

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 24 期
Vol.30 No.24
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 30 卷 第 24 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

三江平原残存湿地斑块特征及其对物种多样性的影响	施建敏, 马克明, 赵景柱, 等 (6683)
叶片碳同位素对城市大气污染的指示作用	赵德华, 安树青 (6691)
土地利用对崇明岛围垦区土壤有机碳库和土壤呼吸的影响	张容娟, 布乃顺, 崔 军, 等 (6698)
缓/控释复合肥料对土壤氮素库的调控作用	董 燕, 王正银 (6707)
北京海淀公园绿地二氧化碳通量	李 霞, 孙 睿, 李 远, 等 (6715)
三峡库区消落带生态环境脆弱性评价	周永娟, 仇江啸, 王 姣, 等 (6726)
应用碳、氮稳定同位素研究稻田多个物种共存的食物网结构和营养级关系	张 丹, 闵庆文, 成升魁, 等 (6734)
基于弹性系数的江苏省能源生态足迹影响因素分析	杨足膺, 赵 媛, 付伍明 (6741)
中国土地利用多功能性动态的区域分析	甄 霖, 魏云洁, 谢高地, 等 (6749)
遮荫处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响	王云贺, 韩忠明, 韩 梅, 等 (6762)
臭氧胁迫对冬小麦光响应能力及 PS II 光能吸收与利用的影响	郑有飞, 赵 泽, 吴荣军, 等 (6771)
地表覆草和覆膜对西北旱地土壤有机碳氮和生物活性的影响	谢驾阳, 王朝辉, 李生秀 (6781)
喀斯特峰丛洼地旱季土壤水分的空间变化及主要影响因子	彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 等 (6787)
极干旱区深埋潜水蒸发量的测定	李红寿, 汪万福, 张国彬, 等 (6798)
灌木林土壤古菌群落结构对地表野火的快速响应	徐赢华, 张 涛, 李 智, 等 (6804)
稻田免耕和稻草还田对土壤腐殖质和微生物活性的影响	区惠平, 何明菊, 黄 景, 等 (6812)
造纸废水灌溉对黄河三角洲盐碱地土壤酶活性的影响	董丽洁, 陆兆华, 贾 琼, 等 (6821)
神农宫扁角菌蚊幼虫种群分布及其与环境因子的相关性	顾永征, 李学珍, 牛长缨 (6828)
三亚珊瑚礁水域纤毛虫种类组成和数量分布及与环境因子的关系	谭烨辉, 黄良民, 黄小平, 等 (6835)
淞江鲈在中国地理分布的历史变迁及其原因	王金秋, 成 功 (6845)
黄海中南部小黄鱼生物学特征的变化	张国政, 李显森, 金显仕, 等 (6854)
甲基溴消毒对番茄温室土壤食物网的抑制	陈云峰, 曹志平 (6862)
离子树脂法测定森林穿透雨氮素湿沉降通量——以千烟洲人工针叶林为例	盛文萍, 于贵瑞, 方华军, 等 (6872)
乡土植物芦苇对外来入侵植物加拿大一枝黄花的抑制作用	李愈哲, 尹 昕, 魏 维, 等 (6881)
遂渝铁路边坡草本植物多样性季节动态和空间分布特征	王 倩, 艾应伟, 裴 娟, 等 (6892)
古尔班通古特沙漠原生梭梭树干液流及耗水量	孙鹏飞, 周宏飞, 李 彦, 等 (6901)
碟果虫实种子萌发对策及生态适应性	刘有军, 刘世增, 纪永福, 等 (6910)
原始兴安落叶松林生长季净生态系统 CO ₂ 交换及其光响应特征	周丽艳, 贾丙瑞, 曾 伟, 等 (6919)
五种红树植物通气组织对人工非潮汐生境的响应	伍卡兰, 彭逸生, 郑康振, 等 (6927)
亚高寒草甸不同生境植物群落物种多度分布格局的拟合	刘梦雪, 刘佳佳, 杜晓光, 等 (6935)
内蒙古荒漠草原地表反照率变化特征	张 果, 周广胜, 阳伏林 (6943)
中国沙棘克隆生长对灌水强度的响应	李甜江, 李根前, 徐德兵, 等 (6952)
增温与放牧对矮蒿草甸 4 种植物气孔密度和气孔长度的影响	张立荣, 牛海山, 汪诗平, 等 (6961)
基于 ORYZA2000 模型的北京地区早稻适宜播种期分析	薛昌颖, 杨晓光, 陈怀亮, 等 (6970)
专论与综述	
区域生态安全格局研究进展	刘 洋, 蒙古军, 朱利凯 (6980)
植物功能性状与湿地生态系统土壤碳汇功能	王 平, 盛连喜, 燕 红, 等 (6990)
农田水氮关系及其协同管理	王小彬, 代 快, 赵全胜, 等 (7001)
虫害诱导挥发物的生态调控功能	王国昌, 孙晓玲, 董文霞, 等 (7016)
土壤微生物资源管理、应用技术与学科展望	林先贵, 陈瑞蕊, 胡君利 (7029)
问题讨论	
从演化的角度评价北京市经济系统可持续发展趋势	黄茹莉, 徐中民 (7038)
基于植物多样性特征的武汉市城市湖泊湿地植被分类保护和恢复	郑忠明, 宋广莹, 周志翔, 等 (7045)
濒危兰科植物再引入技术及其应用	陈宝玲, 宋希强, 余文刚, 等 (7055)
研究简报	
实验条件下华北落叶松和白杆苗期生长策略的差异比较	张芸香, 李海波, 郭晋平 (7064)
基于源-库互反馈的温室青椒坐果时空动态模拟	马韞韬, 朱晋宇, 胡包钢, 等 (7072)
西双版纳小磨公路及其周边道路对蛇类活动的影响	孙 戈, 张 立 (7079)
温度变化对藻类光合电子传递与光合放氧关系的影响	张 曼, 曾 波, 张 怡, 等 (7087)
黄土区六种植物凋落物与不同形态氮素对土壤微生物量碳氮含量的影响	王春阳, 周建斌, 董燕婕, 等 (7092)
食细菌线虫 <i>Caenorhabditis elegans</i> 的取食偏好性	肖海峰, 焦加国, 胡 锋, 等 (7101)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 424 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 48 * 2010-12

