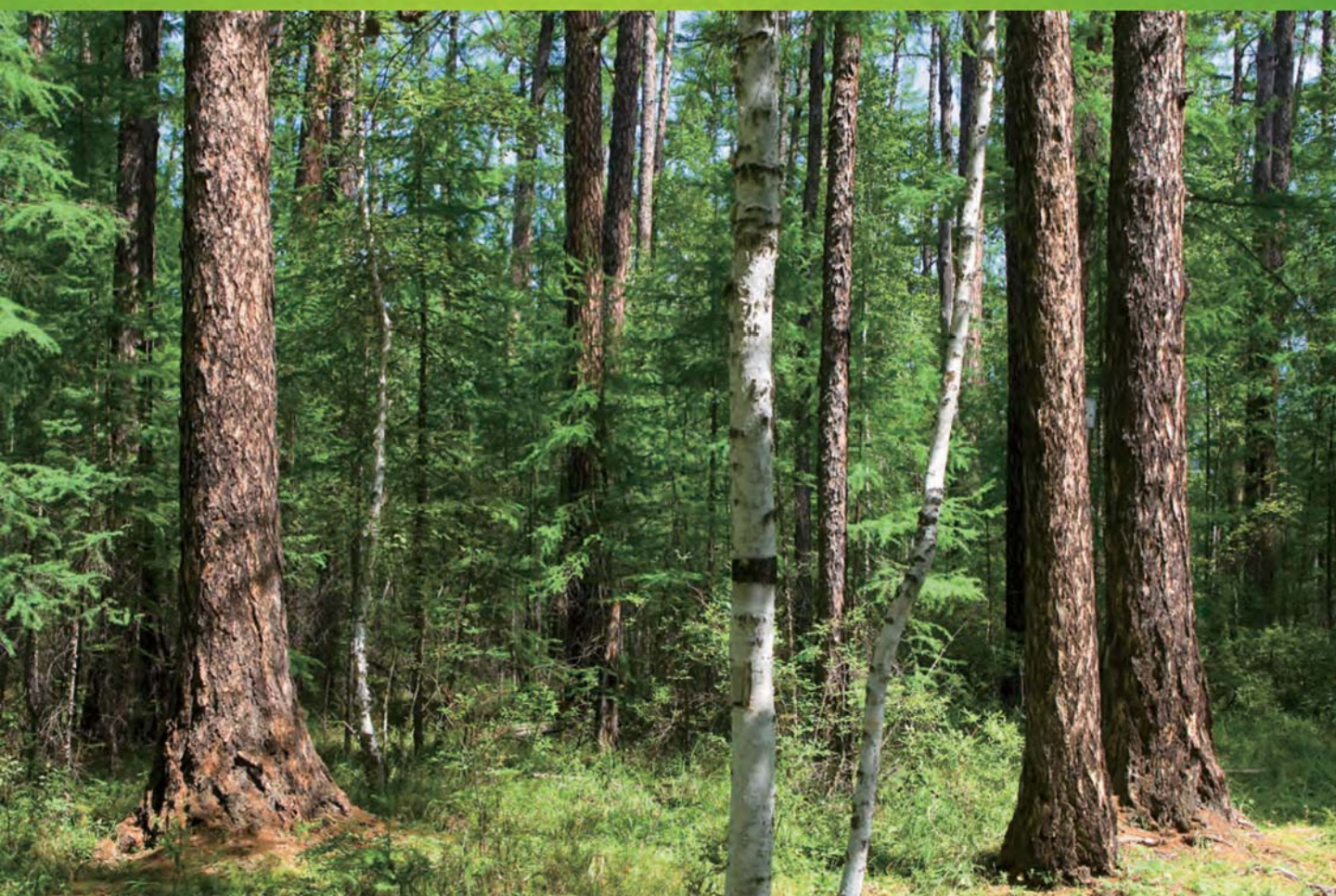


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

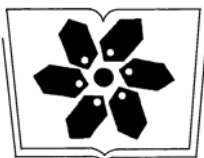
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第23期 Vol.33 No.23 **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 23 期 2013 年 12 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 基于树干液流技术的北京市刺槐冠层吸收臭氧特征研究..... 王 华, 欧阳志云, 任玉芬, 等 (7323)
- 三疣梭子蟹增殖过程对野生种群的遗传影响——以海州湾为例..... 董志国, 李晓英, 张庆起, 等 (7332)
- 土壤盐分对三角叶滨藜抗旱性能的影响..... 谭永芹, 柏新富, 侯玉平, 等 (7340)
- 南美斑潜蝇为害对黄瓜体内 4 种防御酶活性的影响..... 孙兴华, 周晓榕, 庞保平, 等 (7348)

个体与基础生态

- 模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物养分输入量的早期影响..... 肖银龙, 涂利华, 胡庭兴, 等 (7355)
- 茎瘤芥不同生长期植株营养特性及其与产量的关系..... 赵 欢, 李会合, 吕慧峰, 等 (7364)
- 雷竹覆盖物分解速率及其硅含量的变化..... 黄张婷, 张 艳, 宋照亮, 等 (7373)
- 渍水对油菜苗期生长及生理特性的影响..... 张树杰, 廖 星, 胡小加, 等 (7382)
- 广西扶绥黑叶猴的主要食源植物及其粗蛋白含量..... 李友邦, 丁 平, 黄乘明, 等 (7390)
- 氮素营养水平对膜下滴灌玉米穗位叶光合及氮代谢酶活性的影响..... 谷 岩, 胡文河, 徐百军, 等 (7399)
- PFOS 对斑马鱼胚胎及仔鱼的生态毒理效应 夏继刚, 牛翠娟, 孙麓垠 (7408)
