

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

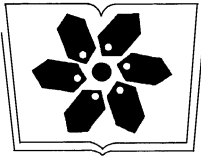
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 22 期 Vol.31 No.22 **2011**

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



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 22 期 2011 年 11 月 (半月刊)

目 次

叶冠尺度野鸭湖湿地植物群落含水量的高光谱估算模型	林 川, 官兆宁, 赵文吉 (6645)
中国水稻潜在分布及其气候特征	段居琦, 周广胜 (6659)
大豆异黄酮浸种对盐胁迫大豆幼苗的生理效应	武玉妹, 周 强, 於丙军 (6669)
黑河中游荒漠绿洲过渡带多枝柽柳对地下水位变化的生理生态响应与适应	张 佩, 袁国富, 庄 伟, 等 (6677)
高寒退化草地甘肃臭草种群分布格局及其对土壤水分的响应	赵成章, 高福元, 石福习, 等 (6688)
基于生态足迹思想的皂市水利枢纽工程生态补偿标准研究	肖建红, 陈绍金, 于庆东, 等 (6696)
基于 MODIS 黄河三角洲湿地 NPP 与 NDVI 相关性的时空变化特征	蒋蕊竹, 李秀启, 朱永安, 等 (6708)
高分辨率影像支持的群落尺度沼泽湿地分类制图	李 娜, 周德民, 赵魁义 (6717)
土壤食细菌线虫对拟南芥根系生长的影响及机理	成艳红, 陈小云, 刘满强, 等 (6727)
基于网络 K 函数的西双版纳人工林空间格局及动态	杨珏婕, 刘世梁, 赵清贺, 等 (6734)
树轮灰度与树轮密度的对比分析及其对气候要素的响应	张同文, 袁玉江, 喻树龙, 等 (6743)
冀北山地阴坡优势树种的树体分维结构	田 超, 刘 阳, 杨新兵, 等 (6753)
帽峰山常绿阔叶林辐射通量特征	陈 进, 陈步峰, 潘勇军, 等 (6766)
不同类型拌种剂对花生及其根际微生物的影响	刘登望, 周 山, 刘升锐, 等 (6777)
一种自优化 RBF 神经网络的叶绿素 a 浓度时序预测模型	仝玉华, 周洪亮, 黄浙丰, 等 (6788)
不同种源麻栎种子和苗木性状地理变异趋势面分析	刘志龙, 虞木奎, 马 跃, 等 (6796)
黄土丘陵区植物叶片与细根功能性状关系及其变化	施 宇, 温仲明, 龚时慧 (6805)
干旱区五种木本植物枝叶水分状况与其抗旱性能	谭永芹, 柏新富, 朱建军, 等 (6815)
火灾对马尾松林地土壤特性的影响	薛 立, 陈红跃, 杨振意, 等 (6824)
江苏省太湖流域产业结构的水环境污染效应	王 磊, 张 磊, 段学军, 等 (6832)
高温对两种卡帕藻的酶活性、色素含量与叶绿素荧光的影响	赵素芬, 何培民 (6845)
江苏省典型干旱过程特征	包云轩, 孟翠丽, 申双和, 等 (6853)
黄土高原半干旱草地地表能量通量及闭合率	岳 平, 张 强, 杨金虎, 等 (6866)
光质对烟叶光合特性、类胡萝卜素和表面提取物含量的影响	陈 伟, 蒋 卫, 邱雪柏, 等 (6877)
铜陵铜尾矿废弃地生物土壤结皮中的蓝藻多样性	刘 梅, 赵秀侠, 詹 婧, 等 (6886)
圈养马麝刻板行为表达频次及影响因素	孟秀祥, 贡保草, 薛达元, 等 (6896)
田湾核电站海域浮游动物生态特征	吴建新, 阎斌伦, 冯志华, 等 (6902)
马鞍列岛多种生境中鱼类群聚的昼夜变化	汪振华, 王 凯, 章守宇 (6912)
基于认知水平的非使用价值支付动机研究	钟满秀, 许丽忠, 杨 净 (6926)
综述	
植物盐胁迫应答蛋白质组学分析	张 恒, 郑宝江, 宋保华, 等 (6936)
沉积物氮形态与测定方法研究进展	刘 波, 周 锋, 王国祥, 等 (6947)
野生鸟类传染性疾病预防研究进展	刘冬平, 肖文发, 陆 军, 等 (6959)
鱼类通过鱼道内水流速度障碍能力的评估方法	石小涛, 陈求稳, 黄应平, 等 (6967)
专论	
IPBES 的建立、前景及应对策略	吴 军, 徐海根, 丁 晖 (6973)
研究简报	
柠条人工林幼林与成林细根动态比较研究	陈建文, 王孟本, 史建伟 (6978)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 35 * 2011-11



封面图说: 滩涂芦苇及野鸭群——中国的海岸湿地, 尤其是长江入海口以北的海岸线, 多为泥质性海滩, 地势宽阔低洼, 动植物资源丰富, 生态类型独特, 为迁徙的鸟提供了丰富的食物和休息、庇护的良好环境, 成为东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要中转站和越冬、繁殖地。一到迁徙季节, 成千上万的各种鸟类飞临这里, 尤其是雁鸭类数量庞大, 十分壮观。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

赵素芬, 何培民. 高温对两种卡帕藻的酶活性、色素含量与叶绿素荧光的影响. 生态学报, 2011, 31(22): 6845-6852.

Zhao S F, He P M. Effect of high temperature on enzymic activity, pigment content and chlorophyll fluorescence of two *Kappaphycus* species. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(22): 6845-6852.

高温对两种卡帕藻的酶活性、色素含量与 叶绿素荧光的影响

赵素芬^{1,2,*}, 何培民²

(1. 广东海洋大学水产学院, 湛江 524025; 2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 在室内采用静置培养法, 以 25℃ 为对照, 研究高温 (32℃、35℃ 和 40℃) 对长心卡帕藻 *Kappaphycus alvarezii* 与异枝卡帕藻 *K. striatum* 的硝酸还原酶 (NR) 和过氧化物酶 (POD) 活性、叶绿素 a 和藻红蛋白含量的影响, 并采用调制叶绿素荧光技术, 测定高温处理后 2 种藻的叶绿素荧光参数变化趋势。结果表明: 高温对 2 种卡帕藻的 NR 和 POD 活性有显著影响。二者的 NR 活性均在 35℃ 时最低, 32℃ 时最高; 异枝卡帕藻的 POD 活性在 35℃ 时最高, 而长心卡帕藻的在 35℃ 时最低。在 25—40℃ 之间, 随着温度升高, 异枝卡帕藻的叶绿素 a 含量逐渐减少, 藻红蛋白含量先降后升, 35℃ 时最高, 而长心卡帕藻的两种色素含量皆在 25℃ 时最高。在 32—40℃ 条件下, 随着温度升高, 2 种藻的实际光合效率 (Y) 和相对光合电子传递速率 (ETR) 明显下降, 温度越高, 下降程度越大; 短期高温可刺激 2 种卡帕藻的光合活性增强, 随着处理时间延长, 异枝卡帕藻的光合活性下降, 但差异不显著, 而长心卡帕藻的光合活性显著下降。综合上述指标, 显示 32℃ 以上高温对 2 种卡帕藻产生胁迫, 异枝卡帕藻对热胁迫的耐受力明显强于长心卡帕藻。

