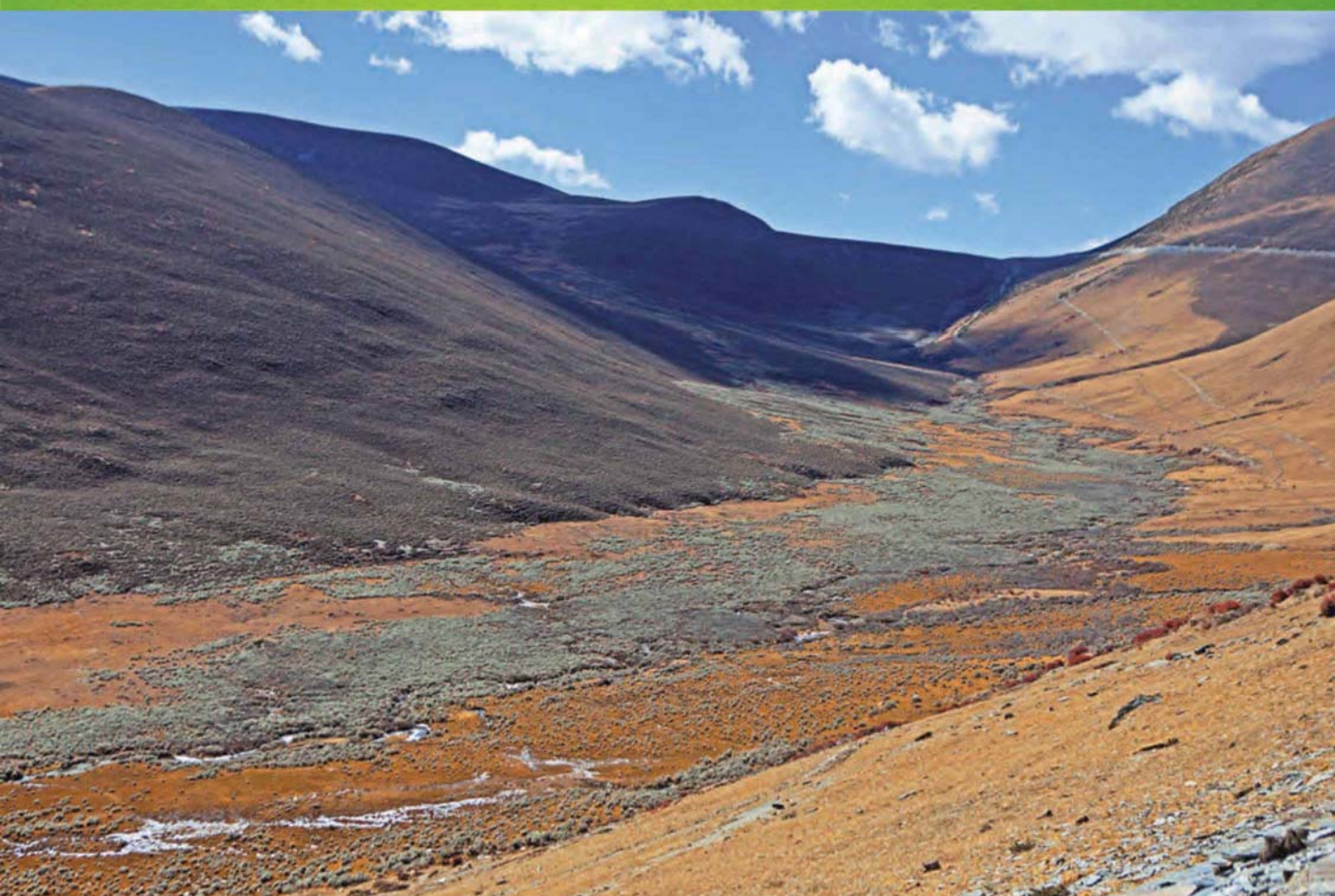


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

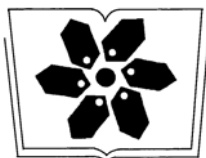
中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 18 期 Vol.33 No.18 **2013**

中国生态学会
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 33 卷 第 18 期 2013 年 9 月 (半月刊)

目 次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 美国农业生态学发展综述 黄国勤, Patrick E. McCullough (5449)
- 水足迹研究进展 马 晶, 彭 建 (5458)
- 江西省主要作物(稻、棉、油)生态经济系统综合分析评价 孙卫民, 欧一智, 黄国勤 (5467)
- 植物干旱胁迫下水分代谢、碳饥饿与死亡机理 董 蕾, 李吉跃 (5477)
- 生态化学计量学特征及其应用研究进展 曾冬萍, 蒋利玲, 曾从盛, 等 (5484)
- 三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征 王轶浩, 耿养会, 黄仲华 (5493)
- 城市不同地表覆盖类型对土壤呼吸的影响 付芝红, 呼延佼奇, 李 锋, 等 (5500)
- 华南地区 3 种具有不同入侵性的近缘植物对低温胁迫的敏感性 王宇涛, 李春妹, 李韶山 (5509)
- 沙丘稀有种准噶尔无叶豆花部综合特征与传粉适应性 施 翔, 刘会良, 张道远, 等 (5516)
- 水浮莲对水稻竞争效应、产量与土壤养分的影响 申时才, 徐高峰, 张付斗, 等 (5523)
- 珍稀药用植物白及光合与蒸腾生理生态及抗旱特性 吴明开, 刘 海, 沈志君, 等 (5531)
- 不同温度及二氧化碳浓度下培养的龙须菜光合生理特性对阳光紫外辐射的响应 杨雨玲, 李 伟, 陈伟洲, 等 (5538)
- 土壤氧气可获得性对双季稻田温室气体排放通量的影响 秦晓波, 李玉娥, 万运帆, 等 (5546)
- 免耕稻田氮肥运筹对土壤 NH_3 挥发及氮肥利用率的影响 马玉华, 刘 兵, 张枝盛, 等 (5556)
- 香梨两种树形净光合速率特征及影响因素 孙桂丽, 徐 敏, 李 疆, 等 (5565)
- 沙埋对沙米幼苗生长、存活及光合蒸腾特性的影响 赵哈林, 曲 浩, 周瑞莲, 等 (5574)
- 半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响 王红丽, 宋尚有, 张绪成, 等 (5580)
- 基于 Le Bissonnais 法的石漠化区桑树地埂土壤团聚体稳定性研究 汪三树, 黄先智, 史东梅, 等 (5589)
- 不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响 陈裴裴, 吴家森, 郑小龙, 等 (5599)
- 黄土丘陵区不同植被土壤氮素转化微生物生理群特征及差异 邢肖毅, 黄懿梅, 安韶山, 等 (5608)
- 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响 赵 彤, 闫 浩, 蒋跃利, 等 (5615)
- 林地覆盖对雷竹林土壤微生物特征及其与土壤养分制约性关系的影响 郭子武, 俞文仙, 陈双林, 等 (5623)
- 降雨对草地土壤呼吸季节变异性的影响 王 旭, 闫玉春, 闫瑞瑞, 等 (5631)
- 基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根空间变异与取样数量估计 黄超超, 黄锦学, 熊德成, 等 (5636)
- 4 种高大树木的叶片性状及 WUE 随树高的变化 何春霞, 李吉跃, 孟 平, 等 (5644)
- 干旱荒漠区银白杨树干液流动态 张 俊, 李晓飞, 李建贵, 等 (5655)
- 模拟增温和不同凋落物基质质量对凋落物分解速率的影响 刘瑞鹏, 毛子军, 李兴欢, 等 (5661)
- 金沙江干热河谷植物叶片元素含量在地表凋落物周转中的作用 闫帮国, 纪中华, 何光熊, 等 (5668)
- 温带 12 个树种新老树枝非结构性碳水化合物浓度比较 张海燕, 王传宽, 王兴昌 (5675)
- 断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响 吴彦辉, 薛立新, 许自成, 等 (5686)
- 光周期和高脂食物对雌性高山姬鼠能量代谢和产热的影响 高文荣, 朱万龙, 孟丽华, 等 (5696)
- 绿原酸对凡纳滨对虾抗氧化系统及抗低盐度胁迫的影响 王 芸, 李 正, 李 健, 等 (5704)