- 浒苔干粉末提取物对东海原甲藻和中肋骨条藻的克生作用..... 韩秀荣, 高 嵩, 侯俊妮, 等 (7417)
- 基于柑橘木虱 CO I 基因的捕食性天敌捕食作用评估 孟 翔, 欧阳革成, Xia Yulu, 等 (7430)
- 健康和虫害的红松挥发物对赤松梢斑螟及其寄生蜂寄主选择行为的影响.....
..... 王 琪, 严善春, 严俊鑫, 等 (7437)

种群、群落和生态系统

- 小麦蚕豆间作对蚕豆根际微生物群落功能多样性的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系.....
..... 董 艳, 董 坤, 汤 利, 等 (7445)
- 喀斯特峰丛洼地不同生态系统的土壤肥力变化特征..... 于 扬, 杜 虎, 宋同清, 等 (7455)
- 黄土高原人工苜蓿草地固碳效应评估..... 李文静, 王 振, 韩清芳, 等 (7467)

景观、区域和全球生态

- 粉垄耕作对黄淮海北部土壤水分及其利用效率的影响..... 李轶冰, 逢焕成, 杨 雪, 等 (7478)
- 三峡库区典型农林流域景观格局对径流和泥沙输出的影响..... 黄志霖, 田耀武, 肖文发, 等 (7487)
- 基于 BP 神经网络与 ETM+ 遥感数据的盐城滨海自然湿地覆被分类..... 肖锦成, 欧维新, 符海月 (7496)
- 寒温带针叶林土壤 CH₄ 吸收对模拟大气氮沉降增加的初期响应..... 高文龙, 程淑兰, 方华军, 等 (7505)
- 寒温带针叶林土壤呼吸作用的时空特征..... 贾丙瑞, 周广胜, 蒋延玲, 等 (7516)

黄土高原小麦田土壤呼吸季节和年际变化..... 周小平,王效科,张红星,等 (7525)

不同排放源周边大气环境中 NH₃ 浓度动态..... 刘杰云,况福虹,唐傲寒,等 (7537)

施加秸秆和蚯蚓活动对麦田 N₂O 排放的影响 罗天相,胡 锋,李辉信 (7545)

资源与产业生态

基于水声学方法的天目湖鱼类资源捕捞与放流的生态监测..... 孙明波,谷孝鸿,曾庆飞,等 (7553)

应用支持向量机评价太湖富营养化状态..... 张成成,沈爱春,张晓晴,等 (7563)