关键词: 卡帕藻; 高温; 硝酸还原酶; 过氧化物酶; 色素; 叶绿素荧光

Effect of high temperature on enzymic activity, pigment content and chlorophyll fluorescence of two *Kappaphycus* species

ZHAO Sufen^{1,2,*}, HE Peimin²

1 Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China

2 College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: *Kappaphycus* species, cultivated widely for carrageenan production, are tropical marine red algae, which are sensitive to high temperature. Due to the increase in global mean air temperature, all kinds of metabolic processes in numerous marine algae are being affected by high-temperature stress. Nitrate reductase (NR) is one of the crucial enzymes in the nitrogen metabolic process. As one of the members of the protective enzyme system, peroxidase (POD) can decompose hydrogen peroxide generated by various metabolic pathways in the plant. Chlorophyll and phycoerythrin, correlated to the photosynthetic process, are important pigments in red algae. Chlorophyll fluorescence technique provides a quick, convincing, and non-destructive means for assessing the efficiency of photochemical conversion and it has become an increasingly powerful tool widely used in the study of photosynthesis. Actual photochemical efficiency (yield, Y) and the relative electron transport rate (ETR) are commonly used as chlorophyll fluorescence parameters correlated to the photosynthetic processes. In this study, the effect of high temperature on the above-mentioned physiological characteristics of *K. alvarezii* and *K. striatum* were examined by means of stationary culture in the laboratory. The activities of NR and POD, and the contents of chlorophyll a and phycoerythrin in the two algae were determined at 32℃, 35℃ and 40℃, with

基金项目: 国家海洋技术 863 项目 (2007AA09Z406)

收稿日期: 2011-03-18; 修订日期: 2011-09-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sufzhao@126.com

25°C as a control. The changes of *Y* and *ETR* in the two algae under high temperature were detected. The results showed that the activities of NR and POD were affected significantly by high temperature ($P < 0.01$). NRs in the two algae showed minimum activities at 35°C, while maximum activities at 32°C. NR activities in *K. alvarezii* were 4.1 times stronger than those in *K. striatum* at 32°C. However, POD activities varied in the two algae. They were highest at 35°C, and lowest at 25°C in *K. striatum*. In contrast, in *K. alvarezii* they were lowest at 35°C and highest at 25°C. The activities of POD in *K. striatum* were 63.9 times stronger than those in *K. alvarezii* at 35°C. When the temperature rose from 25°C to 40°C, the content of chlorophyll a in *K. striatum* gradually decreased while the content of phycoerythrin first decreased then increased and finally decreased again with the maximum obtained at 35°C. Conversely, the contents of both chlorophyll a and phycoerythrin in *K. alvarezii* were highest at 25°C and lowest at 35°C and 32°C, respectively. The *Y* and *ETR* in the two algae obviously decreased with the increase of temperature from 32°C to 40°C. The degree of decrease of the two parameters was in direct proportion to the increase of temperature. The photosynthetic activities in the two algae intensified with short-term high temperature. However, with the increase of exposure time, the photosynthetic activities in *K. striatum* decreased nonsignificantly while those in *K. alvarezii* fell significantly ($P < 0.01$). In conclusion, all detected indexes indicated that high-temperatures above 32°C generated stress in the two algae. The stress was weak below 35°C and strong over 40°C in *K. striatum*. Stress increased considerably over 32°C in *K. alvarezii*. *K. striatum* was more resistant to high-temperature stress than *K. alvarezii*.

Key Words: *Kappaphycus*; high temperature; nitrate reductase; peroxidase; pigments; chlorophyll fluorescence

温度是影响海藻生存和生长的主要因素之一,IPCC(政府间气候变化专门委员会)第4次评估报告预测,从现在开始到2100年,全球平均气温将升高1.8—4.0°C^[1],全球变暖使许多生物面临高温的威胁。高温破坏生物膜的功能键,导致膜蛋白变性,膜脂分子液化,膜结构破坏;高温可直接破坏植物体蛋白质分子的空间构型,引起蛋白质变性和凝聚^[2]。海藻对热有较高的敏感性^[3],在高温胁迫条件下,藻体的各种生理代谢过程都会受到影响,植物的抗氧化系统在植物应对高温胁迫中起重要作用^[4]。硝酸还原酶(nitrate reductase, NR)是植物氮素作用中的关键性酶^[5]。植物组织中通过各种途径产生的H₂O₂属于活性氧的一种,对许多生物功能分子有破坏作用,过氧化物酶(Peroxidase, POD)是将H₂O₂分解成H₂O的主要酶类,属于抗氧化系统成分、保护酶系统成分^[2]。叶绿素和藻胆素是红藻体中重要的光合色素,其含量高低与藻体的光合能力强弱呈正相关。调制叶绿素荧光(PAM)是研究光合作用的强大工具,由于其测量快速、简单、可靠、且测量过程对样品生长基本无影响,已在陆生植物和海藻中得到广泛应用^[6]。对大型海藻叶绿素荧光特性的研究国内外已多见报道^[7-12],但在高温对大型海藻叶绿素荧光及以上几种生理指标影响方面的研究较少,已有的资料集中在对海带^[13]、羊栖菜^[14]、紫菜^[15-16]和龙须菜^[17]的研究上。

长心卡帕藻(*Kappaphycus alvarezii*)和异枝卡帕藻(*K. striatum*)隶属于红藻门(Rhodophyta),杉藻目(Gigartinales),红翎菜科(Solieriaceae),卡帕藻属(*Kappaphycus*),是用于生产卡拉胶的重要经济红藻,我国于1984年自菲律宾引进,目前在海南和福建等地已形成上万亩的栽培规模,年产约1万t干藻,与菲律宾、印度尼西亚和坦桑尼亚等成为卡帕藻的主要生产国家,其产量占国际产量的90%以上^[18]。2008年,这些国家都发生了卡帕藻大量烂死的现象,虽然研究发现过多降雨所导致的海水盐度下降是主要原因,但是期间海水温度高^[18],而有关高温对卡帕藻生长生理的影响未见报道。国内外对卡帕藻的研究主要集中在分类^[19]、进化^[20-21]、生长^[22]和卡拉胶^[22-23]等方面,Andersson等^[24]和Schubert等^[25]研究了长心卡帕藻体内类胡萝卜素组成与光合作用及叶绿素荧光的关系,而有关高温下卡帕藻体内生理特性的变化未见报道,因此研究卡帕藻对高温的生理响应具有重要的理论和实践意义。