基于盐分梯度的荒漠植物多样性与群落、种间联接响应	张雪妮, 吕光辉, 杨晓东, 等 (5714)
广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征	温远光, 雷丽群, 朱宏光, 等 (5723)
戴云山黄山松群落与环境的关联	刘金福, 朱德煌, 兰思仁, 等 (5731)
四川盆地亚热带常绿阔叶林不同物候期凋落物分解与土壤动物群落结构的关系	王文君, 杨万勤, 谭 波, 等 (5737)
中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤活性有机碳含量及季节动态	范跃新, 杨玉盛, 杨智杰, 等 (5751)
塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 C N P 的化学计量特征	李从娟, 雷加强, 徐新文, 等 (5760)
鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征	戴年华, 邵明勤, 蒋丽红, 等 (5768)
营养盐加富和鱼类添加对浮游植物群落演替和多样性的影响	陈 纯, 李思嘉, 肖利娟, 等 (5777)
西藏达则错盐湖沉积背景与有机沉积结构	刘沙沙, 贾沁贤, 刘喜方, 等 (5785)
西藏草地多项供给及调节服务相互作用的时空演变规律	潘 影, 徐增让, 余成群, 等 (5794)
太湖水体溶解性氨基酸的空间分布特征	姚 昕, 朱广伟, 高 光, 等 (5802)
基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究	王传辉, 吴 立, 王心源, 等 (5808)
近 20 年来东北三省春玉米物候期变化趋势及其对温度的时空响应	李正国, 杨 鹏, 唐华俊, 等 (5818)
鄱阳湖湿地景观恢复的物种选择及其对环境因子的响应	谢冬明, 金国花, 周杨明, 等 (5828)
珠三角河网浮游植物生物量的时空特征	王 超, 李新辉, 赖子尼, 等 (5835)
南京市景观时空动态变化及其驱动力	贾宝全, 王 成, 邱尔发 (5848)
川西亚高山-高山土壤表层有机碳及活性组分沿海拔梯度的变化	秦纪洪 王 琴 孙 辉 (5858)
城市森林碳汇及其抵消能源碳排放效果——以广州为例	周 健, 肖荣波, 庄长伟, 等 (5865)
基于机器学习模型的沙漠腹地地下水含盐量变化过程及模拟研究	范敬龙, 刘海龙, 雷加强, 等 (5874)
干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析	夏富强, 唐 宏, 杨德刚, 等 (5883)
海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用——以南通市为例	魏 超, 叶属峰, 过仲阳, 等 (5893)
中街山列岛海洋保护区鱼类物种多样性	梁 君, 徐汉祥, 王伟定 (5905)
丰水期长江感潮河口段网采浮游植物的分布与长期变化	江志兵, 刘晶晶, 李宏亮, 等 (5917)
基于生态网络的城市代谢结构模拟研究——以大连市为例	刘耕源, 杨志峰, 陈 彬, 等 (5926)
保护区及周边居民对野猪容忍性的影响因素——以黑龙江凤凰山国家级自然保护区为例	徐 飞, 蔡体久, 琚存勇, 等 (5935)
三江源牧户参与草地生态保护的意愿	李惠梅, 张安录, 王 珊, 等 (5943)
沈阳市降雨径流初期冲刷效应	李春林, 刘 淼, 胡远满, 等 (5952)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 514 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 59 * 2013-09	



封面图说: 川西高山地带土壤及植被——青藏高原东缘川西的高山地带坡面上为草地, 沟谷地带由于低平且水分较充足, 生长有很多灌丛。川西地区大约在海拔 4000m 左右为林线, 以下则分布有亚高山森林。亚高山森林是以冷、云杉属为建群种或优势种的暗针叶林为主体的森林植被。作为高海拔低温生态系统, 高山-亚高山地带土壤碳被认为是我国重要的土壤碳库。有研究表明, 易氧化有机碳含量与海拔高度呈显著正相关, 显示高海拔有利于土壤碳的固存。因而, 这里的表层土壤总有机碳含量随着海拔的升高而增加。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201305080989

杨雨玲, 李伟, 陈伟洲, 徐军田. 不同温度及二氧化碳浓度下培养的龙须菜光合生理特性对阳光紫外辐射的响应. 生态学报, 2013, 33(18): 5538-5545.

Yang Y L, Li W, Chen W Z, Xu J T. Photosynthetic responses to Solar UV radiation of *Gracilaria lemaneiformis* cultured under different temperatures and CO₂ concentrations. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5538-5545.

不同温度及二氧化碳浓度下培养的龙须菜 光合生理特性对阳光紫外辐射的响应

杨雨玲¹, 李 伟^{2,3}, 陈伟洲^{1,*}, 徐军田⁴

(1. 汕头大学海洋生物研究所, 汕头 515063; 2. 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室, 厦门 361005;

3. 黄山学院生命与环境科学学院, 黄山 245041; 4. 淮海工学院海洋学院, 连云港 222005)

摘要: 为了研究不同温度及 CO₂ 浓度下培养的大型海藻对紫外辐射的生理学响应, 选取龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis*) 作为实验材料。实验设置两个温度梯度 (20 °C 和 24 °C), 两种 CO₂ 浓度 (390 μL/L 和 1000 μL/L) 以及 3 种辐射处理, 即可见光 (PAR) 处理 (滤除紫外线 A (UV-A)、紫外线 B (UV-B), 400—700 nm)、可见光加紫外线 A (PA) 处理 (滤除 UV-B, 320—700 nm)、PAB 处理 (全波长辐射 280—700 nm)。结果表明, 酸化、升温以及紫外辐射处理均未影响大型经济红藻龙须菜的叶绿素 a 和类胡萝卜素的含量。然而紫外辐射处理显著降低了龙须菜的有效光化学效率, 其抑制水平在酸化处理的藻体中更为显著, 并且随着温度的上升而进一步加剧; 酸化与温度耦合使藻体对紫外辐射的敏感性增加, 导致其较低的修复速率以及较高的损伤速率。

关键词: 温度; CO₂; 紫外辐射; 龙须菜; 光合特性

Photosynthetic responses to Solar UV radiation of *Gracilaria lemaneiformis* cultured under different temperatures and CO₂ concentrations

YANG Yuling¹, LI Wei^{2,3}, CHEN Weizhou^{1,*}, XU Juntian⁴

1 Marine biology institute, Shantou University, Shantou Guangdong 515063 China

2 State key laboratory of marine environmental science, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005 China

3 College of Life and Environmental Sciences, Huangshan University, Huangshan 245041 China

4 School of marine science and technology, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang Jiangsu, 222005 China

Abstract: The marine red macroalga *Gracilaria lemaneiformis* (Bory) Weber-van Bosse (Gigartinales, Rhodophyta) is an economically important species for cultivation in China. The cultivation of this species has been extensively spread which could be found in both northern and southern parts of China. This species could support as food resources for both human beings and aquaculture, and could also be commonly used in agar industry and biofuel production. The growth condition of *G. lemaneiformis* in natural environment varied frequently (especially the temperature, light intensity and quality, pCO₂), which would potentially affect the physiology and photosynthetic production. Though the physiological and ecological effects induced by these environmental variations have been extensively concerned and studied, multi-factor coupling effects to marine macroalgae are still less documented up to now. To study the physiological responses of *G. lemaneiformis* to multiple stressors of ocean acidification, rising temperature and Ultraviolet (UV) radiation, the thalli of *G. lemaneiformis* cultured under different temperature (20 °C as control, and high temperature group where it was increased by 4 °C to 24 °C) and different CO₂ concentrations (ambient atmosphere CO₂ concentration, 390 μL/L, and elevated CO₂ concentration set at 1000 μL/L which expected attain in the end of this century according to IPCC report of A1F1 scenario) for two weeks, and then the algae were treated with three levels of radiations (Photosynthetically active radiation, PAR, 400—700 nm;

基金项目: 国家海洋 863 项目 (2012AA10A411); 国家自然科学基金 (41106093); 科技部农业科技成果转化资金项目 (2012GB2E000340)

收稿日期: 2013-05-08; 修订日期: 2013-07-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wzchen@stu.edu.cn