温度变化对藻类光合电子传递与 光合放氧关系的影响

张 曼^{1,2}, 曾 波^{2,*}, 张 怡¹, 韩博平¹

(1. 暨南大学水生生物研究所, 广州 510632;

2. 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 三峡库区植物生态与资源重庆市重点实验室, 西南大学生命科学学院, 重庆 400715)

摘要: 由于直接测定藻类的光合速率耗时且不方便, 研究者们常通过测定藻类光合电子传递速率的方式来间接反映其光合速率, 理论上, 以氧气产生来度量的总光合速率(P_{Gross})与电子传递速率(ETR)之间应该存在很好的线性关系。然而, 由于温度的变化会影响藻类的光呼吸等耗氧的生理过程从而影响光合作用中的氧气释放, 因此温度可能会对 P_{Gross} 与 ETR 之间的线性关系产生影响。研究了温度变化对蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)、菱形藻(*Nitzschia* sp.) 和水生集胞藻(*Synechocystis aquetilis* Sauv.) 的总光合放氧速率(P_{Gross})与电子传递速率(ETR)之间比率的影响, 结果表明 P_{Gross}/ETR 随温度的升高而降低, 低温条件下 P_{Gross}/ETR 比值较高, 说明在相同的电子传递速率的情况下水的光裂解产生的氧有更多的可以释放出来; 在高温条件下 P_{Gross}/ETR 比值相对较低, 说明高温条件下可能有相对更多的水光裂解产生的氧被用于耗氧的生理过程而没有释放出来。研究表明当温度发生变化时, 光合放氧与电子传递之间并不呈线性关系, 这说明将 ETR 作为实际光合生产的评价指标时要谨慎, 不能不加分析地直接应用。

关键词: 藻类; 电子传递速率; 温度; 光合放氧

Temperature affects the relation between photosynthetic electron transport and oxygen evolution of algae