研究简报

亚热带 4 种森林凋落物量及其动态特征 徐旺明,闫文德,李洁冰,等 (7570)

青蒿素对蔬菜种子发芽和幼苗生长的化感效应 白 祯,黄 玥,黄建国 (7576)

NO 参与 AM 真菌与烟草共生过程 王 玮,赵方贵,侯丽霞,等 (7583)

基于核密度估计的动物生境适宜度制图方法..... 张桂铭,朱阿兴,杨胜天,等 (7590)

施氮方式对转基因棉花 Bt 蛋白含量及产量的影响 马宗斌,刘桂珍,严根土,等 (7601)

学术信息与动态

未来地球——全球可持续性研究计划..... 刘源鑫,赵文武 (7610)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 292 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 33 * 2013-12



封面图说: 兴安落叶松林景观——中国的寒温带针叶林属于东西伯利亚森林向南的延伸部分,它是大兴安岭北部一带的地带性植被类型,一般可分为落叶针叶林和常绿针叶林两类。兴安落叶松林景观地下部分为棕色森林土,中上部为灰化棕色针叶林土,均呈酸性反应。随着全球气候持续变暖,寒温带针叶林生态系统潜在的巨大碳库将可能成为大气 CO₂ 的重要来源,研究表明,温度是寒温带针叶林生态系统土壤呼吸作用的主要调控因子,对温度的敏感性随纬度升高而增加,根系和凋落物与土壤呼吸作用表现出相似的空间变异性。

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/stxb201208311230

韩秀荣, 高嵩, 侯俊妮, 李鸿妹, 石晓勇. 浒苔干粉末提取物对东海原甲藻和中肋骨条藻的克生作用. 生态学报, 2013, 33(23): 7417-7429.

Han X R, Gao S, Hou J N, Li H M, Shi X Y. Allelopathic effects of extracts from *Ulva prolifera* powders on the growth of *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum*. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(23): 7417-7429.

浒苔干粉末提取物对东海原甲藻和中肋骨条藻的克生作用

韩秀荣^{1,2}, 高嵩^{1,2}, 侯俊妮^{1,2}, 李鸿妹^{1,2}, 石晓勇^{1,2,3,*}

(1. 中国海洋大学化学化工学院, 青岛 266100; 2. 中国海洋大学海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室, 青岛 266100;

3. 国家海洋局减灾中心, 北京 100194)

摘要: 研究不同溶剂的浒苔干粉末组织提取液对两种赤潮藻——东海原甲藻和中肋骨条藻生长的克生效应。结果表明, 浒苔提取物中确实含有可以影响赤潮藻类生长的克生物质, 克生作用具有较明显的浓度效应, 低浓度时可能会表现为一定的促进生长的作用, 浓度较高时表现为抑制作用, 添加浓度越大, 抑制作用越强, 即“低促高抑”的特点, 这与浒苔提取物对其他微藻的作用相似。其中, 蒸馏水提取物对这两种赤潮藻的克生作用小于有机溶剂提取物, 有机溶剂中, 甲醇和乙酸乙酯提取物对这两种赤潮藻的克生效果最好, 正己烷相对较差。根据相似相溶原理, 可以初步推断最有效的克生物质应为具有相对较高的极性的有机物。两种赤潮藻对克生物质的敏感程度不同。东海原甲藻对克生物质的敏感性高于中肋骨条藻。蒸馏水、甲醇、乙酸乙酯、正己烷的浒苔干粉末提取物影响东海原甲藻生长的致死作用阈值浓度分别为 5.00、0.50、0.50、0.63 g/L (相当于浒苔新鲜藻体浓度为 22.00、2.20、2.20、2.75 g 湿重/L); 影响中肋骨条藻生长的致死作用阈值浓度则分别为 20.00、1.25、1.25、2.50 g/L (相当于新鲜藻体浓度为 88.00、5.50、5.50、11.00 g 湿重/L)。

关键词: 浒苔; 克生作用; 东海原甲藻; 中肋骨条藻; 生长抑制作用

Allelopathic effects of extracts from *Ulva prolifera* powders on the growth of *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum*