Photosynthetically active radiation+Ultraviolet A, PA, 320—700 nm; Photosynthetically active radiation+Ultraviolet A + Ultraviolet B, PAB, 280—700 nm) respectively, in the short-period. The photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence characteristics of the thalli of *G. lemaneiformis* were determined. The results showed that ocean acidification, rising temperature and UV irradiance alone did not affect the concentrations of chlorophyll a and carotenoid of *G. lemaneiformis*, and also no interactive effects were found among the treatments. Elevated CO₂ in culture generally did not have a significant effect on the value of maximum relative electron transport rates (rETR_{max}). Temperature had no effect on the photosynthetic light-use efficiencies for thalli of *G. lemaneiformis*. However, exposure to UV radiation strong reduced the values of light-use efficiencies. Moreover, exposure of UV radiation significantly lowered the effective quantum yield in both *G. lemaneiformis* thalli grown 20 and 24 °C, with the inhibition rate being more pronounced in the algae grown under high CO₂ condition together with increased temperature than the algae grown at control conditions (ambient CO₂ concentration and 20 °C). Combine effects of ocean acidification and rising temperature enhanced the sensitivity of *G. lemaneiformis* to UV radiation, which could be reflected by the increased damage rate (k), decreased repair rate (r), and finally decreased ratio of repair to damage (r/k) in the thalli grown at high CO₂ concentration together with increased temperature. Taken together, we proposed that under the background of global change, intensified UV radiation (ozone hole continue exist), increased surface seawater temperature and enhanced ocean CO₂ absorption (ocean acidification) will synergistically exert negative effects on photosynthetic performance of *G. lemaneiformis*, and could thereby potentially decrease the yield and affect the aquaculture of this species.

Key Words: temperature; CO₂; UV radiation; *Gracilaria lemaneiformis*; Photosynthesis

人类活动导致大气中 CO₂ 浓度持续快速增加,其速度已超过过去 3 亿年来任一时刻^[1]。自工业革命以来大气中近 1/3 的 CO₂ 被海洋吸收,导致海水碳酸盐发生变化,即海水 pH 值降低、碳酸根离子浓度降低、碳酸氢根离子浓度增加。海水碳酸盐系统的变化对海洋中绝大多数生物都将产生一定的影响,如钙化生物在酸性海水中钙化量降低、钙质骨骼溶解、畸形等^[2-4]。然而关于酸化对大型定生海藻的影响的报道还相对较少。酸化对大型海藻的影响,不同种类的响应有所不同。例如酸化可对大型海藻的光合作用及生长产生正面、负面影响或无效应^[2, 5-7]。同时,CO₂ 浓度变化对大型海藻的呼吸作用也将产生不同影响,例如 CO₂ 浓度增加可降低日本江蓠以及智利江蓠的光呼吸速率^[2]。同时酸化对大型海藻的色素以及一些关键酶类的影响也有报道^[8-9]。海水酸化的同时,全球变暖将导致表层海水的温度逐渐增加,预计在本世纪末,表层海水的温度将会提高 1—4 °C^[10]。海水温度升高对大型海藻的光合、生理及分布等的影响的相关研究已有报道^[11-13]。酸化与温度的耦合,将会协同影响大型海藻在生态系统中的分布及地位^[11]。

近年来,随着蒙特利尔公约的颁布,氟氯烃类臭氧破坏物质已禁止使用,但臭氧层空洞的恢复需要较长的时间,目前南极上方臭氧层空洞依然存在,近期的研究发现北极上方也出现之前从未观测到的臭氧层空洞^[14-15]。臭氧层的破坏导致到达地球的紫外辐射(UVR)的辐射量增加,对生活在潮间带的大型海藻的光合生理具有较大影响。紫外辐射通过损伤藻体的光合色素及相关蛋白元件、诱导 DNA 损伤以及形成氧自由基等来抑制大型海藻的光合,对其光化学效率以及生长产生影响^[16-18]。

大型海藻是近岸初级生产力的主要贡献者,对全球海洋初级生产力做出约 10% 的贡献^[19]。研究酸化与升温处理后的大型海藻如何响应紫外辐射,对于研究全球变化背景下多因子耦合效应具有十分重要的生理、生态以及经济意义。大型海藻龙须菜(*Gracilaria lemaneiformis*)是一种重要的经济红藻,是提取琼胶的重要原料,在食品、医学等领域起到重要作用。目前我国沿海各地已大规模栽培,如福建宁德、广东南澳等海域^[20]。研究不同 CO₂ 浓度、温度以及紫外辐射条件下龙须菜生理响应,对于科学利用和保护龙须菜资源具有一定的理论意义。

1 材料和方法

1.1 实验材料

实验所使用的龙须菜于 2012 年 5 月 22 日采集于广东省南澳岛深澳湾栽培海区,采集后于 2 h 内转移至实验室,并在实验室的光照培养箱内暂养,温度为 20 °C,光照强度为 100 μmol m⁻² s⁻¹,光周期为光期(L):暗期(D)=12 h:12 h,所用海水为采集海区的自然海水。

1.2 实验方法

1.2.1 CO₂ 浓度控制及培养条件

选取室内暂养的健康藻体,用剪刀剪成段,每段长约 3 cm。然后随机称取湿重约 0.1 g 的藻体,放入 500 mL 球形玻璃培养

瓶中,每瓶加入 500 mL 过滤灭菌的近岸海水(盐度为 28),并加入 $100 \mu\text{mol L}^{-1}$ 的 NO_3^- 和 $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ PO_4^{3-} 防止培养过程中的营养限制。通过向培养瓶中通入正常 CO_2 (Low CO_2 , LC: $390 \mu\text{L/L}$, 当前大气 CO_2 浓度) 和高 CO_2 (High CO_2 , HC: $1000 \mu\text{L/L}$, 根据 IPCC 模型预测的 2100 年大气 CO_2 可能达到的浓度) 来获取 2 个 CO_2 梯度。正常 CO_2 通过直接使用充气泵抽取室外空气获取,高 CO_2 则使用 CO_2 培养箱,将室外空气与纯 CO_2 进行混合后获取 (HP1000G-D, 武汉华瑞)。温度设置为 20°C (对照组) 和 24°C (实验组, 全球变暖将导致表层海水的温度逐渐升高, 预计在 2100 年表层海水的温度将会提高 $1\text{--}4^\circ\text{C}$ [10]), 因此在对照组基础上提高 4°C , 培养过程中持续通气, 流速控制在 300 mL/min , 光照强度设置为 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 光暗比为 $\text{L:D} = 12 \text{ h}:12 \text{ h}$, 每天更换培养海水, 海水都预先经过不同温度和 CO_2 平衡处理。藻体经不同条件处理 2 个星期后进行实验。

1.2.2 pH 测定

培养期间, 每天换水前测定培养瓶中的 pH 值 (Mettler Toledo DL15 Titrator, Sweden), pH 计使用前用 NBS (National Bureau of Standards) 校正液进行校正, 确保培养期间海水的 pH 值变化幅度小于 0.05。

1.2.3 紫外辐射处理

将不同温度及不同 CO_2 浓度下培养的藻体置于 15 mL 石英管中, 并加入对应的培养基, 即 20°C -正常 CO_2 (LC)、 20°C -高 CO_2 (HC)、 24°C -正常 CO_2 (LC) 和 24°C -高 CO_2 (HC) 4 个处理。每个处理下的藻体分别给予以下 3 种辐射处理: (1) PAR 处理 ($400\text{--}700 \text{ nm}$), 将 Ultraphan395 滤膜 (UV Opak, Digefra, 德国慕尼黑生产) 包裹于石英管外, 可以将 UV-A (Ultraviolet A, $320\text{--}400 \text{ nm}$) 及 UVB (Ultraviolet B, $280\text{--}315 \text{ nm}$) 波段的光滤除; (2) PA 处理 ($320\text{--}700 \text{ nm}$), 将 Folex320 滤膜 (Montagefolie, No. 10155099, Folex, 德国德赖艾希生产) 包裹于石英管外, 可滤除 UV-B 波段, 从而可以获得 PA 波段; (3) PAB 处理 ($280\text{--}700 \text{ nm}$), 将 Ultraphan 295 滤膜 (UVOpak, Digefra, 德国慕尼黑生产) 包裹于石英管外, 使用该膜可以获取全波段的辐射。每个辐射处理下 3 个重复。辐射处理使用人工光源太阳模拟器获得, 其可模拟太阳光谱, 并能够保证照射过程中光强的稳定性。实验过程中设置可见光 PAR 的强度为 87 W/m^2 (约为 20°C 、培养光强为 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 时的饱和光强值), UV-A 的强度为 24.5 W/m^2 , UV-B 的强度为 1.44 W/m^2 , 照射时间为 138 min。

