$  的经验比值换算出呼吸率  $R$ 。理论上, $R:ETS$  值是稳定的,实际上却可能有 3~4 倍甚至更大的波动。所以对来自不同的生态系,采集的时间、地点、环境条件、生物种类不同的样品,要重测呼吸率校准,否则会影响结果的准确性。这大大限制了 ETS 活力测定法的应用,可能也是该法未能如预期的那样,代替常规呼吸率测定法的主要原因。

因此,从 80 年代至今,ETS 活力多作为反映水体生物学特征的一项指标,和其它生物、理化、海洋学及水文参数结合,探讨它们之间的关系。而对 ETS 活力测定法以及生物 ETS 活力的研究变得非常少。

由于 ETS 活力测定法有着上述其它呼吸率测定法所不可比拟的优点,对 ETS 活力作进一步的研究还是很有必要的。比如动物生长阶段、食物的质和量、温、盐度等对 ETS 活力的影响,不同时间尺度的各种环境条件变化对 ETS 活力的影响等。作者设想,动物个体器官的 ETS 活力变化是否可以作为污染或病变的指标。随着研究的深入,对解决上述问题以及 ETS 活力测定法的进一步完善和应用,都将有所帮助。

## 参 考 文 献

- 1 Packard T T. Respiration and respiratory electron transport activity in plankton from the Northwest African upwelling area. *J. Mar. Res.* ,1979,37(4):711~742
- 2 Omori M & Ikeda T. *Methods in Marine Zooplankton Ecology*. John Wiley & Sons,eds. ,New York,1984,91~98
- 3 Packard T T. The measurement of respiratory electron-transport activity in marine phytoplankton. *J. Mar. Res.* ,1971,29(3):235~244
- 4 King F D & Packard T T. The effect of hydrostatic pressure on respiratory electron transport system activity in marine Zooplankton. *Deep-Sea Res.* ,1975,22(2)99~105
- 5 King F D & Packard T T. Respiration and the activity of the respiratory electron transport system in marine zooplankton. *Limnol. and Oceanogr.* ,1975,20(5):849~854
- 6 Owens T G & King F D. The measurement of respiratory electron-transport-system activity in marine zooplankton. *Mar. Biol.* ,1975,30(1):27~36
- 7 Packard T T, et al. The effect of temperature on the respiratory electron transport system in marine plankton. *Deep-sea Res.* ,1975,22(4):237~249
- 8 Mayzaud P. Enzymatic measurements of metabolic processes concerned with respiration and ammonia excretion. In: *The Biology Chemistry of Marine Copepods*. Corner E D S & O'Hara S C M, eds, Clarendon Press, Oxford, 1986, 226~259
- 9 Christensen J P & Packard T T. Respiratory electron transport activities in phytoplankton and bacteria; Comparison of methods. *Limnol. Oceanogr.* ,1979,24(3):576~583
- 10 Conover R J. Transformation of organic matter. In: *Marine Ecology*, Kinne O ed. John Wiley, New York, 1978, 221~499
- 11 Ikeda T & Skjoldal H R. The effect of laboratory conditions on the extrapolation of experimental measurements to the ecology of marine zooplankton. b. Changes in physiological activities and biochemical components of *Acetes*. *Mar. Bioll.* ,1980,58(4):285~294
- 12 Skjoldal H R, et al. Changes with time after capture in the metabolic activity of the carnivorous copepod *Euchaeta norvegica* Boeck. *JEMBE*, 1984, 83(3):195~210
- 13 Båmstedt U. ETS activity as one estimator of respiratory rate of zooplankton populations. The significance of variations in environmental factors. *JEMBE* 1980, 42:267~283
- 14 Devol A H & Packard T T. Seasonal changes in respiratory enzyme activity and production in Lake Washington. *Microplankton. Limnol. Oceanogr.* 1978, 23:104~111
- 15 Båmstedt U. Spring-bloom dynamics in Koster-fjorden, Western Sweden, variation in phytoplankton production and macrozooplankton characteristics. *Sarsia*, 1985, 70:69~82
- 16 Estrada M, et al. Respiratory electron transport activity in plankton of the Weddell and Scotia Seas during late spring-early summer; Relationships with other biological parameters. *Polar Biol.* 1992, 12(1):35~42
- 17 Schalk P H. Respiratory electron transport system(ETS)activities in Zooplankton and micronekton of the Indo-Pacific region. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* ,1988,44(1):25~35
- 18 Båmstedt U. Seasonal variation in the respiratory rate and ETS activity of deep-water zooplankton from the Swedish west coast. In: *Cyclic phenomena in marine plants and animals. Proceedings of the 13th European Marine Biology symposium*. Naylor E & Hartnoll R G, eds. Pergamon Press, Oxford, 1979, 267~274
- 19 Christensen J P & Packard T T. Sediment metabolism from the northwest African upwelling system. *Deep-Sea Res.* ,1977, 24(4):331~343
- 20 Devol A H, et al. Respiratory electron transport activity and adenosine triphosphate in the oxygen minimum of the eastern tropical North Pacific. *Deep-Sea Res.* ,1976,23:963~973
- 21 Devol A H. Vertical distribution of zooplankton respiration in relation to the intense oxygen minimum zones in two British