HAN Xiurong^{1,2}, GAO Song^{1,2}, HOU Junni^{1,2}, LI Hongmei^{1,2}, SHI Xiaoyong^{1,2,3,*}

1 College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

2 Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

3 National Marine Hazard Mitigation Service, Beijing 100194, China

Abstract: Harmful algal blooms of the coastal *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* have been the focus of many studies, primarily due to the devastating effects this alga has had on the aquaculture industry. *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* are widely distributed in the world. *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* have caused great economic loss in many countries. Allelopathy is a prevalent natural phenomenon in aquatic ecosystems. The phenomenon of a large number of marine macroalgal proliferation is called ‘Green Tide’. Generally, green tide occurs in spring or summer and end in summer when temperature is high, but sometimes extended to the fall. In recent years, frequency and biomass of green tide are rising totally, it has become a major concern of the international community to marine environmental problems and ecological disasters. Green tide occurs in the south Yellow Sea of China from 2008 to 2012, which bring about significant losses to coastal fisheries, aquaculture and tourism, causing significant impact on the

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)资助项目(2010CB428701)

收稿日期: 2012-08-31; 修订日期: 2013-03-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shixy@ouc.edu.cn

natural landscape too. In recently years, *Ulva prolifera* is the primary peacebreaker algae of green tide.

At present, *Ulva prolifera* has been researched more, but mostly focus on ecological characteristics of *Ulva prolifera*, algae composition and *Ulva* competition with microalgae, less focus on the influence of *Ulva prolifera* on water-quality. This paper studies the allelopathic effects of the macroalga *Ulva prolifera* on the microalga *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum*, in order to provide some theoretical proof for biological control of harmful algae blooms.

Allelopathic effects of different solvent extracts of *Ulva prolifera* dry powder on the harmful algae (*Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum*) were studied in laboratory. The results showed that growth inhibitory effects by different concentrations of distilled water extracts and three organic solvent (methanol, ethyl acetate and n-hexane) extracts from *Ulva prolifera* dry powder on two microalgae are obviously. The inhibition rate becomes higher when the concentration increases, while it may promote the growth of microalgae when the concentration is low, which are similar with the effects to other microalgae. The distilled water extracts are of the weakest growth inhibitory activity on the microalgae. Methanol and ethyl acetate extracts are of the highest growth inhibitory effect on two microalgae. So it can be deduced that the extracts from the chemical with higher polarity have the higher inhibition activity. The sensibility of the microalgae are different that *Prorocentrum donghaiense* is more easily affected than *Skeletonema costatum*, which may be caused by the characteristic of the cell structure. The growth of all tested microalgae was restrained by the distilled water, methanol, ethyl acetate, as well as n-hexane extracts from *Ulva prolifera* dry powder, and the lethal threshold of *Prorocentrum donghaiense* by the extracts above were 5.00, 0.50, 0.50, 0.63 g/L (equal to fresh tissue were 22.00, 2.20, 2.20, 2.75 g-wet/L) respectively in the first three days. In addition the lethal threshold of *Skeletonema costatum* by the four extracts were 20.00, 1.25, 1.25, 2.50 g/L (equal to fresh tissue were 88.00, 5.50, 5.50, 11.00 g-wet/L) in the first three days.

Key Words: *Ulva prolifera*; Allelopathic effects; *Prorocentrum donghaiense*; *Skeletonema costatum*; growth inhibition

在海洋生态系统中,大型藻类对防止水体富营养化,净化水体起着重要的作用^[1],是海洋生态系统极其重要的生物调节因子^[2]。另外,很多大型藻类都能向海洋分泌释放出多种次级代谢产物,其中包括不饱和脂肪酸、糖苷、硫化物、多酚、以及萜类等化合物^[3]。这些化合物在海洋生态系统中承担着十分重要的角色^[4-5]。这些大型藻类产生的次级代谢产物通常具有某些特殊的化学结构及生理功能,对海洋生态系统的其他藻类起到一定的克生作用^[6-11]。目前针对海洋中大型藻体内克生物质的提取、分离以及鉴定和这些克生物质在实际中的应用已经成为海洋生态环境研究的热点问题之一^[4,12-17]。