ZHANG Man^{1,2}, ZENG Bo^{2,*}, ZHANG Yi¹, HAN Boping¹

1 Institute of Hydrobiology, Ji'nan University, Guangzhou 510632, China

2 Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region (MOE), Chongqing Key Laboratory of Plant Ecology and Resources Research in Three Gorges Reservoir Region, School of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: In algal research, oxygen evolution is often used as a direct measure of photosynthetic rate. Due to the facility and time limitation, however, direct measurement of oxygen evolution by algae sometimes is impracticable and inconvenient, and researchers therefore are often inclined to take electron transport rate (ETR) as an indirect measure of photosynthetic rate. Theoretically, in photosynthesis, the oxidization of two molecules of H_2O leads to the production of one molecule of oxygen and four electrons; the electrons are ultimately transported to $NADP^+$ and used to form NADPH, and oxygen is released to the atmosphere. In theory, there exists a linear relation of 0.25 molar ratio between oxygen evolution and electron transport. In algae, oxygen is involved as electron acceptor in many physiological processes such as chloro-respiration, water-water cycle, and photorespiration, which consequently affects the ultimate oxygen evolution in photosynthesis. Therefore, some researches have been conducted to ascertain whether oxygen evolution is linearly related with electron transport. It was found that if irradiance was saturated or dissolved inorganic carbon concentrations was changed, oxygen evolution did not present a linear relation with electron transport. However, under the condition of constant temperature, it was found that oxygen evolution was linearly related to electron transport. Because temperature

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07528-03-07)

收稿日期: 2009-11-09; **修订日期:** 2010-09-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: bzeng@swu.edu.cn

affects many physiological processes in which oxygen is consumed (such as photorespiration), it is likely that oxygen evolution is not linearly related to electron transport as temperature changes.

To test this hypothesis, three algal species, *Chorella pyrenoidosa*, *Nitzschia sp.* and *Synechocystis aquetilis*, belonging to chlorophyta, bacillariophyta, and cyanophyta, respectively, were selected in the experiment. Their electron transport rate and oxygen evolution under variable temperature conditions (10, 15, 20, 25 °C) were investigated, and the ratio of P_{Gross} to photosynthesis (P_{Gross} , in terms of oxygen evolution) to electron transport rate was analyzed. The results showed that, for all three species, the ratio of P_{Gross}/ETR decreased significantly as temperature increased. At low temperature, the ratio of P_{Gross}/ETR was higher, which implies that more energy via electron transport might be used for photosynthesis and more oxygen was produced. On the contrary, at high temperature, the ratio of P_{Gross}/ETR was lower, which implies that presumably less energy via ETR was used to drive carbon fixation and oxygen evolution was reduced due to probable oxygen utilization in processes such as photorespiration. It is clear in this experiment that the relation between oxygen evolution rate and ETR was not linear, and was strikingly affected by temperature. Based on the experimental results, it is suggested that ETR measurements cannot be used to reliably estimate photosynthetic production under variable temperatures.

Key Words: algae; electron transport rate; temperature; oxygen production

在藻类的光合作用研究中,可以通过测定光合放氧速率或者碳固定速率来直接测量藻类光合能力的大小,但由于设备条件限制、测定耗时等因素的影响,直接测量的方式有时是不方便常难以实现的。因此,在实际研究中,常通过测定光合电子传递速率来间接反映藻类的光合速率,光合电子传递速率已逐渐成为众多研究工作者在藻类光合研究中采用的重要指标^[1-2]。

在光合作用中,通过光合电子传递链进行的电子传递和 O_2 的释放是两个重要过程。类囊体膜上电子传递链传递的电子的最终来源是水,在光的驱动下 2 个 H_2O 分子裂解后释放 4 个电子和 1 个 O_2 分子^[3-5]。电子通过电子传递链最终传递给 $NADP^+$ 受体,而 O_2 则以气体的形式释放出来。理论上,每 4 mol 电子传递对应 1 mol O_2 的产生。然而,事实上,在从电子传递到氧气释放的过程中,存在着许多生理生化过程,在这个过程中,当 CO_2 供给受限时, O_2 也可以作为电子受体(如光呼吸、水-水循环等),消耗光合电子传递下来的能量而并不用于碳同化^[4]。基于这个原因,近段时间以来,人们对电子传递和光合放氧之间是否存在线性关系展开了大量的讨论和研究,有研究表明,在不考虑温度变化的情况下,电子传递和光合放氧之间存在很好的线性关系^[6-7],但也有一些研究结果表明,在光饱和的条件下和无机碳营养条件改变的情况下,电子传递和光合放氧之间不存在线性关系^[8-10]。