本文主要研究了高温对长心卡帕藻和异枝卡帕藻的NR活性、POD活性、叶绿素a含量、藻胆蛋白含量及叶绿素荧光的影响,以期揭示2种卡帕藻体内几种生理指标在高温时的变化规律,2种藻体在高温条件下的

生理状态及其对高温的响应差异与机制,为 2 种卡帕藻的栽培和利用提供科学参考。

1 材料和方法

1.1 材料

异枝卡帕藻 *K. striatum* 取自海南陵水养殖场,绿褐色品系;长心卡帕藻 *K. alvarezii* 取自坦桑尼亚,红褐色品系。取回后在实验室暂养,暂养条件参照赵素芬等^[26]的方法。

1.2 方法

在洁净的 1 L 烧杯中分别加入 500 mL 培养液,培养液的配制采用赵素芬等^[27]的方法,向其中投放适量洁净的材料,分别置于 25℃(对照)、32、35℃和 40℃智能型光照培养箱(MGC-300B 型)中培养,盐度 32,光照强度 $65 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,4 h 后测定 NR 和 POD 活性,8 h 后测定色素含量,期间每隔 1 h 摇动藻液,并调整烧杯位置,以减少藻体所受温度和光照强度的误差。各藻每个生理指标设 2—4 个平行。

(1) NR 活性的测定

对氨基苯磺酸化比色法^[28]。

(2) POD 活性的测定

愈创木酚法^[28]。

(3) 叶绿素含量的测定

丙酮法^[28]。

(4) 藻红蛋白含量的测定

方法参见彭长连等^[11]。

(5) 叶绿素 a 荧光的测定

用脉冲调制荧光仪 PHYTO-PAM(Walz, Germany)测定藻体叶绿素 a 的荧光,实验持续 4h。 F 为打开饱和脉冲前的荧光; F_m 为打开饱和脉冲时的最大荧光; $dF = F_m - F$; $\text{Yield} = dF/F_m$ 为实际光合效率(量子产量); $\text{ETR} = \text{Yield} \times \text{PAR} \times 0.84 \times 0.5$ 为电子传递速率,即利用调制叶绿素荧光技术测量出的光合速率。

1.2.6 数据分析

实验数据用 SPSS 13.0 数据处理系统进行单因素方差分析(Anova),并结合 LSD 法进行多重比较,结果以平均值±标准误差表示。各图中用字母标记的值表示其多重比较的差异性结果,小写字母表示差异显著($P < 0.05$),大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)。

2 结果

2.1 硝酸还原酶活性

统计结果显示高温对 2 种卡帕藻 NR 活性的影响显著(图 1)。2 种卡帕藻的 NR 活性都是在 32℃ 时最高,35℃ 时最低,而 40℃ 时略高于 25℃ 时。统计分析显示,异枝卡帕藻在 35℃、长心卡帕藻在 32℃ 时的 NR 活性与其他各温度组差异极显著。32℃ 时,长心卡帕藻的 NR 活性约是异枝卡帕藻的 4.1 倍(图 1)。

2.2 过氧化物酶活性

统计结果显示高温对 2 种藻 POD 活性的影响显著。高温处理下,2 种卡帕藻的 POD 活性表现不同(图 2)。异枝卡帕藻的酶活性在 35℃ 最高,与其他温度处理下有显著差异,25℃ 时最低;长心卡帕藻的 POD 活性则是在 35℃ 时最低,与其他温度处理下有显著差异,25℃ 时最高。35℃ 时,异枝卡帕藻的 POD 活性约是长心卡帕藻的 63.9 倍。

2.3 叶绿素 a 含量

随着温度升高,异枝卡帕藻体内的叶绿素 a 含量逐渐减少,40℃ 与对照组差异极显著;而长心卡帕藻的在 25—35℃ 范围内,随着温度升高而下降,35℃ 时达最低值,与对照组差异极显著,但在 40℃ 时含量又有所增加,却仍远低于 25℃ 时(图 3)。

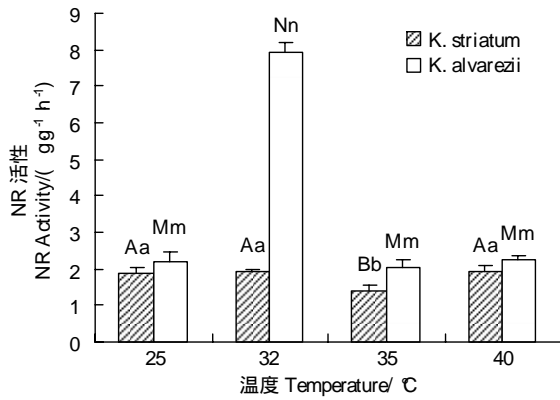


图1 高温对2种卡帕藻NR活性的影响

Fig. 1 Effect of high temperature on NR activities in two *Kappaphycus* species

A、B 标识 *K. striatum*, M、N 标识 *K. alvarezii*

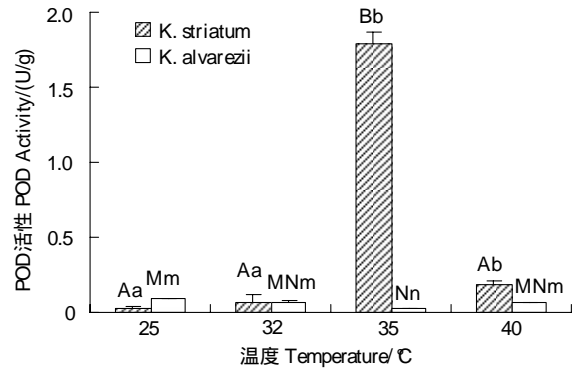


图2 高温对2种卡帕藻POD活性的影响

Fig. 2 Effect of high temperature on POR activities in two *Kappaphycus* species

A、B 标识 *K. striatum*, M、N 标识 *K. alvarezii*

2.4 藻红蛋白含量

在25—40°C范围内,随着温度升高,2种卡帕藻体内的藻红蛋白含量都先降后升;异枝卡帕藻的在35°C时最高,而长心卡帕藻的在25°C时最高,并在32—40°C之间,随着温度升高,含量逐渐增加(图4)。