近年来绿潮灾害在我国多次暴发,给沿海经济的发展及人们的生活造成了很大影响。自 2007 年在黄海海域首次出现小规模绿潮之后,2008—2012 年又连续暴发大规模绿潮^[18-21]。作为黄海海域绿潮的主要藻种—浒苔,目前对其次级代谢产物的提取与应用的研究较少。

本研究通过不同极性的溶剂对浒苔干粉进行萃取,收集提取物。并以东海原甲藻及中肋骨条藻为实验对象,用不同溶剂的浒苔提取物,在不同浓度的添加情况下,分别研究对这两种赤潮藻生长的克生作用。通过在不同条件下对这两种常见赤潮藻生长克生作用的分析,为浒苔藻体内克生物质的分离、鉴定以及利用提供一定的科学基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 浒苔

实验所用的浒苔均采自青岛沿海,浒苔采集后除去杂藻,用经醋酸纤维滤膜(孔径 0.45 μm)过滤后的灭菌(120 $^{\circ}\text{C}$, 20 min)海水反复清洗,以除去藻体中泥沙及其它杂物。将其培养于已灭菌(120 $^{\circ}\text{C}$, 20 min)的锥形瓶中,用灭菌海水配置的 f/2 培养液进行培养。培养温度为(20 \pm 1) $^{\circ}\text{C}$;光照强度为 4000 lx;光照周期为 L:D = 12 h:12 h。每天定时晃动培养瓶,每隔 3d 更换新的培养液。

培养若干天后从培养瓶中挑选生长良好的浒苔藻体,用灭菌海水冲洗 4—5 次,然后用灭菌滤纸吸干藻体表面的水分,在常温下干燥 5d 左右(期间对藻体进行多次称量,以确定干燥完全至恒重,干湿比约为 1:4.4),然后用玛瑙研钵研磨成粉末,过筛(粒径小于 0.2 mm)待用。

1.1.2 赤潮藻

实验用的东海原甲藻和中肋骨条藻均取自中国海洋大学海洋污染生态化学重点实验室藻种室,培养介质与培养条件与 1.1.1 中浒苔藻体一致。

1.2 浒苔干粉末提取物的制备

1.2.1 蒸馏水提取物

称取 10.0 g 上述浒苔干粉末放置于 500 mL 锥形瓶中,加入 100 mL 蒸馏水,摇晃均匀。常温下用超声波法提取 2 h,静置 12 h。常温下再用超声波法提取 2 h,然后用离心机分离(7500 r/min, 15 min),收集上层的提取液。下层粉末残渣再按上述方法提取 1 次,合并两次上层提取液。将收集的提取液用旋转蒸发仪减压蒸干,获得淡绿色膏状物质,加入蒸馏水后定容至 25.00 mL,此时浓度以 400 g/L 表示(即 400 g 浒苔干粉末组织提取物溶于 1 L 蒸馏水中),最后置于冰箱冷藏(4 ℃)备用。

1.2.2 有机溶剂提取物的制备

选用 3 种极性不同的有机溶剂:甲醇、乙酸乙酯、正己烷(极性由高至低),分别对 5.0 g 浒苔干粉末进行提取,得到相应的提取物。提取方法及条件与 1.2.1 中蒸馏水提取一致。然后分别将所得提取物用二甲基亚砜 Dimethyl sulfoxide(DMSO)定容至 10 mL,浓度以 500 g/L 表示(即 500 g 浒苔干粉末组织提取物溶于 1 L 有机溶剂中),置于冰箱冷藏(4 ℃)备用。

1.3 实验方法

实验在室内的光照培养箱内进行,培养条件同 1.1.1 中浒苔培养条件一致。每天定时晃动培养瓶两次,防止赤潮藻贴壁生长。为降低光照条件对实验的影响,每两天将培养瓶进行位置互换。