1.2.4 叶绿素荧光参数测定

进行辐射处理前以及辐射处理过程中将藻体放在氙灯脉冲调制荧光仪 (XE-PAM, Walz, 德国) 下测定其快速光响应曲线及有效光化学效率 (Yield)。快速光响应曲线 (RLC) 使用 8 个光强梯度 ($156, 226, 337, 533, 781, 1077, 1593, 2130 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) 的光化光, 每个光强处理时长设定为 10 s。

相对电子传递速率 (rETR) 通过以下的公式计算:

$$\text{rETR} = \text{Yield} \times 0.5 \times \text{PFD}$$

式中, Yield 表示光系统 II 的有效光化学效率, 0.5 代表光系统 II 吸收的光量子占总量的 50%, PFD 为光化光的强度 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)。

快速光响应曲线根据以下公式进行拟合 [21]:

$$y = \text{rETR}_{\max} \times (1 - e^{-\alpha x / \text{rETR}_{\max}}), I_k = \text{rETR}_{\max} / \alpha$$

式中, y 代表 rETR, x 代表光强, rETR_{\max} 代表最大相对电子传递速率, α 代表光能利用效率, I_k 代表饱和光强。

UVR 导致的修复速率 (r) 及损伤速率 (k) 使用 Origin7.0 软件用辐射过程中的有效光化学效率 (Yield) 值按照如下二元指数方程进行拟合:

$$y = a + b \times \exp(-c \times t)$$

再结合如下公式计算出 r 与 k:

$$y = r / (r + k) + k / (r + k) \times \exp(-(k + r) \times t) \quad [22]$$

相对于初始的 Yield, PAR、PA 及 PAB 导致的光化学效率 Yield 的抑制率计算方式如下:

$$\text{Inh}_{\text{PAR}} = (P_{\text{Initial}} - P_{\text{PAR}}) / P_{\text{Initial}} \times 100\%$$

$$\text{Inh}_{\text{PA}} = (P_{\text{Initial}} - P_{\text{PA}}) / P_{\text{Initial}} \times 100\%$$

$$\text{Inh}_{\text{PAB}} = (P_{\text{Initial}} - P_{\text{PAB}}) / P_{\text{Initial}} \times 100\%$$

式中, Inh_{PAR} 、 Inh_{PA} 及 Inh_{PAB} 表示照射 PAR、PA 及 PAB 138 min 后相对于 P_{Initial} (初始 Yield 值) 的抑制率, P_{PAR} 、 P_{PA} 及 P_{PAB} 表示 PAR、PA 及 PAB 下 138 min 后的 Yield 值。

1.2.5 色素测定

称取辐射处理后的藻体, 并加入 5 mL 甲醇, 4°C 冰箱内过夜提取。提取液用分光光度计测定其全波段的吸光值 (DU800, Beckman, Fullerton, California, USA)。叶绿素 a 的计算参照 Wellburn [23], 类胡萝卜素的计算参照 Parsons [24]。

1.2.6 数据统计分析

不同处理之间的显著性使用 one-way ANOVA (Turkey) 在统计分析软件 Origin 7.0 下进行分析, 温度、 CO_2 浓度及辐射处理间

的交互效应使用 2、3-way ANOVA 在统计软件 SPSS16.0 下进行分析(设显著水平为 $P=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同辐射处理下的色素含量

温度为 20 ℃ 及 24 ℃ 时,正常 CO₂(LC)及高 CO₂(HC)下培养的龙须菜单位鲜重的叶绿素及类胡萝卜素含量无显著差异 ($P>0.05$)。放入太阳模拟器下培养 138 min 后,色素含量在各处理间也无显著差异,辐射处理并未影响其色素含量 ($P>0.05$)。

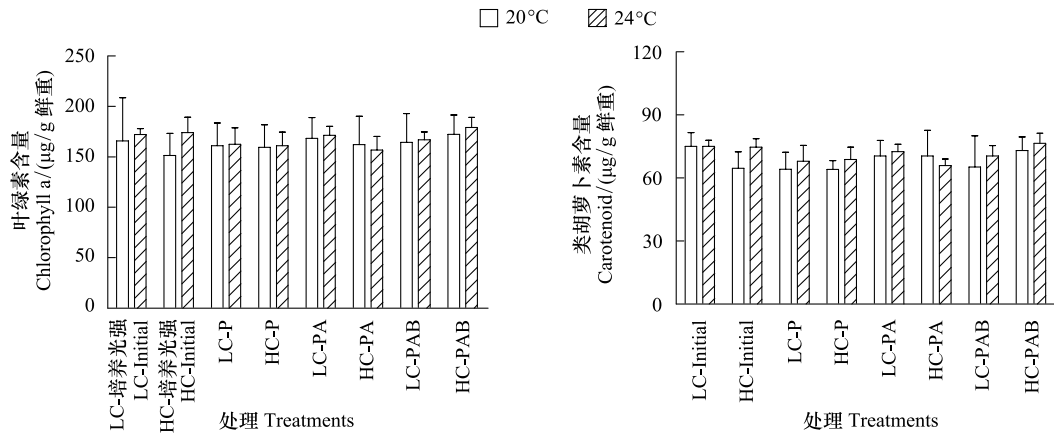


图 1 培养光强以及经可见光(P)、可见光加紫外线 A(PA)及可见光加紫外线 A 和紫外线 B(PAB)辐射处理 138min 后的龙须菜叶绿素及类胡萝卜素含量

Fig.1 The chlorophyll a and carotenoid contents of *Gracilaria lemaneiformis* under culture condition and after exposure with Photosynthetically active radiation(P), Photosynthetically active radiation + Ultraviolet radiation A (PA) and Photosynthetically active radiation + Ultraviolet A + Ultraviolet B (PAB) irradiance for 138 min

LC 为正常 CO₂ 处理(390 µL/L), HC 为高 CO₂ 处理(1000 µL/L)

2.2 不同辐射处理下的光响应曲线

图 2 显示的是不同条件下培养的藻体经过不同辐射处理 138 min 后的快速光响应曲线图。通过对快速光响应曲线进行拟合可以得到不同处理下的最大电子传递速率($rETR_{max}$),光能利用效率(α)以及饱和光强(I_k) (表 1)。多因素方差分析显示,温度并未影响其光能利用效率 ($P>0.05$),然而无论是 LC 还是 HC 培养的龙须菜,辐射处理显著降低了其光能利用效率 ($P<0.05$)。

表 1 根据图 2 拟合获得的不同温度及 CO₂ 浓度下培养的龙须菜最大相对电子传递速率($rETR_{max}$)、光能利用效率(α)及饱和光强(I_k)
Table 1 Photosynthetic parameters derived from figure 2 of *Gracilaria lemaneiformis* cultured under different temperatures and CO₂ conditions

温度 Temperature/℃		二氧化碳浓度 CO ₂ concentration	最大相对电子 传递速率 rETR _{max}	光能利用效率 α	饱和光强 I _k
20	初始培养光强	低 CO ₂ LC	65.49±5.93	0.20±0.05	340.07±90.08
		高 CO ₂ HC	64.8±5.34	0.17±0.04	396.23±112.17
	P	低 CO ₂ LC	77.51±11.40 ^a	0.14±0.04	566.80±72.38
		高 CO ₂ HC	79.69±4.61 ^b	0.15±0.05	546.78±138.70
	PA	低 CO ₂ LC	76.15±20.64	0.07±0.03	1170.88±731.18
		高 CO ₂ HC	81.96±2.53	0.09±0.01	917.42±111.88
	PAB	低 CO ₂ LC	82.23±4.96	0.06±0.01	1329.21±58.13
		高 CO ₂ HC	78.42±18.93	0.05±0.01	1450.90±442.93
24	初始培养光强	低 CO ₂ LC	70.69±3.48	0.14±0.02	534.73±111.94
		高 CO ₂ HC	66.71±5.09	0.18±0.03	384.37±57.51
	P	低 CO ₂ LC	79.27±13.46	0.14±0.03	587.55±166.20
		高 CO ₂ HC	92.63±27.34	0.14±0.02	633.26±121.24
	PA	低 CO ₂ LC	66.89±8.57	0.06±0.02	1115.04±393.55
		高 CO ₂ HC	70.28±7.08	0.10±0.04	746.83±247.03
	PAB	低 CO ₂ LC	78.40±8.98	0.06±0.02	1371.83±431.53
		高 CO ₂ HC	70.29±3.00	0.04±0.00	1596.87±54.27