- Columbia fjords. *J. Plankton Res.* 1981, 3:593~602
- 22 King F D, et al. Plankton metabolic activity in the eastern tropical North Pacific. *Deep-Sea Res.* ,1978, 25(8):689~704
- 23 Packard T T, et al. Vertical distribution of the activity of the respiratory electron transport system in marine plankton. *Limnol. Oceanogr.* 1971, 16(1):60~70
- 24 Olánczuk-Neyman K M & Vosjan J H. Measuring respiratory electron-transport-system activity in marine sediment. *Neth. J. Sea Res.* ,1977, 11, 1~13
- 25 Vosjan J H & Nieuwland G. Microbial biomass and respiratory activity in the surface waters of the east Banda Sea and north-west Arafura Sea (Indonesia) at the time of the southeast monsoon. *Limnol. Oceanogr.* 1987, 32(3):767~775
- 26 Wieser W & Zech M. Dehydrogenase as tools in the study of marine sediments. *Mar. Biol.* ,1976, 36:113~122
- 27 Yamashita Y & Bailey K M. Electron transport system (ETS) activity as a possible index of respiration for larval walleye pollock *Theragra Chalcogramma*. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.* ,1990, 56(7):1059~1062
- 28 Finlay B J, et al. Influence of physiological state on indices of respiration rate in protozoa. *Comp. Biochem. Physiol.* ,1983, 74A(2):211~219
- 29 Christensen J P, et al. Respiration and physiological state in marine bacteria. *Mar. Biol.* ,1980, 55(4):257~276
- 30 Kenner R A and Ahmed S I. Measurement of electron transport activities in marine phytoplankton. *Mar. Biol.* ,1975, 33(1):119~128
- 31 Chance B and Williams G R. The respiratory chain and oxidative phosphorylation. *Adv. Enzymol.* ,1956, 27, 65~134
- 32 Chance B. Quantitative aspects of the control of oxygen utilization. In: *Ciba Foundation Symposium on the Regulation of Cell Metabolism*, Wolstenholme G E W & O'Connor C M, eds, Boston, Little Brown, 1958, 91~129
- 33 Martinez R, et al. Chlorophyll *a* and respiratory electron transport system activity in microplankton from the surface waters of the western Mediterranean. *J. Geophys. Res. (C OCEANS)* ,1990, 95(2):1615~1622
- 34 Savenkoff C, et al. Deep microbial communities evidenced in the Liguro-Provençal front by their ETS activity. *Deep-Sea Res.* ,1993, 40A(4):709~725
- 35 Packard T T, et al. Deep-ocean metabolic CO<sub>2</sub> Production: calculations from ETS activity. *Deep-Sea Res.* ,1988, 35(3):371~382

## MEASUREMENT OF RESPIRATORY ELECTRON-TRANSPORT-SYSTEM ACTIVITY AND ITS APPLICATION IN MARINE ECOSYSTEM

Tang Hong, Li Shaojing and Wang Guizhong

*Dept. of Oceanog., Xiamen Univ., Xiamen 361005*

**Abstract** The respiratory electron-transport-system(ETS)activity has advantages as an indicator of respiration in the research of marine ecology. Reviewed in this paper are the method for the measurement of the ETS activity, its temporal and spatial variations in the ocean and factors influencing it; organism's physiological activity, temperature, pressure, salinity and feeding conditions. The application of ETS activity in marine ecosystem is also summarized, including the ETS activity as indicators of metabolic rate of marine organisms, as main parameters of marine ecosystem and as a new method estimating the Global New Production.

**Key Words** electron transport system; respiration rate; indicator; marine ecosystem