1.3.1 溶剂检验实验

将梯度为 0, 1, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200 μL 的 DMSO 分别加入到 100 mL 锥形瓶中,然后加入 $f/2$ 培养液以及两种赤潮藻的藻液,混合液的总体积为 20 mL,浓度梯度分别为 0, 0.05, 0.25, 0.50, 1.00, 1.25, 2.50, 5.00, 10.00 g/L。其中东海原甲藻和中肋骨条藻的接种密度均为 5.5×10^4 个/mL。各实验均平行进行 3 组,实验周期为 9 d。

1.3.2 蒸馏水提取物对两种赤潮藻生长的影响

将预先制备好的浒苔干粉末的蒸馏水提取物(浓度 400 g/L)以梯度为 0, 0.06, 0.12, 0.25, 0.50, 1.00 mL 分别加入到 100 mL 锥形瓶中,然后加入 $f/2$ 培养液以及两种赤潮藻的藻液,混合液的总体积为 20 mL。混合液中浒苔干粉末的蒸馏水提取物的浓度梯度分别为 0, 1.25, 2.50, 5.00, 10.00, 20.00 g/L。东海原甲藻和中肋骨条藻的接种密度均为 5.5×10^4 个/mL。各实验均平行进行 3 组,实验周期为 9 d。

1.3.3 有机溶剂提取物对两种赤潮藻生长的影响

将预先制备好的浒苔干粉末的有机溶剂提取物(浓度 500 g/L)以梯度为 0, 1, 5, 10, 20, 25, 50, 100 μL 分别加入到 100 mL 锥形瓶中,然后加入 $f/2$ 培养液以及两种赤潮藻的藻液,混合液的总体积为 20 mL。混合液中浒苔干粉末的有机溶剂提取物的浓度梯度分别为 0, 0.03, 0.13, 0.25, 0.5, 0.63, 1.25, 2.50 g/L。东海原甲藻和中肋骨条藻的接种密度也均为 5.5×10^4 个/mL。各实验均平行进行 3 组,实验周期为 9 d。

1.4 数据处理及统计分析

1.4.1 赤潮藻的日平均增长率、抑制率 P' 与半效应浓度 EC_{50}

每天的固定时间用光学显微镜,采用浮游生物计数框的计数方法得出赤潮藻的细胞密度。赤潮藻的日平均增长率(v_s , %/d)的计算公式如下:

$$v_s = \frac{100(N_t - N_0)}{N_0 t} \quad (1)$$

式中, N_0 和 N_t 分别是实验开始和实验进行到第 t 天时的赤潮藻的细胞密度。

表 1 浒苔对赤潮藻共生作用实验中所设置的实验条件

Table 1 The experimental conditions in the assays for the effects of <i>Enteromorpha</i> on red-tide microalgae													
实验项目 Items	浓度梯度 Concentration gradients /(g/L)										温度 Temperature /℃	光照强度 Illumination intensity/lx	光照周期 Photoperiod/ Light :Dark
二甲基亚砷 Dimethyl sulfoxide	0	0.05	0.25	0.50	1.00	1.25	2.50	5.00	10.00		20±1	4000	12h:12h
蒸馏水提取物 Distilled water extract	0	1.25	2.50	5.00	10.00	20.00					20±1	4000	12h:12h
有机溶剂提取物 Organic solvent extract	0	0.03	0.13	0.25	0.50	0.63	1.25	2.50			20±1	4000	12h:12h

抑制率 P' (%) 的计算公式如下:

$$P' = \frac{\lg B_{t-control} - \lg B_t}{\lg B_{t-control} - \lg B_{0-control}}$$

(2)

式中, $B_{0-control}$ 为对照组赤潮藻的起始藻种密度; $B_{t-control}$ 为对照组的赤潮藻 t 时刻的藻种密度。 B_t 为实验组的赤潮藻 t 时刻的藻种密度。

EC₅₀是指在一定时间内(如 72 h, 96 h 等),浮游植物的相对生长率减少 50%时毒性物质的浓度。EC₅₀的值越小,说明毒性越大。EC₅₀能够简单、明确的表示物质对浮游植物的生物毒性,因此在生物毒性学中是一个重要的参数,并得到了广泛应用。本研究半效应浓度 EC₅₀值采用内插直线法计算,为 72 h 的 EC₅₀值。