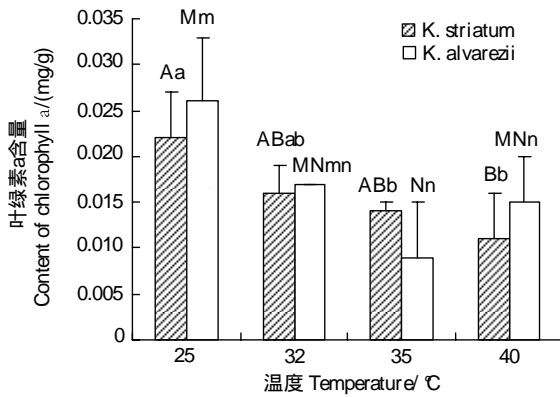


图3 高温对2种卡帕藻叶绿素a含量的影响

Fig. 3 Effect of high temperature on content of chlorophyll a in two *Kappaphycus* species

A、B 标识 *K. striatum*, M、N 标识 *K. alvarezii*

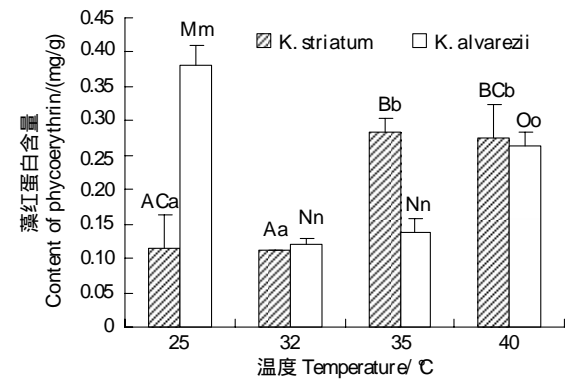


图4 高温对2种卡帕藻藻红蛋白含量的影响

Fig. 4 Effect of high temperature on content of phycoerythrin in two *Kappaphycus* species

A、B 和 C 标识 *K. striatum*, M、N 和 O 标识 *K. alvarezii*

2.5 叶绿素 a 荧光

32°C 培养 1 h 内,2 种藻体的光合活性都呈现出先升后降的特点。异枝卡帕藻的 Y 和 ETR 在培养 30 min 时最高,为初始值的 118.4%,2 h 之后,随着培养时间延长,逐渐升高;而长心卡帕藻的在培养 2 h 时最高,为初始值的 163.2%,之后随着培养时间延长,逐渐下降(图5,图6)。统计分析显示 32°C 处理 4 h 过程中,异枝卡帕藻的光合活性变化不显著,而长心卡帕藻在 32°C 处理 30、120 min 时光合活性显著提高,处理 4 h 时显著下降。

35°C 培养 30 min 内,2 种藻体的光合活性变化不大,但培养 1 h 时,异枝卡帕藻的 Y 和 ETR 明显下降,为初始值的 82.5%,而长心卡帕藻的明显上升,是初始值的 176.5%;培养 2 h 时前者的光合活性最高,但接近初始值,之后又出现下降上升的波动;而后者的在培养 1 h 后随着培养时间延长而下降(图7,图8)。统计分析显示 35°C 处理 3 h 过程中,异枝卡帕藻的光合活性变化不显著,而长心卡帕藻分别在 35°C 处理 1、1.5 h 时

Y 和 ETR 显著提高,处理 2.5 h 时则显著下降。

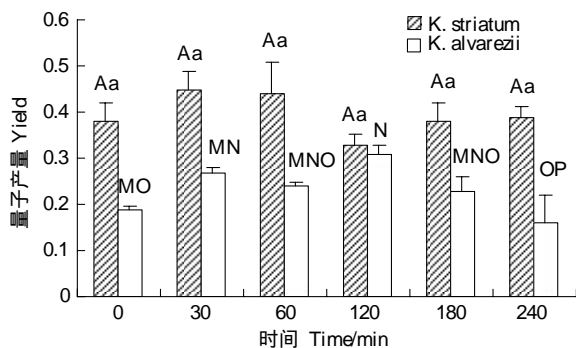


图 5 32°C 时 2 种藻的实际光合效率

Fig. 5 Actual photochemical conversion efficiency of two algae at 32°C

A 标识 *K. striatum*, M、N、O 和 P 标识 *K. alvarezii*

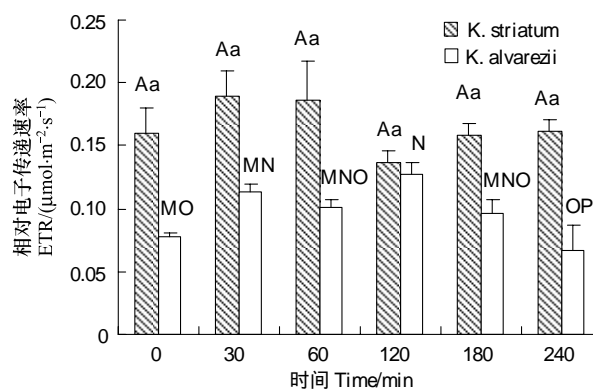


图 6 32°C 时 2 种藻的相对光合电子传递速率

Fig. 6 Relative electron transport rate of two algae at 32°C

A 标识 *K. striatum*, M、N、O 和 P 标识 *K. alvarezii*

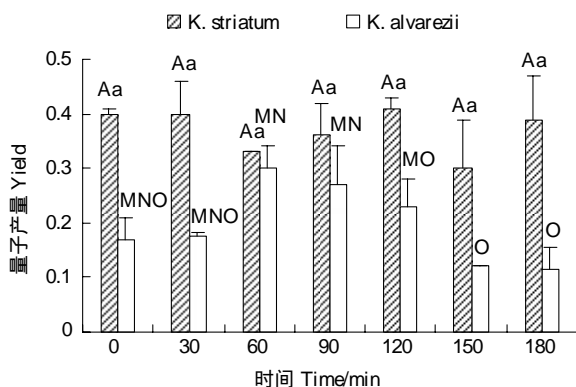


图 7 35°C 时 2 种藻的实际光合效率

Fig. 7 Actual photochemical conversion efficiency of two algae at 35°C

A 标识 *K. striatum*, M、N 和 O 标识 *K. alvarezii*

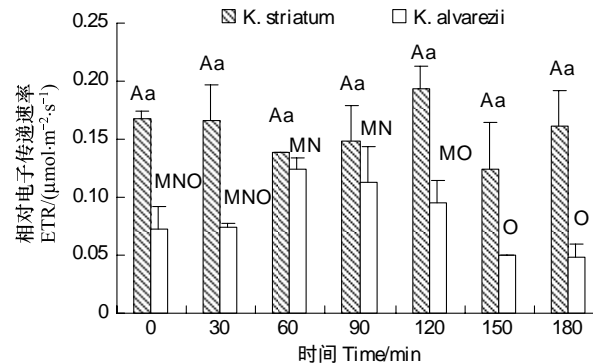


图 8 35°C 时 2 种藻的相对光合电子传递速率

Fig. 8 Relative electron transport rate of two algae at 35°C

A 标识 *K. striatum*, M、N 和 O 标识 *K. alvarezii*

40°C 培养时,2 种藻的 Y 和 ETR 都表现为“降-升-降”的过程。在培养 20 min 和 40 min 时,异枝卡帕藻的 Y 和 ETR 分别为初始值的 97.9% 和 114.9%,之后下降,2 h 时为初始值的 85.1%;长心卡帕藻 Y 和 ETR 始终低于初始值,培养 20 min 时为初始值的 61.5%,2 h 时降为初始值的 38.5% (图 9,图 10)。统计分析显示异枝卡帕藻在 40°C 处理 40 min 和 100 min 时光合活性差异极显著,而长心卡帕藻在 40°C 处理 20 min 时光合活性便极显著下降。