当植物 CO_2 供给受到限制时,光合速率就由 Rubisco 酶活性和电子传递速率共同决定^[11]。在 CO_2 浓度受限时,电子传递速率对光合速率影响的贡献只占 1/3,而 Rubisco 酶活性对光合速率影响的贡献却可以占到 2/3^[12]。由于许多藻类缺乏很好的碳浓缩机制^[12], CO_2 供给容易受限,Rubisco 酶活性对光合速率的影响就显得尤为重要了。由于 Rubisco 的加氧酶活性与羧化酶活性对于温度的敏感程度不一样,随温度的变化,Rubisco 的加氧酶活性与羧化酶活性的比值也发生变化^[13],这就意味着,在不同温度下, CO_2 和 O_2 作为受体的比值也会随之发生变化。当 O_2 作为受体时,藻类所表现出的光合放氧就会有所下降。因此,不同温度下藻类光合放氧与电子传递可能并不存在线性关系。

在自然环境条件中,温度是多变的,温度变化是否会影响光合电子传递速率与光合放氧速率之间的关系,这对决定是否还可以采用光合电子传递速率来反映藻类的光合速率显得十分重要。本文分别以绿藻门的蛋白核小球藻、硅藻门的菱形藻和蓝藻门的水生集胞藻为研究对象,对这些藻类在不同温度条件下的光合放氧和电子传递速率进行研究。此研究可以使人们了解电子传递速率是否可以作为变化温度条件下光合放氧的估测指标,并加深对藻类光合作用的认识。

1 材料与方法

1.1 藻种

蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)和菱形藻(*Nitzschia* sp.)分离自嘉陵江(长江支流);水生集胞藻(*Synechocystis aquetilis* Sauv.)购自中国科学院水生生物所淡水藻种库。

1.2 方法

在人工气候箱中设置4个温度梯度(10, 15, 20, 25℃),分别对蛋白核小球藻、菱形藻和水生集胞藻3种藻类进行培养。培养光强为 $150\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,光暗比为10:14。每个处理3次重复。实验容器为500 mL三角瓶,加入200 mL的HGZ培养液^[14],培养液pH 7.6。接种前将对应培养温度下驯化约1周的藻液于3000 r/min离心8 min,用配置好并灭菌的培养液洗涤2次,然后接种,接种浓度为 $10\ \mu\text{g}/\text{L}$ 。在设置的培养条件下培养7 d,7 d后取100 mL藻液于3000 r/min离心8 min进行浓缩,浓缩后在对应的培养条件下恢复培养3 d,然后进行测定。

1.2.1 使用 PhytoPAM 浮游植物分析仪(PhytoPAM Phytoplankton Analyzer,德国 Walz 公司生产)对以下各指标进行测定

(1)叶绿素 a 含量(Chla) 根据 PhytoPAM 浮游植物分析仪使用要求,在 MF 32(即测量光强条件为 $16\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$)时进行测定。

(2)表观电子传递速率 将测量光强设定为与培养光强一样的强度,即 $150\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,照光时间120s,在测量光照待结束时给予藻液一个饱和脉冲(700 ms),从而测得测量光强下的叶绿素荧光值 F_s' 和饱和光强下的最大叶绿素荧光值 F_m' 。PhytoPAM 浮游植物分析仪根据这两个指标可以自动计算出表观光合电子传递速率($ETR = (F_m' - F_s')/F_m' \times \text{光子通量密度} \times 0.5 \times 0.84$ ^[15])。

1.2.2 使用 Clark 液相氧电极(Chlorolab 2,英国 Hansatech 公司生产)测定藻液的放氧速率和呼吸速率。设定液相氧电极的光照强度与藻液的培养光强相同,即 $150\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,测定藻液的放氧速率,放氧速率可以作为净光合速率的指标。为了与 ETR 进行比较,需要将净光合速率转换成总光合速率(P_{Gross}),因此,还需要测定呼吸速率。呼吸速率的测定是在测定净光合速率完成后,置藻液于无光黑暗条件下进行测定的。总光合速率(P_{Gross})($\mu\text{mol O}_2/(\text{mg Chla}\cdot\text{h})$)用单位时间内单位叶绿素的净光合速率和呼吸速率的总和来度量。