1.4.2 数据统计分析

采用 SPSS16.0 软件对实验数据进行独立样本检验统计分析, $P<0.05$ 为显著性差异, $P<0.01$ 为极显著性差异。

2 结果与讨论

2.1 溶剂 DMSO 检验结果

不同的 DMSO 添加对东海原甲藻和中肋骨条藻两种赤潮藻生长的影响如图 1 所示。从图中可以明显看出,不同梯度添加 DMSO 的实验组中的这两种赤潮藻的生长曲线均与对照组(0 g/L DMSO 添加量)呈现出相似的增长趋势。由图中可知中肋骨条藻的增长较东海原甲藻速度快,藻种密度平均高一个数量级。用软件 SPSS16.0 对两种赤潮藻实验组和对照组的细胞密度进行 t -test 检验和 F 检验,结果表明这两种赤潮藻的实验组和对照组之间均没有显著性差异($P>0.05$)。说明溶剂 DMSO 对这两种赤潮藻的生长不产生影响,以下实

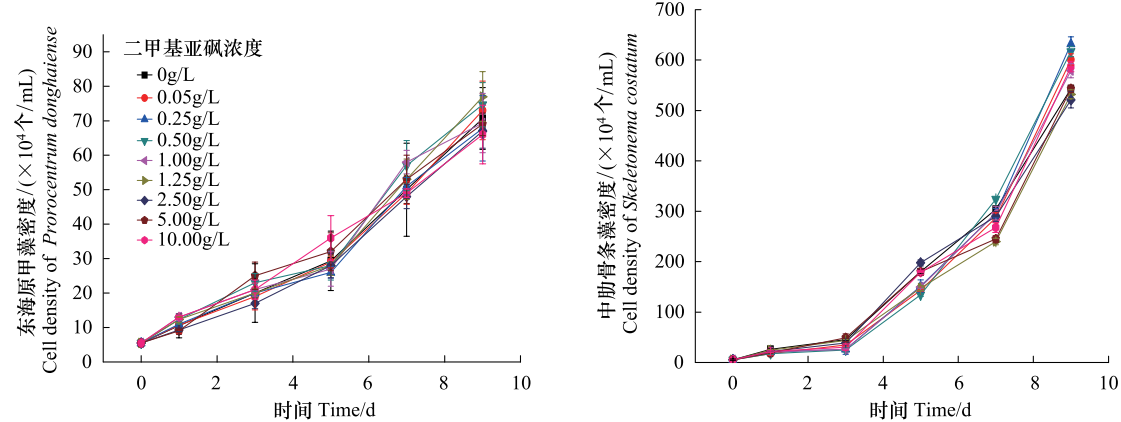


图 1 二甲基亚砷对东海原甲藻和中肋骨条藻生长的影响

Fig.1 The effect of Dimethyl sulfoxide (DMSO) on *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum*

验可以用该试剂进行实验。

2.2 浒苔干粉末提取物对东海原甲藻生长的影响

浒苔干粉末的蒸馏水提取物对东海原甲藻生长的影响如图 2 及表 2 所示。由图 2 可知,与对照组(0 g/L 添加)相比,较低浓度(1.25 g/L 添加)的浒苔干粉末蒸馏水提取物对东海原甲藻的生长有促进作用。较高浓度(>1.25 g/L 的添加)的浒苔干粉末蒸馏水提取物对东海原甲藻的生长有抑制作用。也证实了对克生作用(Allelopathy)的定义:有利或有害的相互作用。其中由于克生物质浓度的不同,产生的作用也可能会不同,抑制或者促进生长。