3 讨论

NR 是一种诱导酶,是硝酸盐同化中的限速酶,NR 的活性高低反映植物吸收和利用氮肥能力的强弱,与藻类的生物代谢和光合作用,以及各种细胞的信号转导过程密切相关。卡帕藻生长的适宜温度为 25—30°C^[29]。试验发现卡帕藻在 32°C 培养不到一周出现死亡,而在 35°C 培养 24 h 内烂死,说明 32°C 以上温度对卡帕藻产生了胁迫。32—40°C 高温胁迫时,2 种卡帕藻的 NR 活性都表现出升-降-升的变化规律,但是变化幅度差异较大。32°C 时异枝卡帕藻和长心卡帕藻的 NR 活性比对照分别高 3.2% 和 261.0%,说明 32°C 可能是 NR 的最适温度,或者此时存在某种机制透使 NR 酶的活性增强,使藻体对氮肥的利用能力最强,代谢最旺盛;35°C 培养 4 h 藻体的代谢明显减弱,2 种藻的 NR 活性比对照分别低 25.0% 和 6.8%,说明 35°C 对 NR 酶产生

明显破坏或对其活性产生明显抑制。在本试验持续时间内,2种卡帕藻虽均无烂死,但40℃组2种藻藻体明显变软,重量减轻,并且长心卡帕藻在35℃培养4h后藻体也略变软,由于NR活性由单位重量藻体在单位时间内产生的 NO_2^- 量衡量,因此这可能是35℃时异枝卡帕藻比长心卡帕藻的NR活性下降严重,40℃时二者的NR活性反而又升高的原因。有关高温胁迫对卡帕藻NR活性的影响机理以及与其耐热性的关系有待进一步研究。

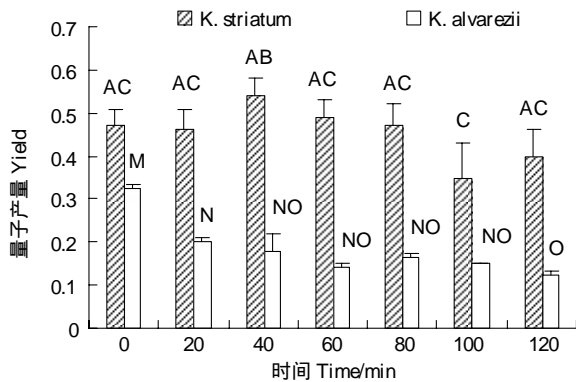


图9 40℃时2种藻的实际光合效率

Fig. 9 Actual photochemical conversion efficiency of two algae at 40℃

A、B、C 标识 *K. striatum*, M、N 和 O 标识 *K. alvarezii*

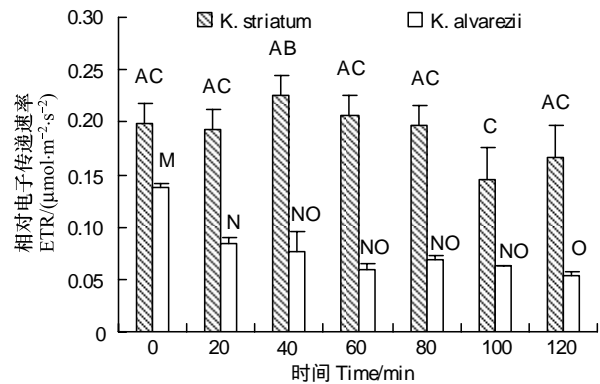


图10 40℃时2种藻的相对光合电子传递速率

Fig. 10 Relative electron transport rate of two algae at 40℃

A、B、C 标识 *K. striatum*, M、N 和 O 标识 *K. alvarezii*

POD活性高低影响过氧化氢及其他过氧化物的分解,藻体中过氧化物是有毒害作用的物质,低浓度的过氧化物存在于叶绿体中,也能够完全阻断光合作用的发生^[3]。在植物的正常生命过程中,植物细胞中存在着活性氧的产生和清除两个过程。逆境胁迫会促进活性氧的产生,其结果一方面诱导有关保护酶的活性升高,另一方面可以直接破坏生物大分子,使酶活性丧失。表现为低强度胁迫条件下,植物体内酶活性随胁迫程度增加而上升,当胁迫程度超出植物体忍耐范围之后,胁迫程度越高,酶活性越低^[30]。高温下卡帕藻的POD活性变化符合此理论,POD活性高,说明该酶适宜此温度条件或者藻体中过氧化氢含量高(藻体受到胁迫)。在高温胁迫下,抗性强的龙须菜的POD活性升高,而抗性弱的升高幅度小或下降^[17]。在32℃和35℃时,异枝卡帕藻的POD活性高于对照组,而长心卡帕藻的则低于对照组,表明32—40℃对异枝卡帕藻产生了热胁迫,低于35℃为低强度胁迫,而40℃为高强度胁迫;对于长心卡帕藻,高于32℃即为高强度胁迫,可见异枝卡帕藻比长心卡帕藻对高温的抗性强。海带在高温胁迫初期POD活性下降,培养一定时间后活性开始上升^[13],至于在高温胁迫时卡帕藻POD活性随培养时间变化的规律有待进一步研究。

叶绿素a和藻胆素的含量高低直接影响光合效率^[31],高温胁迫时海藻体中的色素含量下降^[32],本研究中2种卡帕藻也有同样表现。由图3、图4可见,32℃以上高温会破坏异枝卡帕藻体内的叶绿素或抑制叶绿素的合成,高温时其含量比对照减少27.3%—50%,而刺激藻体合成较多的藻红蛋白(比对照多141.5%—149.4%)以补救因叶绿素受影响造成的光合能力下降;长心卡帕藻在高温胁迫时体内的叶绿素a和藻红蛋白含量都减少,分别比对照下降34.6%—42.3%和68.3%—31.2%,说明32℃以上高温会破坏该藻体内的叶绿素和藻红蛋白,虽然35℃以上高温会刺激藻体合成较多的藻红蛋白,但其总量仅是对照组的36.6%—68.8%,其光合活性明显降低。通过这两种色素对高温的响应可见异枝卡帕藻比长心卡帕藻耐热性强。