1.3 数据处理

所有实验数据的处理均使用 spss11.5 进行统计分析。检验温度对小球藻、菱形藻、水生集胞藻的 P_{Gross}/ETR 的影响均采用单因素方差分析和 Duncan 多重检验。

2 结果与分析

研究发现,在不同培养温度下,小球藻、菱形藻和水生集胞藻的光合放氧速率与电子传递速率的比值(P_{Gross}/ETR)受温度的影响均很显著,随温度的升高, P_{Gross}/ETR 均随之降低。就小球藻而言,培养温度为10℃时的 P_{Gross}/ETR 最大,显著高于培养温度为15、20和25℃时的 P_{Gross}/ETR (图1)。菱形藻在10℃温度条件下基本不表现出生长,因此未对其 P_{Gross}/ETR 进行分析;对于余下的15、20和25℃3种温度水平,培养温度为15℃时其 P_{Gross}/ETR 最大,显著高于培养温度为20和25℃时的 P_{Gross}/ETR (图1)。水生集胞藻和菱形藻相似,在10℃时基本不生长,培养温度为15℃时, P_{Gross}/ETR 的比值最大,显著高于培养温度为25℃时的 P_{Gross}/ETR ,与20℃时的 P_{Gross}/ETR 差异不显著(图1)。

小球藻、菱形藻和水生集胞藻的 P_{Gross}/ETR 均随温度的升高而降低,表明 P_{Gross} 与 ETR 之间并不呈线性关系。在较低的培养温度下,电子所传递的能量更多地用于光合,并放出氧气。而在高温培养条件下的藻类 P_{Gross}/ETR 减小,表明在较高的温度下电子所传递的能量用于光合的相对较少,释放出的氧气量减少。

3 讨论

近年来,很多研究结果都支持电子传递和光合放氧之间存在线性关系,这些研究多是基于不考虑温度影响的条件下进行的。João Silva 等人在20℃恒温条件下研究不同光照条件下电子传递和光合放氧之间的关

系,结果表明二者存在很好的线性关系^[7]。然而,Corine Geel 等人研究了藻类在光饱和条件下电子传递和光合放氧间的关系,结果表明,在光饱和条件下二者不存在线性关系^[8-10];同时,Herman Carr 等人研究了在无机碳营养条件改变的情况下,二者间也不存在线性关系^[9]。本文则针对温度发生改变的情况下研究电子传递和光合放氧间的关系,由于 Rubisco 酶活受到温度的影响可能进而影响光合放氧速率,这可能影响二者间的关系。本文选择蛋白核小球藻、菱形藻和水生集胞藻研究在温度改变的情况下,藻类电子传递和光合放氧间的关系。研究表明, P_{Gross}/ETR 受温度影响显著, P_{Gross}/ETR 随温度的升高而降低,低温条件下 P_{Gross}/ETR 比值较高,电子所传递的能量更多地用于光合并放出氧气,高温条件下 P_{Gross}/ETR 比值较低,电子所传递的能量较少用于光合放出氧气,被吸收的光能可能在其它途径中耗散掉。这表明当温度发生变化时, P_{Gross} 与 ETR 之间并不存在线性关系。

(1) 温度变化对 Rubisco 酶活的影响

酶的活性受温度变化的影响,同样,Rubisco 酶活也随温度的变化而变化。由于 Rubisco 的加氧酶活性与羧化酶活性对温度的敏感程度不一样,通常,Rubisco 加氧酶/羧化酶活性的比值随温度的升高而增加^[16]。高温将导致相对高的加氧酶活性,并导致高的能量消耗。这些能量消耗与随温度增加的乙醇酸代谢有关。因此,在高温条件下,由于 Rubisco 加氧酶活性的相对增高, O_2 作为受体的比率也随之增加。被消耗掉的氧气将直接导致实际氧气逸出量的下降,也间接导致了对于光合放氧的低估。一些研究表明,光呼吸可能是导致高温条件下光能化学耗散的主要途径^[17]。事实上,已有研究表明,随着温度的升高,植物体内的光呼吸途径会耗散掉更多的能量,同时也花费掉更多的氧气^[18]。由此可以推断,在高温条件下,Rubisco 加氧酶活性的相对增高将导致以氧气作为底物的光呼吸反应的增加。