$rETR_{max}$ 在两温度以及各辐射处理下,LC 与 HC 间无显著差异;P:可见光;PA:可见光加紫外线 A;PAB:可见光加紫外线 A 加紫外线 B

温度为 20℃ 时,相对于培养光强下的光能利用效率,P 处理并未影响其光能利用效率($P>0.05$),然而在 PA 及 PAB 辐射处理后 LC 下分别降低了 62.80% ($P<0.05$) 和 69.21% ($P<0.05$),而 HC 处理则分别降低了 47.05% ($P<0.05$) 和 67.63% ($P<0.05$)。温度为 24℃ 时,相对于培养光强下的光能利用效率,P 处理同样未影响其光能利用效率($P>0.05$),而在 PA 及 PAB 辐射处理后 LC 下分别降低了 52.33% ($P<0.05$) 和 55.35% ($P<0.05$),HC 下则分别降低了 42.12% ($P>0.05$) 和 75.00% ($P<0.05$)。

相对于培养光强下的饱和光强值,PA 及 PAB 处理显著提高了其饱和光强值($P<0.05$),但温度及 CO_2 浓度并未对其产生影响($P>0.05$)。

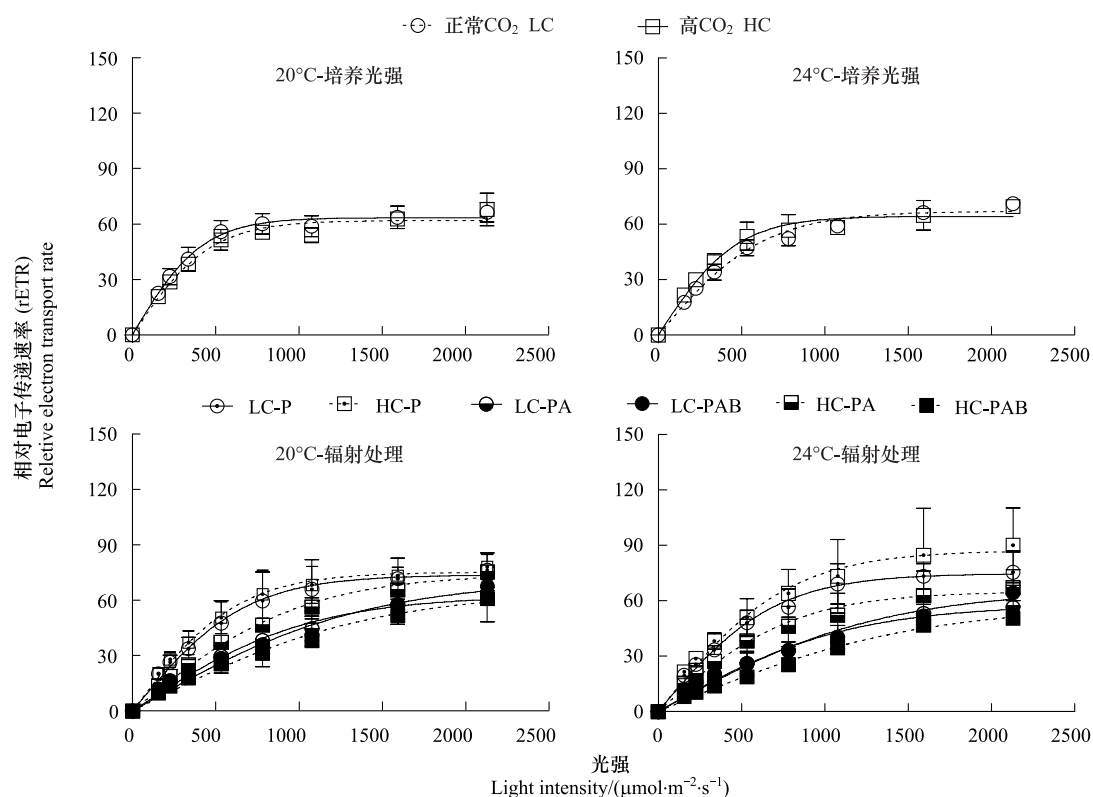


图2 不同温度及 CO_2 浓度下培养的龙须菜在培养光强以及经 P、PA 及 PAB 辐射处理 138 min 后的电子传递速率

Fig.2 The electron transport rates of *Gracilaria lemaneiformis* under culture condition and exposure with P, PA and PAB irradiance for 138 min

2.3 辐射处理下 Yield 值的变化

辐射处理显著降低了龙须菜的 Yield,且不同辐射处理下降程度有所不同(图3)。通过比较辐射处理 138 min 后的 Yield 与初始 Yield 的差异,计算出 P、PA 及 PAB 导致的抑制率,在 20℃ 时 LC 下分别为 14.82%、27.75% 和 56.37%,而在 HC 下则分别为 11.55%、47.61% 和 50.34%;在 24℃ 时 LC 下分别为 16.04%、40.19% 和 42.75%,而在 HC 下则分别为 11.57%、47.74% 和 58.26%(图4)。

20℃ 时,P 及 PAB 诱导的抑制率在两 CO_2 浓度间无显著差异($P>0.05$),然而 PA 诱导的抑制率 HC 要比 LC 高 71.56% ($P<0.05$);而 24℃ 时,P 诱导的抑制率在 LC 与 HC 间无显著差异,然而 PA 及 PAB 诱导的抑制率在 HC 下分别增加了 18.78% 和 36.26%(图4)。

根据图3中 PAB 处理下 Yield 的变化情况进行拟合,得到不同温度及 CO_2 浓度下培养的龙须菜的修复速率(r)、损伤速率(k)以及二者的比值(r/k)。修复速率(r)及损伤速率(k)在各处理间都无显著性差异($P>0.05$)。24℃ 下 LC 处理,其 r/k (1.20 ± 0.17) 要显著高于其他处理(20℃-正常 CO_2 (LC), 0.79 ± 0.17 ; 20℃-高 CO_2 , 0.43 ± 0.27 ; 24℃-高 CO_2 , 0.65 ± 0.12) ($P<0.05$)。对比两 CO_2 处理间的 r/k ,HC 处理相对于 LC,在 20℃ 时降低了 45.97% ($P>0.05$),24℃ 时降低了 45.69% ($P<0.05$)。

3 讨论

全球变化背景下,海洋酸化的同时伴随着升温,在这双重的环境压力下,龙须菜对紫外辐射更为敏感。在 20℃ 时,海洋酸化仅导致龙须菜藻体对 UV-A 的敏感性显著增加,但随着温度的升高,除 UV-A 外,这种敏感性在全波长辐射中也得到了体现(图4)。在面对 UVR 胁迫时,生物体能够通过自身的代谢对紫外造成的损伤进行修复,然而修复与损伤的比例(r/k)决定了其受紫外抑制的程度^[25],比值越低抑制程度越高。经紫外辐射处理后,海洋酸化情况下生长的藻体的 r/k 在两个温度下都是较