研究发现热胁迫程度低时植物体叶绿素荧光强度下降是放氧复合体的活性受到可逆性抑制,热胁迫严重时放氧复合体则受到不可逆破坏,电子传递亦受到抑制^[33-34]。Pang等^[14]发现羊栖菜幼苗在40℃处理1h、恢复培养12h后,Y值由对照组的56%升高为98%,说明短期高温对羊栖菜幼苗的光合能力无明显损伤。卡帕藻对高温的耐受性同样可用其高温处理后恢复培养的荧光参数变化来衡量,这是今后研究的一个方向。

高温胁迫时,植物的光化学反应下降,而叶绿素荧光形式的耗散增加,叶绿素荧光的变化即反映植物受胁迫的情况^[3]。40℃处理时,2种卡帕藻的 Y 和 ETR 的“降-升-降”变化过程与带形蜈蚣藻及孔石莼在40℃高温时的叶绿素荧光变化相同^[3]。在35—40℃范围时,异枝卡帕藻在处理后期 Y 和 ETR 虽有所上升,却仍低于初始速率,35℃培养3h和40℃培养2h分别为初始值的97.5%和85.1%;长心卡帕藻则在后期一直处于下降趋势,且下降幅度较大,35℃培养3h和40℃培养2h分别为初始值的67.6%和38.5%,说明在35—40℃条件下处理一段时间后即对2种藻体中的放氧复合体产生了不同程度的不可逆破坏,前者比后者受损程度轻。在32℃时,2种藻的 Y 和 ETR 升高,说明2种藻的放氧复合体活性增强,光合能力加强,之后叶绿素荧光下降又上升的表现,可能是放氧复合体的活性受到可逆性抑制的缘故。异枝卡帕藻在培养3—4h时的荧光参数仍处于上升趋势,而长心卡帕藻的则处于下降趋势,说明后者比前者受损伤程度重。统计分析表明,在处理时间内,32—35℃高温对异枝卡帕藻的光合活性影响不显著,而显著抑制长心卡帕藻的光合活性,40℃高温对2种藻光合活性产生显著抑制的处理时间明显不同,异枝卡帕藻比长心卡帕藻的延迟。

综合以上所测几项生理指标可见:32℃以上高温对2种藻产生胁迫,异枝卡帕藻比长心卡帕藻更能适应高温环境。在过去的5a中,高温已明显影响我国条斑紫菜的栽培业,导致其产量和产质下降^[16]。2008年,东南亚地区的卡帕藻大面积爆发疾病,造成该产品从当年年初的每吨600美元一路上升到2900美元以上,并且出现供应断货问题^[18],因此本研究对卡帕藻的栽培业具有重要的现实意义,也为卡帕藻的品种选育奠定理论基础。

致谢:感谢广东海洋大学 Barbara Kieser 女士和王辉教授对英文摘要进行修改和润色。

References:

- [1] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. The Fourth Assessment Report of Working Group. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 10-10.
- [2] Pan R Z, Wang X J, Li N H. Plang Physiology. 6th ed. Beijing: Higher Education Press, 2008: 294-294, 45-45, 288-288.
- [3] Wu B G, Han Z G, Zang R B. Effects of heat stress in marine red and green algae by chlorophyll fluorescence method. Journal of Jinan University (Natural Science and Medicine), 2002, 23(1): 108-112.
- [4] Zang X N, Zhang X C, Zhang L, Liu B, Ren X Y, Xu D. Review of molecular biological response of alga to heat stress. Journal of Wuhan University(Natural Science), 2008, 54(6): 732-738.
- [5] Wang Y, Tang H R, Jiang L, Li S S. Effects of nitrate on the growth and nitrate reductase activity in *Phaeocystis globosa*. Chinese Bulletin of Botany, 2006, 23(2): 138-144.
- [6] Pang S J, Shan T F. Temperature and light tolerance of representative brown, green and red algae in tumble culture revealed by chlorophyll fluorescence measurements. Acta Oceanologica Sinica, 2008, 27(4): 137-146.
- [7] Davison I R, Pearson G A. Stress tolerance in intertidal seaweeds. Journal of Phycology, 1996, 32(2): 197-211.
- [8] Lichtenthaler H K. Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. Journal of Plant Physiology, 1996, 148(1/2): 4-14.
- [9] Gómez I, Figueroa F L. Effects of solar UV stress on chlorophyll fluorescence kinetics of intertidal macroalgae from southern Spain; a case study in *Gelidium* species. Journal of Applied Phycology, 1998, 10(3): 285-294.
- [10] Han Z G, He L J, Gu J G, Xu Z N, Han B P. Photosynthetic performance of *Cladophora fascicularis* during its dehydration and rehydration. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(11): 1291-1294.
- [11] Peng C L, Wen X, Lin Z F, Zhou H C, Chen S W, Lin G Z. Response of *Gracilaria lemaneiformis* to nitrogen and phosphorus eutrophic seawater. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(3): 505-512.
- [12] Yokoya N S, Jr. Necchi O, Martins A P, Gonzalez S F, Plastino E M. Growth responses and photosynthetic characteristics of wild and phycoerythrin-deficient strains of *Hypnea musciformis* (Rhodophyta). Journal of Applied Phycology, 2007, 19(3): 197-205.
- [13] Wang Y, Tang X X. Relationships between antioxidant activities and heat-resistant features of two *Laminaria japonica* strains. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(8): 1507-1510.
- [14] Pang S J, Zhang Z H, Zhao H J, Sun J Z. Cultivation of the brown alga *Hizikia fusiformis* (Harvey) Okamura: stress resistance of artificially raised young seedlings revealed by chlorophyll fluorescence measurement. Journal of Applied Phycology, 2007, 19(5): 557-565.
- [15] Yan X H, Lü F, Liu C J, Zheng Y F. Selection and characterization of a high-temperature tolerant strain of *Porphyra haitanensis* Chang et Zheng (Bangiales, Rhodophyta). Journal of Applied Phycology, 2010, 22(4): 511-516.
- [16] Zhang B L, Yan X H, Huang L B. Evaluation of an improved strain of *Porphyra yezoensis* Ueda (Bangiales, Rhodophyta) with high-temperature tolerance. Journal of Applied Phycology, 2011, 23(5): 841-847.
- [17] Lu N, Zang X N, Zhang X C, Chen W Z, Zhang X, Gu Y H, Li Q, Zhang L. Comparison of antioxidant activities of different strains of *Gracilaria*