(2) 能量耗散

实验结果表明, P_{Gross}/ETR 的比值随温度的升高而降低。这暗示着在低温条件下,有更多的电子传递的能量被用于光合,产生氧气更多,而在高温条件下,很多电子传递的能量没有用于光合,而是被耗散掉了,这部分能量没有用于碳同化,同时产生氧气量也减少。被吸收的光能在其他的途径中可以耗散掉,在这些途径中,植物体发展了很多保护策略用于优化光合。某些绿藻在黑暗条件下不能吸收无机碳,环式电子传递在藻类中较为多见^[19]。简单的说,电子传递的能量部分被耗散掉,没有完全转化为藻类的光合生产。一些研究表明,植物体内被耗散掉电子传递的能量随温度的升高而增加,高温条件下,这些能量主要在碳固定途径中的耗散,而并非热耗散^[16]。这可能最终导致了 P_{Gross}/ETR 的比值随温度的升高而降低。因此,能量耗散可能是导致 P_{Gross}/ETR 的比率随温度上升而下降的重要原因之一。

(3) 光合放氧的低估

测定微藻真实的光合放氧是很困难的,只能通过测定从藻液中逸出的氧气来衡量藻类的光合放氧。在实验中,使用 Clark 液相氧电极测定的值作为衡量藻类真实的光合放氧的指标。而事实上,从藻类释放 O_2 到 O_2 从水中逸出这个过程中,植物体内还存在很多耗氧的反应过程, O_2 能够被重利用或消耗掉,从而使测定的 O_2 产量和真实的光合放氧间有一定的误差。例如,水-水循环中,通过非同化的线性电子传递将电子传递给氧作

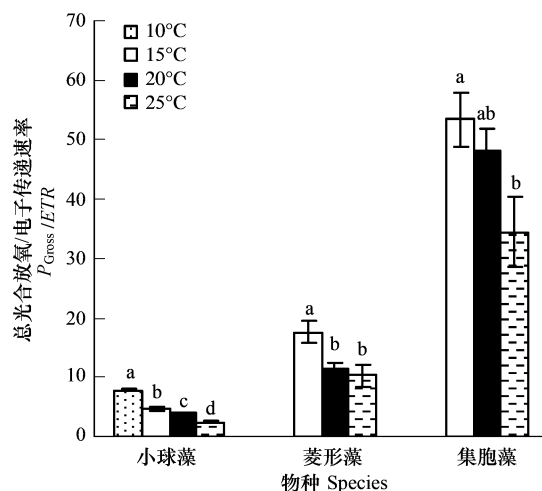


图1 不同温度对蛋白核小球藻、菱形藻、水生集胞藻 P_{Gross}/ETR 的影响(均值 ± 标准误差)

Fig. 1 Effect of different temperature on the P_{Gross}/ETR of *Chlorella pyrenoidosa*, *Nitzschia* sp. and *Synechocystis aquetilis* (mean ± SE)

注: P_{Gross} 总光合速率 ($\mu\text{molO}_2/(\text{mg Chla} \cdot \text{h})$); ETR 表观电子传递速率 ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$); a、b、c、d 分别用于表示蛋白核小球藻组、菱形藻组和水生集胞藻组的组内差异

为电子受体,以此消耗掉多余的激发能。此外,藻类叶绿体内还存在其他的耗氧反应,包括光呼吸、叶绿体呼吸等^[4]。因此,耗氧反应将导致实际逸出的氧气减少,并最终导致对于光合放氧的低估。

综合分析上述可能存在的因素, P_{Gross}/ETR 的比值随温度的升高而降低,这也就是说,在温度发生变化的条件下,将 ETR 作为实际光合生产的评价指标时要谨慎,不能不加分析地直接应用。如果需要直接应用,要考虑进行相应的温度校正。

致谢:Henri Dumont、王明书、任秋芳、吴姝等参加试验工作,特此致谢。

References:

- [1] Wang M, Li T, Li A F, Xu N, Zhang C W. Effect of lighting, temperature and pH on photosynthetic characters of *Haematococcus Pluvialis* CG-11. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33(3): 400-405.
- [2] Iván G, Félix L F, Pirjo H, Nancy U, Viviana M. Photosynthesis of the red alga *Gracilaria chilensis* under natural solar radiation in an estuary in southern Chile. *Aquaculture*, 2005, 244: 369-382.
- [3] Pan R Z. *Plant Physiology*. Beijing: Higher Education Press, 2004.
- [4] Han B P, Han Z G, Fu X. *Algal Photosynthesis: Mechanisms and Models*. Beijing: Science Press, 2003.
- [5] Walker D. *Energy, Plants and Man*. East Sussex: Packard Publishing Limited, 1993.
- [6] Beer S, Vilenkin B, Weil A, Veste M, Susel L, Eshel A. Measuring photosynthetic rates in seagrass by pulse amplitude modulated (PAM) fluorometry. *Marine Ecology Progress Series*, 1998, 174: 293-300.
- [7] Silva J, Santos R. Can chlorophyll fluorescence be used to estimate photosynthetic production in the seagrass *Zostera noltii*? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2004, 307: 207-216.
- [8] Geel C, Versluis W, Snel J F H. Estimation of oxygen evolution by marine phytoplankton from measurement of the efficiency of Photosystem II electron flow. *Photosynthesis Research*, 1997, 51: 61-70.
- [9] Carr H, Björk M. A methodological comparison of photosynthetic oxygen evolution and estimated electron transport rate in tropical *Ulva* (Chlorophyceae) species under different light and inorganic carbon conditions. *Journal of Phycology*, 2003, 39: 1125-1131.
- [10] Longstaff B J, Kildea T, Runcie J W, Cheshire A, Dennison W C, Hurd C, Kana T, Raven J A, Larkum A W D. An in situ study of photosynthetic oxygen exchange and electron transport rate in the marine macroalga *Ulva lactuca* (Chlorophyta). *Photosynthesis Research*, 2002, 74: 281-293.
- [11] Von C S. Biochemical models of leaf photosynthesis. *Techniques in Plant Sciences* No. 2. Collingwood, Victoria: CSIRO Publishing, 2000.
- [12] Raven J A, Ball L A, Beardall J, Giordano M, Maberly S C. Algae lacking carbon-concentrating mechanisms. *Canadian Journal of Botany*, 2005, 83: 879-890.
- [13] Mott K A, Woodrow L E. Effects of O_2 and CO_2 on nonsteady-state photosynthesis. *Plant Physiology*, 1993, 102: 859-866.
- [14] Hua R C. *Cultivation and Utilization of Unicellular Algae*. Beijing: Agricultural Press, 1981.
- [15] Zhang S R. A discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance. *Chinese Bulletin of Botany*, 1999, 16(4): 444-448.
- [16] D'Ambrosio N, Arena C, De Santo A V. Temperature response of photosynthesis, excitation energy dissipation and alternative electron sinks to carbon assimilation in *Beta vulgaris* L. *Environmental and Experimental Botany*, 2006, 55: 248-257.
- [17] Bouterfas R, Belkoura M, Dauta A. Light and temperature effects on the growth rate of three freshwater algae isolated from a eutrophic lake. *Hydrobiologia*, 2002, 489: 207-217.
- [18] Wingler A, J. Lea P, Quick W. P, Leegood R C. Photorespiration: metabolic pathways and their role in stress protection. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 2000, 355:1517-1529.
- [19] Sanadi D R, Vernon L P. *Current Topics in Bioenergetics. Volume 7, Photosynthesis (Part A)*. New York: Academic Press, 1978.

参考文献:

- [1] 王铭,李涛,李爱芬,徐宁,张成武. 光照、温度和 pH 对雨生红球藻光合特性的影响. *水生生物学报*, 2009, 33(3):400-405.
- [3] 潘瑞炽. *植物生理学*. 北京:高等教育出版社, 2004.
- [4] 韩博平,韩志国,付翔. *藻类光合作用机理与模型*. 北京:科学出版社, 2003.
- [14] 华汝成. *单细胞藻类的培养与利用*. 北京:农业出版社, 1981.
- [15] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论. *植物学通报*, 1999, 16(4): 444-448.

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 24 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 24 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元