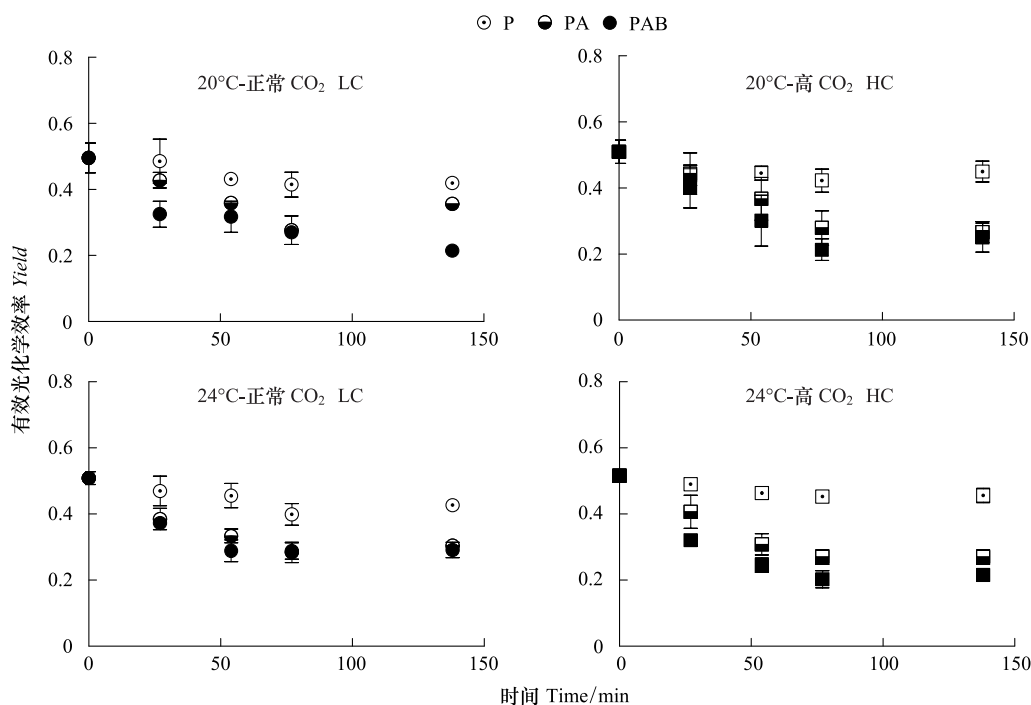


图3 20°C-LC), 20°C-HC, 24°C-LC, 24°C-HC 下培养的龙须菜在经 P、PA 及 PAB 辐射处理 138min 过程中的有效光化学效率
Fig.3 The changes of effective quantum yield of *Gracilaria lemaneiformis* that cultured under 20°C-LC, 20°C-HC, 24°C-LC, 24°C-HC during exposure with P, PA and PAB irradiance for 138 min

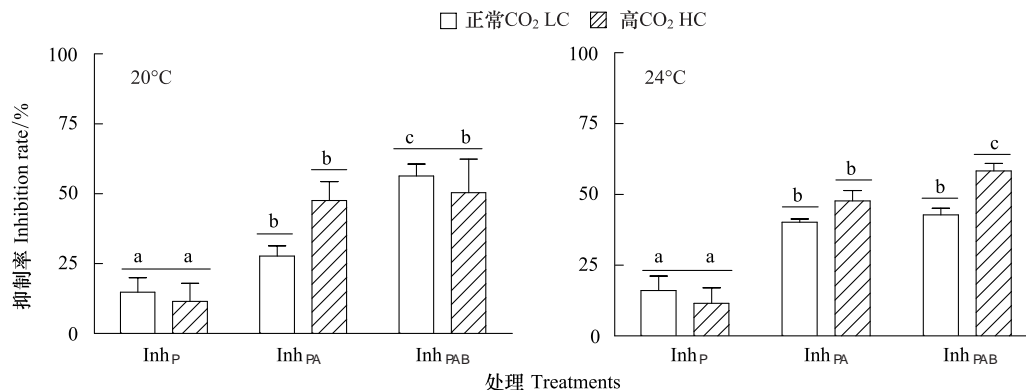


图4 20 °C及 24 °C下不同 CO₂浓度培养的龙须菜经 P、PA 及 PAB 辐射处理 138min 后有效光化学效率的相对抑制率
Fig.4 The relative inhibition rates of *Gracilaria lemaneiformis* that cultured under 20 °C and 24 °C with LC and HC treatment
可见光诱导的抑制率: Inh P; 可见光加紫外线 A 诱导的抑制率: Inh PA; 可见光加紫外线 A 加紫外线 B 诱导的抑制率: Inh PAB

低的(图5),这与其低的修复速率与高的损伤速率有关。温度会加剧海洋酸化的这种负面效应,同时全球变化导致的紫外辐射的增加,必将会进一步提高龙须菜对紫外辐射的敏感度。

酸化处理后海水中溶解的 $p\text{CO}_2$ 升高虽然可以促进光合作用等^[5, 26],但与此同时胞外 H^+ 浓度也将增加。胞内外酸碱平衡的调控是一种耗能的过程,而在胞外 H^+ 浓度增加的情况下,有机体维持胞内外酸碱平衡所需的能量消耗也将受到影响^[27]。大多数情况下,对于初级生产者来说,其光合速率一般随温度升高而升高,在达到最适温度后随温度的升高而降低,与此同时,温度升高也将导致藻体呼吸速率增加^[28]。大型褐藻羊栖菜的呼吸系数(T_{10})随 CO_2 浓度升高而升高,体现了酸化与温度的耦合效应^[28]。这种因温度升高而增加的高的能量需求可能会抵消因 CO_2 浓度增加而带来的正面效应^[29],从而有可能影响龙须菜在紫外辐射处理下的修复情况。

随着温度的升高,辐射的增强以及海洋持续酸化,在近岸海域养殖的龙须菜将会面临复杂的环境变化,这些环境因子共同作用,对龙须菜的养殖将会产生很大的影响,这种影响在很大程度上取决于龙须菜对这些环境变化的响应。而为了更加真实的

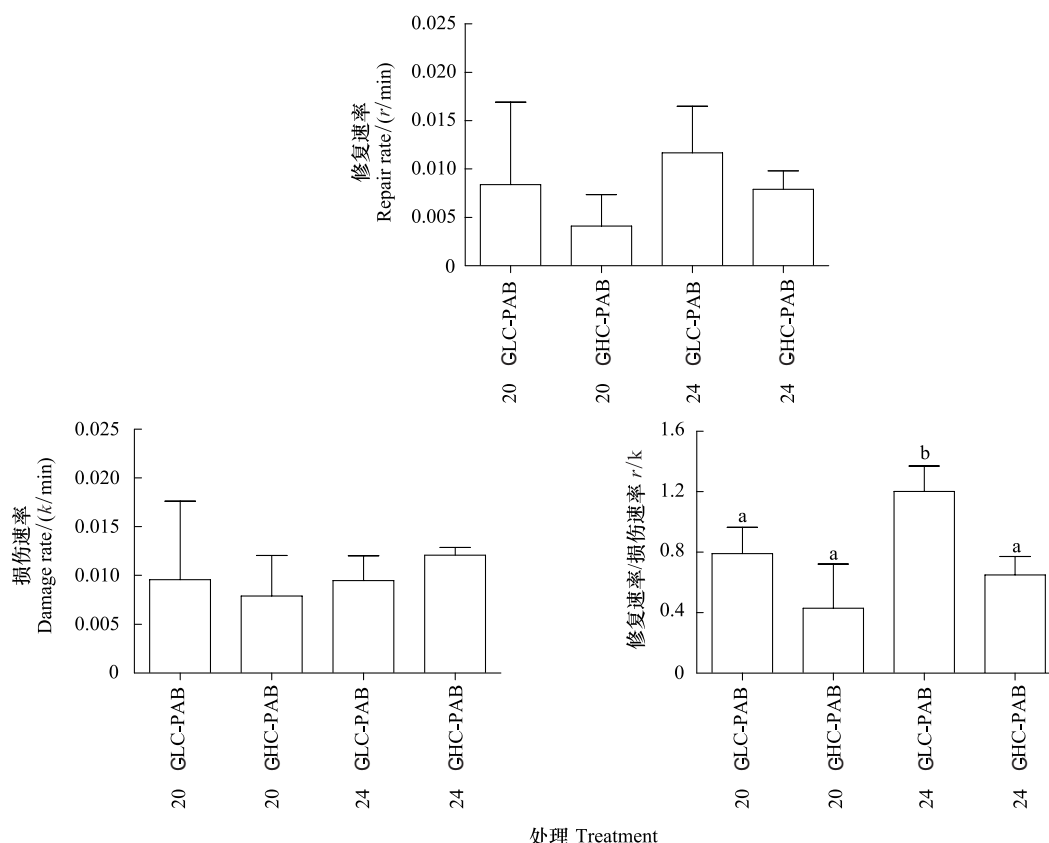


图5 不同温度及 CO_2 浓度下培养的龙须菜经 PAB 辐射处理 138min 的过程中的修复速率 (r)、损伤速率 (k) 及修复速率/损伤速率 (r/k)

Fig. 5 The repair, damage rate and repair rate/damage rate of *Gracilaria lemaneiformis* that cultured under different temperatures and CO_2 conditions

反映养殖区内的龙须菜对这些环境变化的响应,将进一步进行实验,在尽可能接近原位的条件下探讨它们响应环境变化的机制。

References:

- [1] Hönisch B, Ridgwell A, Schmidt D N, Thomas E, Gibbs S J, Sluijs A, Zeebe R, Kump L, Martindale R C, Greene S E, Kiessling W, Ries J, Zachos J C, Royer D L, Barker S, Marchitto T M, Moyer R, Pelejero C, Ziveri P, Foster G L, Williams B. The geological record of ocean acidification. *Science*, 2012, 335(6072): 1058-1063.
- [2] Gao K, Aruga Y, Asada K, Ishihara T, Akano T, Kiyohara M. Calcification in the articulated coralline alga *Corallina pilulifera*, with special reference to the effect of elevated CO_2 concentration. *Marine Biology*, 1993, 117(1): 129-132.
- [3] Chan V B S, Li C L, Lane A C, Wang Y C, Lu X W, Shih K, Zhang T, Thiagarajan V, Lin S J. CO_2 -driven ocean acidification alters and weakens integrity of the calcareous tubes produced by the serpulid tubeworm, *Hydroides elegans*. *PLoS One*, 2012, 7(8): e42718.
- [4] Riebesell U, Zondervan I, Rost B, Tortell P D, Zeebe R E, Morel F M M. Reduced calcification of marine plankton in response to increased atmospheric CO_2 . *Nature*, 2000, 407(6802): 364-367.
- [5] Gao K, Aruga Y, Asada K, Ishihara T, Akano T, Kiyohara M. Enhanced growth of the red alga *Porphyra yezoensis* Ueda in high CO_2 concentrations. *Journal of Applied Phycology*, 1991, 3(4): 355-362.
- [6] Björk M, Haglund K, Ramazanov Z, Pedersen M. Inducible mechanisms for HCO_3^- utilization and repression of photorespiration in protoplasts and thalli of three species of *Ulva* (Chlorophyta). *Journal of Phycology*, 1993, 29(2): 166-173.
- [7] Israel A, Katz S, Dubinsky Z, Merrill J E, Friedlander M. Photosynthetic inorganic carbon utilization and growth of *Porphyra linearis* (Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology*, 1999, 11(5): 447-453.
- [8] Stitt M, Krapp A. The interaction between elevated carbon dioxide and nitrogen nutrition: the physiological and molecular background. *Plant, Cell and Environment*, 1999, 22(6): 583-621.
- [9] Xu J T. Photobiological Studies on the Economic Red Macroalgae *Gracilaria lemaneiformis* and *Gloiopeltis furcata* [D]. Shantou: Shantou

- University, 2008.
- [10] Bopp L, Monfray P, Aumont O, Dufresne J L, Le Treut H, Madec G, Terray L, Orr J C. Potential impact of climate change on marine export production. *Global Biogeochemical Cycles*, 2001, 15(1): 81-99.
- [11] Connell S D, Russell B D. The direct effects of increasing CO₂ and temperature on non-calcifying organisms: increasing the potential for phase shifts in kelp forests. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2010, 277(1686): 1409-1415.
- [12] Wiencke C, Bartsch I, Bischoff B, Peters A, Breeman A. Temperature requirements and biogeography of Antarctic, Arctic and Amphiequatorial Seaweeds. *Botanica Marina*, 1994, 37(3): 247-260.
- [13] Necchi O. Photosynthetic responses to temperature in tropical lotic macroalgae. *Phycological Research*, 2004, 52(2): 140-148.
- [14] Solomon S, Chanin M L. The Antarctic ozone hole: A unique example of the science and policy interface. *Science Diplomacy: Antarctica, Science, and the Governance of International Spaces*, 2011: 189-195.
- [15] Madronich S, McKenzie R L, Björn L O, Caldwell M M. Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 1998, 46(1): 5-19.
- [16] Atienzar F A, Cordi B, Donkin M E, Evenden A J, Jha A N, Depledge M H. Comparison of ultraviolet-induced genotoxicity detected by random amplified polymorphic DNA with chlorophyll fluorescence and growth in a marine macroalgae, *Palmaria palmata*. *Aquatic Toxicology*, 2000, 50(1): 1-12.
- [17] Han B, Han Z, Fu X. *Algae Photosynthesis Mechanism and Model*. Beijing: Science Press, 2003.
- [18] Hollosy F. Effects of ultraviolet radiation on plant cells. *Micron*, 2002, 33(2): 179-197.
- [19] Smith S. Marine macrophytes as a global carbon sink. *Science*, 1981, 211(4484): 838-840.
- [20] Xu Z. Responses of the Red Alga *Gracilaria lemaneiformis* to solar UV Radiation and Its Relation to Changes in N, P and C Concentrations [D]. Shantou: Shantou University, 2010.
- [21] Webb W L, Newton M, Starr D. Carbon dioxide exchange of *Alnus rubra*: a mathematical model. *Oecologia*, 1974, 17(4): 281-291.
- [22] Lesser M P, Cullen J J, Neale P J. Carbon uptake in a marine diatom during acute exposure to ultraviolet B radiation: Relative importance of damage and repair. *Journal of Phycology*, 1994, 30(2): 183-192.
- [23] Wellburn A R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, 1994, 144(3): 307-313.
- [24] Parsons T R, Strickland J D H. Discussion of spectrophotometric determination of marine plant pigments, with revised equation for ascertaining chlorophylls and carotenoids. *Journal of Marine Research*, 1963, 21(3): 155-163.
- [25] Litchman E, Neal P J, Banaszak A T. Increased sensitivity to ultraviolet radiation in nitrogen-limited dinoflagellates: Photoprotection and repair. *Limnology and Oceanography*, 2002, 47(1): 86-94.
- [26] Gao K, Ji Y, Aruga Y. Relationship of CO₂ concentrations to photosynthesis of intertidal macroalgae during emersion. *Hydrobiologia*, 1999, 398-399: 355-359.
- [27] Pörtner H O, Dupont S, Melzner F, Storch D, Thorndyke M. Studies of metabolic rate and other characters across life stages // Riebesell U, Fabry V J, Hansson L, Gattuso J P, eds. *Guide to Best Practices Ocean Acidification and Data Reporting*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010: 137-165.
- [28] Zou D H, Gao K S, Luo H J. Short- and long-term effects of elevated CO₂ on photosynthesis and respiration in the marine macroalga *Hizikia fusiformis* (Sargassaceae, Phaeophyta) grown at low and high N supplies. *Journal of Phycology*, 2011, 47(1): 87-97.
- [29] Xu J, Gao K. The influence of carbon dioxide and solar UVR on the growth, photosynthesis and pigments contents of *Gracilaria lemaneiformis*. *Acta Oceanologica Sinica*, 2010, 32(5): 144-151.

参考文献:

- [9] 徐军田. 经济红藻龙须菜和海萝的光生物学研究 [D]. 汕头: 汕头大学, 2008.
- [17] 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.
- [20] 徐智广. 红藻龙须菜对太阳 UV 辐射的响应及其与氮、磷和碳浓度变化的关系 [D]. 汕头: 汕头大学, 2010.
- [29] 徐军田, 高坤山. 二氧化碳和阳光紫外辐射对龙须菜生长和光合生理的影响. *海洋学报*, 2010, 32(5): 144-151.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.18 Sep. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Development of agroecology in USA	HUANG Guoqin, McCullough Patrick E. (5449)
Research progress on water footprint	MA Jing, PENG Jian (5458)
Analysis and evaluation of the eco-economic systems of the main crops (rice, cotton and rapeseed) in Jiangxi Province, China	SUN Weimin, OU Yizhi, HUANG Guoqin (5467)
Relationship among drought, hydraulic metabolic, carbon starvation and vegetation mortality	DONG Lei, LI Jiyue (5477)
Reviews on the ecological stoichiometry characteristics and its applications	ZENG Dongping, JIANG Liling, ZENG Congsheng, et al (5484)
Composition and fractal features of purple soil aggregates during the vegetation restoration processes in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Yihao, GENG Yanghui, HUANG Zhonghua (5493)
Impacts of different surface covers on soil respiration in urban areas	FU Zhihong, HUYAN Jiaoqi, LI Feng, et al (5500)
Chilling sensitivities of three closely related plants with different invasiveness in South China	WANG Yutao, LI Chunmei, LI Shaoshan (5509)
The flower syndrome and pollination adaptation of desert rare species <i>Eremosparton songoricum</i> (litv.) Vass.(Fabaceae)	SHI Xiang, LIU Huiliang, ZHANG Daoyuan, et al (5516)
Competitive effect of <i>Pistia stratiotes</i> to rice and its impacts on rice yield and soil nutrients	SHEN Shicai, XU Gaofeng, ZHANG Fudou, et al (5523)
Photosynthetic physiological ecology characteristics of rare medicinal plants <i>Bletilla striata</i>	WU Mingkai, LIU Hai, SHEN Zhijun, et al (5531)
Photosynthetic responses to Solar UV radiation of <i>Gracilaria lemaneiformis</i> cultured under different temperatures and CO ₂ concentrations	YANG Yuling, LI Wei, CHEN Weizhou, et al (5538)
The effect of soil oxygen availability on greenhouse gases emission in a double rice field	QIN Xiaobo, LI Yu'e, WAN Yunfan, et al (5546)
Effects of nitrogen management on NH ₃ volatilization and nitrogen use efficiency under no-tillage paddy fields	MA Yuhua, LIU Bing, ZHANG Zhisheng, et al (5556)
Study on characteristics of net photosynthetic rate of two kinds of tree shape and Impact Factors in Korla fragrant pear	SUN Guili, XU Min, LI Jiang, et al (5565)
Effects of sand burial on growth, survival, photosynthetic and transpiration properties of <i>Agriophyllum squarrosum</i> seedlings	ZHAO Halin, QU Hao, ZHOU Ruilian, et al (5574)
Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature, moisture and yield of spring wheat in a semi-arid area in drylands of Gansu, China	WANG Hongli, SONG Shangyou, ZHANG Xucheng, et al (5580)
Study on soil aggregates stability of mulberry ridge in Rocky Desertification based on Le Bissonnais method	WANG Sanshu, HUANG Xianzhi, SHI Dongmei, et al (5589)
Effects of fertilization on nitrogen loss with different forms via runoff and seepage under <i>Phyllostachy praecox</i> stands	CHEN Peipei, WU Jiasen, ZHENG Xiaolong, et al (5599)
Characteristics of physiological groups of soil nitrogen-transforming microbes in different vegetation types in the Loess Gully region, China	XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (5608)
Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the Loess Hilly Area	ZHAO Tong, YAN Hao, JIANG Yueli, et al (5615)
Influence of mulching management on soil microbe and its relationship with soil nutrient in <i>Phyllostachys praecox</i> stand	GUO Ziwu, YU Wenxian, CHEN Shuanglin, et al (5623)
Effect of rainfall on the seasonal variation of soil respiration in Hulunber Meadow Steppe	WANG Xu, YAN Yuchun, YAN Ruirui, et al (5631)
Spatial heterogeneity of fine roots in a subtropical evergreen broad-leaved forest and their sampling strategy based on soil coring method	HUANG Chaochao, HUANG Jinxue, XIONG Decheng, et al (5636)
Changes of leaf traits and WUE with crown height of four tall tree species	HE Chunxia, LI Jiyue, MENG Ping, et al (5644)
Sap flow dynamics of <i>Populus alba</i> L.× <i>P.talassica</i> plantation in arid desert area	ZHANG Jun, LI Xiaofei, LI Jiangui, et al (5655)
Effects of simulated temperature increase and vary little quality on litter decomposition	LIU Ruipeng, MAO Zijun, LI Xinghuan, et al (5661)
The effects of leaf stoichiometric characters on litter turnover in an arid-hot valley of Jinsha River, China	YAN Bangguo, JI Zhonghua, HE Guangxiong, et al (5668)
Comparison of concentrations of non-structural carbohydrates between new twigs and old branches for 12 temperate species	ZHANG Haiyan, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (5675)
Combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on growth, sugar:nicotine ratio, and organic potassium index of flue-cured tobacco	WU Yanhui, XUE Lixin, XU Zicheng, et al (5686)
Effects of photoperiod and high fat diet on energy intake and thermogenesis in female <i>Apodemus chevrieri</i>	GAO Wenrong, ZHU Wanlong, MENG Lihua, et al (5696)
Effects of dietary chlorogenic acid supplementation on antioxidant system and anti-low salinity of <i>Litopenaeus vannamei</i>	WANG Yun, LI Zheng, LI Jian, et al (5704)

- Responses of desert plant diversity, community and interspecific association to soil salinity gradient ZHANG Xueni, LÜ Guanghui, YANG Xiaodong, et al (5714)
- Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county, Guangxi WEN Yuanguang, LEI Liquan, ZHU Hongguang, et al (5723)
- Association between environment and community of *Pinus taiwanensis* in Daiyun Mountain LIU Jinfu, ZHU Dehuang, LAN Siren, et al (5731)
- The dynamics of soil fauna community during litter decomposition at different phenological stages in the subtropical evergreen broad-leaved forests in Sichuan basin WANG Wenjun, YANG Wanqin, TAN Bo, et al (5737)
- Seasonal dynamics and content of soil labile organic carbon of mid-subtropical evergreen broadleaved forest during natural succession FAN Yuexin, YANG Yusheng, YANG Zhijie, et al (5751)
- The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (5760)
- A preliminary investigation on the population and behavior of the Tundra Swan (*Cygnus columbianus*) in Poyang Lake DAI Nianhua, SHAO Mingqin, JIANG Lihong, et al (5768)
- Effects of nutrient enrichment and fish stocking on succession and diversity of phytoplankton community CHEN Chun, LI Sijia, XIAO Lijuan, HAN Boping (5777)
- The depositional environment and organic sediment component of Dagze Co, a saline lake in Tibet, China LIU Shasha, JIA Qinxian, LIU Xifang, et al (5785)
- Spatiotemporal variation of interacting relationships among multiple provisioning and regulating services of Tibet grassland ecosystem PAN Ying, XU Zengrang, YU Chengqun, et al (5794)
- Spatial distribution of dissolved amino acids in Lake Taihu, China YAO Xin, ZHU Guangwei, GAO Guang, et al (5802)
- RS- and GIS-based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin, Anhui Province, China WANG Chuanhui, WU Li, WANG Xinyuan, et al (5808)
- Trends of spring maize phenophases and spatio-temporal responses to temperature in three provinces of Northeast China during the past 20 years LI Zhengguo, YANG Peng, TANG Huaqun, et al (5818)
- Species selection for landscape rehabilitation and their response to environmental factors in Poyang Lake wetlands XIE Dongming, JIN Guohua, ZHOU Yangming, et al (5828)
- Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (5835)
- Spatio-temporal dynamics of land use/land cover and its driving forces in Nanjing from 1995 to 2008 JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa (5848)
- Changes of organic carbon and its labile fractions in topsoil with altitude in subalpine-alpine area of southwestern China QIN Jihong, WANG Qin, SUN Hui (5858)
- The carbon sink of urban forests and efficacy on offsetting energy carbon emissions from city in Guangzhou ZHOU Jian, XIAO Rongbo, ZHUANG Changwei, et al (5865)
- Groundwater salt content change and its simulation based on machine learning model in hinterlands of Taklimakan Desert FAN Jinglong, LIU Hailong, LEI Jiaqiang, et al (5874)
- Analysis of coordination degree between urban development and water resources potentials in arid oasis city XIA Fuqiang, TANG Hong, YANG Degang, et al (5883)
- Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones: a case in Nantong WEI Chao, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (5893)
- Fish species diversity in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA) LIANG Jun, XU Hanxiang, WANG Weiding (5905)
- Distribution and long-term changes of net-phytoplankton in the tidal freshwater estuary of Changjiang during wet season JIANG Zhibing, LIU Jingjing, LI Hongliang, et al (5917)
- Study of urban metabolic structure based on ecological network: a case study of Dalian LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin, et al (5926)
- Factors influencing of residents' tolerance towards wild boar in and near nature reserve: Taking the Heilongjiang Fenghuangshan Nature Reserve as the example XU Fei, CAI Tiji, JU Cunyong, et al (5935)
- Herdsmen's willingness to participate in ecological protection in Sanjiangyuan Region, China LI Huimei, ZHANG Anlu, WANG Shan, et al (5943)
- Analysis of first flush in rainfall runoff in Shenyang urban city LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (5952)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 陈利顶

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 33 卷 第 18 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 18 (September, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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 90.00 元