- lemaniformis* under high-temperature stress. Journal of Wuhan University (Natural Science Edition), 2010, 56(5): 570-577.
- [18] Liu J G, Pang T, Wang L, Li J, Lin W. The reasons causing catastrophic death in tropical carrageenan producing seaweeds and their difference in resistance to illness. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2009, 40(2): 235-241.
- [19] Azanza-Corrales R. The farmed *Eucheuma* species in Danajon Reef, Philippines: vegetative and reproductive structures. Journal of Applied Phycology, 1990, 2(1): 57-62.
- [20] Fredericq S, Freshwater D W, and Hommersand M H. Observations on the phylogenetic systematics and biogeography of the Solieriaceae (Gigartinales, Rhodophyta) inferred from *rbcL* sequences and morphological evidence. Hydrobiologia, 1999, 398-399(0): 25-38.
- [21] Conklin K Y, Kurihara A, Sherwood A R. A molecular method for identification of the morphologically plastic invasive algal genera *Eucheuma* and *Kappaphycus* (Rhodophyta, Gigartinales) in Hawaii. Journal of Applied Phycology, 2009, 21(6): 691-699.
- [22] Hayashi L, de Paula E J, Chow F. Growth rate and carrageenan analyses in four strains of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) farmed in the subtropical waters of São Paulo State, Brazil. Journal of Applied Phycology, 2007, 19(5): 393-399.
- [23] Hayashi L, Oliveira E C, Bleicher-Lhonheur G, Boulengue P, Pereira R T L, von Seckendorff R, Shimoda V T, Leflamand A, Vallée P, Critchley A T. The effects of selected cultivation conditions on the carrageenan characteristics of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) in Ubatuba Bay, São Paulo, Brazil. Journal of Applied Phycology, 2007, 19(5): 505-511.
- [24] Andersson M, Schubert H, Pedersén M, Snoeijis P. Different patterns of carotenoid composition and photosynthesis acclimation in two tropical red algae. Marine Biology, 2006, 149(3): 653-665.
- [25] Schubert H, Andersson M, Snoeijis P. Relationship between photosynthesis and non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in two red algae with different carotenoid compositions. Marine Biology, 2006, 149(5): 1003-1013.
- [26] Zhao S F, Zhang B D, Chen J, He P M. Nutrient components analysis for two cultivars of *Kappaphycus alvarezii*. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(1): 53-58.
- [27] Zhao S F, He P M. Effects of light intensity and salinity on growth of *Kappaphycus alvarezii*. Journal of Tropical Oceanography, 2009, 28(1): 24-29.
- [28] Hao J J, Kang Z L, Yu Y. Experimental Technics of Plant Physiology. Beijing: Chemical Industry Press, 2007: 62-64, 156-157, 68-70.
- [29] Wu C Y, Li J J, Xia E Z, Peng Z S, Tan S Z, Li J, Wen Z C, Huang X H, Cai Z L, Chen G J. On the transplantation and cultivation of *Eucheuma striatum*. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1988, 19(5): 410-418.
- [30] Shi F C, Bao F. Effects of salinity and temperature stress on ecophysiological characteristics of exotic cordgrass, *Spartina alterniflora*. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(7): 2733-2741.
- [31] Yokoya N S, Jr. Necchi O, Martins A P, Gonzalez S F, Plastino E M. Growth responses and photosynthetic characteristics of wild and phycoerythrin-deficient strains of *Hypnea musciformis* (Rhodophyta). Journal of Applied Phycology, 2007, 19(3): 197-205.
- [32] Wang M, Tong S M, Hou H S. Effects of high temperature stress on growth and physiology of gametophytes of *Undaria pinnatifida*. Tianjin Agricultural Sciences, 2010, 16(3): 24-26.
- [33] Yamane Y, Kashino Y, Koike H, Satoh K. Effects of high temperatures on the photosynthetic systems in spinach: oxygen-evolving activities, fluorescence characteristics and the denaturation process. Photosynthesis Research, 1998, 57(1): 51-59.
- [34] Lu C M, Zhang J H. Heat-induced multiple effects on PS II in wheat plants. Journal of Plant Physiology, 2000, 156(2): 259-265.

参考文献:

- [2] 潘瑞焱, 王小菁, 李娘辉. 植物生理学 (第六版). 北京: 高等教育出版社, 2008: 294-294, 45-45, 288-288.
- [3] 武宝珩, 韩志国, 藏汝波. 热胁迫对海洋红藻及绿藻叶绿素荧光的影响. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 2002, 23(1): 108-112.
- [4] 臧晓南, 张学成, 张璐, 刘滨, 任雪莹, 徐涂. 藻类高温胁迫分子响应的研究进展. 武汉大学学报(理学版), 2008, 54(6): 732-738.
- [5] 王艳, 唐海溶, 蒋磊, 李韶山. 硝酸盐对球形棕囊藻生长和硝酸还原酶活性的影响. 植物学通报, 2006, 23(2): 138-144.
- [10] 韩志国, 贺立静, 顾继光, 许忠能, 韩博平. 束生刚毛藻脱水 and 复水过程中光合作用的变化. 生态学杂志, 2005, 24(11): 1291-1294.
- [11] 彭长连, 温学, 林植芳, 周厚诚, 陈少薇, 林桂珠. 龙须菜对海水氮磷富营养化的响应. 植物生态学报, 2007, 31(3): 505-512.
- [13] 王悠, 唐学玺. 不同海带品系抗氧化系统活性与耐热性的相关性研究. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1507-1510.
- [17] 鹿宁, 臧晓南, 张学成, 陈伟洲, 张璇, 顾颖慧, 李清, 张璐. 高温胁迫下不同龙须菜品系抗氧化能力的比较. 武汉大学学报(理学版), 2010, 56(5): 570-577.
- [18] 刘建国, 庞通, 王莉, 李俊, 林伟. 导致热带产卡拉胶海藻大规模死亡原因分析与藻株抗病差异性比较. 海洋与湖沼, 2009, 40(2): 235-241.
- [26] 赵素芬, 张宝弟, 陈坚, 何培民. 长心卡帕藻 2 个养殖品系的营养成分分析. 上海海洋大学学报, 2009, 18(1): 53-58.
- [27] 赵素芬, 何培民. 光照强度和盐度对长心卡帕藻生长的影响. 热带海洋学报, 2009, 28(1): 24-29.
- [28] 郝建军, 康宗利, 于洋. 植物生理学实验技术. 北京: 化学工业出版社, 2007: 62-64, 156-157, 68-70.
- [29] 吴超元, 李家俊, 夏恩湛, 彭作圣, 谭塾之, 李钧, 温宗存, 黄晓航, 蔡祖林, 陈国金. 异枝麒麟菜的移植和人工栽培. 海洋与湖沼, 1988, 19(5): 410-418.
- [30] 石福臣, 鲍芳. 盐和温度胁迫对外来种互花米草 (*Spartina alterniflora*) 生理生态特性的影响. 生态学报, 2007, 27(7): 2733-2741.
- [32] 王萌, 佟少明, 侯和胜. 高温胁迫对裙带菜配子体的生长和生理影响. 天津农业科学, 2010, 16(3): 24-26.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 22 November, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Hyperspectral estimation models for plant community water content at both leaf and canopy levels in Wild Duck Lake wetland	6645
..... LIN Chuan, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji (6645)	
Potential distribution of rice in china and its climate characteristics	6659
..... DUAN Juqi, ZHOU Guangsheng (6659)	
Effects of seed soaking with soybean isoflavones on soybean seedlings under salt stress	6669
..... WU Yumei, ZHOU Qiang, YU Bingjun (6669)	
Ecophysiological responses and adaptation of <i>Tamarix ramosissima</i> to changes in groundwater depth in the Heihe river basin	6677
..... ZHANG Pei, YUAN Guofu, ZHUANG Wei, et al (6677)	
<i>Melica przewalskyi</i> population spatial pattern and response to soil moisture in degraded alpine grassland	6688
..... ZHAO Chengzhang, GAO Fuyuan, SHI Fuxi, et al (6688)	
A study on ecological compensation standard for Zaoshi Water Conservancy Project based on the idea of ecological footprint	6696
..... XIAO Jianhong, CHEN Shaojin, YU Qingdong, et al (6696)	
Spatial-temporal variation of NPP and NDVI correlation in wetland of Yellow River Delta based on MODIS data	6708
..... JIANG Ruizhu, LI Xiuqi, ZHU Yongan, et al (6708)	
Marshclassification mapping at a community scale using high-resolution imagery	6717
..... LI Na, ZHOU Demin, ZHAO Kuiyi (6717)	
The impact of bacterial-feeding nematodes on root growth of <i>Arabidopsis thaliana</i> L. and the possible mechanisms	6727
..... CHENG Yanhong, CHEN Xiaoyun, LIU Manqiang, et al (6727)	
Spatial and dynamic analysis of plantations in Xishuangbanna using network <i>K</i> -function	6734
..... YANG Juejie, LIU Shiliang, ZHAO Qinghe, et al (6734)	
Contrastive analysis and climatic response of tree-ring gray values and tree-ring densities	6743
..... ZHANG Tongwen, YUAN Yujiang, YU Shulong, et al (6743)	
Fractal structure of dominant tree species in north-facing slope of mountain of northern Hebei	6753
..... TIAN Chao, LIU Yang, YANG Xinbing, et al (6753)	
Characteristics of radiation fluxes of an evergreen broad-leaved forest in Maofeng Mountain, Guangzhou, China	6766
..... CHEN Jin, CHEN Bufeng, PAN Yongjun, et al (6766)	
Effects of seed-dressing agents on groundnut and rhizosphere microbes	6777
..... LIU Dengwang, ZHOU Shan, LIU Shengrui, et al (6777)	
Time series prediction of the concentration of chlorophyll-a based on RBF neural network with parameters self-optimizing	6788
..... TONG Yuhua, ZHOU Hongliang, HUANG Zhefeng, et al (6788)	
A trend surface analysis of geographic variation in the traits of seeds and seedlings from different <i>Quercus acutissima</i> provenances	6796
..... LIU Zhilong, YU Mukui, MA Yue, et al (6796)	
Comparisons of relationships between leaf and fine root traits in hilly area of the Loess Plateau, Yanhe River basin, Shaanxi Province, China	6805
..... SHI Yu, WEN Zhongming, GONG Shihui (6805)	
An analysis on the water status in twigs and its relations to the drought resistance in Five woody plants living in arid zone	6815
..... TAN Yongqin, BAI Xinfu, ZHU Jianjun, et al (6815)	
The effect of fire on soil properties in a <i>Pinus massoniana</i> stand	6824
..... XUE Li, CHEN Hongyue, YANG Zhenyi, et al (6824)	
Water-environment effects of industry structure in Taihu Lake Basin in Jiangsu Province	6832
..... WANG Lei, ZHANG Lei, DUAN Xuejun, et al (6832)	
Effect of high temperature on enzymic activity, pigment content and chlorophyll fluorescence of two <i>Kappaphycus</i> species	6845
..... ZHAO Sufen, HE Peimin (6845)	
Analysis on characteristics of a typical drought event in Jiangsu Province	6853
..... BAO Yunxuan, MENG Cuili, SHEN Shuanghe, et al (6853)	
Surface heat flux and energy budget for semi-arid grassland on the Loess Plateau	6866
..... YUE Ping, ZHANG Qiang, YANG Jinhui, et al (6866)	
Effects of light quality on photosynthetic characteristics and on the carotenoid and cuticular extract content in tobacco leaves	6877
..... CHEN Wei, JIANG Wei, QIU Xuebai, et al (6877)	
Cyanobacterial diversity in biological soil crusts on wastelands of copper mine tailings	6886
..... LIU Mei, ZHAO Xiuxia, ZHAN Jing, et al (6886)	
Stereotypic behavior frequency and the influencing factors in captive Alpine musk deer (<i>Moschus sifanicus</i>)	6896
..... MENG Xiuxiang, GONG Baocao, XUE Dayuan, et al (6896)	
Zooplankton ecology near the Tianwan Nuclear Power Station	6902
..... WU Jianxin, YAN Binlun, FENG Zhihua, et al (6902)	
Diel variations of fish assemblages in multiple habitats of Ma'an archipelago, Shengsi, China	6912
..... WANG Zhenhua, WANG Kai, ZHANG Shouyu (6912)	
A novel cognitive-based approach to motivation for non-use value	6926
..... ZHONG Manxiu, XU Lizhong, YANG Jing (6926)	
Review	
Salt-responsive proteomics in plants	6936
..... ZHANG Heng, ZHENG Baojiang, SONG Baohua, et al (6936)	
Research progress on forms of nitrogen and determination in the sediments	6947
..... LIU Bo, ZHOU Feng, WANG Guoxiang, et al (6947)	
Review of research progress of infectious diseases in wild birds	6959
..... LIU Dongping, XIAO Wenfa, LU Jun, et al (6959)	
Review on the methods to quantify fish's ability to cross velocity barriers in fish passage	6967
..... SHI Xiaotao, CHEN Qiwen, HUANG Yingping, et al (6967)	
Monograph	
Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: foundation, prospect and response strategy	6973
..... WU Jun, XU Haigen, DING Hui (6973)	
Scientific Note	
A comparative study of the spatial-temporal patterns of fine roots between young and mature <i>Caragana korshinskii</i> plantations	6978
..... CHEN Jianwen, WANG Mengben, SHI Jianwei (6978)	

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 31 卷 第 22 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 22 2011

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
主 管 中国科学技术协会
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

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
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
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@espg.net

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China
Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@espg.net

订 购 全国各地邮局
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

Domestic All Local Post Offices in China
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