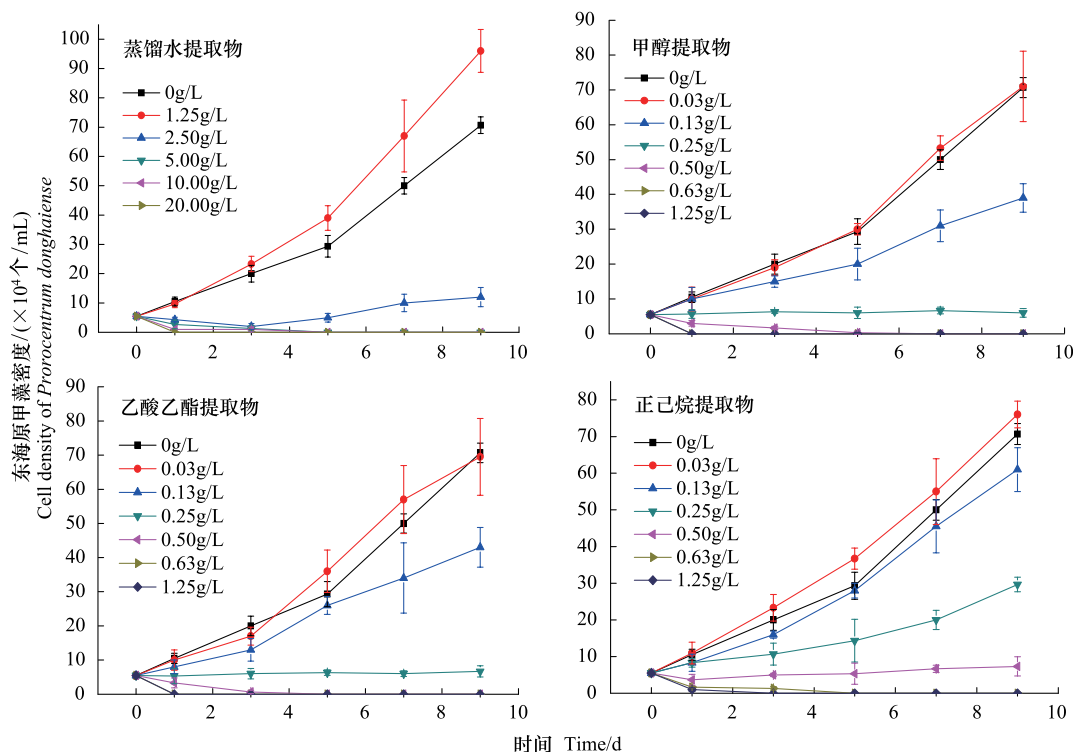


图 2 添加了不同浓度浒苔干粉末提取物的东海原甲藻的生长曲线

Fig.2 The growth of *Prorocentrum donghaiense* in the presence of different concentrations of extracts

由图 2 可知,浓度为 1.25 g/L 的浒苔干粉末蒸馏水提取物的添加组中海藻原甲藻较快的进入指数增长长期,并且比对照组的生长更快。浓度为 2.50 g/L 的蒸馏水提取物的添加对东海原甲藻的生长有着明显的抑制作用,在实验过程中东海原甲藻的增长缓慢,始终没有进入明显的指数生长期。说明开始对东海原甲藻产生抑制作用的浓度在 1.25 g/L 与 2.50 g/L 之间,此外,蒸馏水提取物对东海原甲藻的 72 h EC_{50} 值为 1.79 g/L。推测浒苔干粉末蒸馏水提取物对东海原甲藻开始出现抑制作用的阈值浓度为 1.50 g/L。浓度 ≥ 5.00 g/L 的浒苔干粉末蒸馏水提取物对东海原甲藻有着极其显著的抑制效应,东海原甲藻的藻体在 3 d 内全部死亡,具有短期致死效应。5.00、10.00、20.00 g/L 的蒸馏水提取物物组的东海原甲藻的生长表现一致,说明 5.00 g/L 的蒸馏水提取物是影响东海原甲藻生长的致死作用阈值浓度,大于等于该值时对藻体表现为短期致死的效应。从表 2 中的抑制率可以得到同样结果。

浒苔甲醇提取物对东海原甲藻生长的效应如图 2 与表 2 所示。较低浓度(0.03 g/L)的浒苔甲醇提取物的添加与对照组相比,东海原甲藻的生长曲线基本一致,几乎对藻体没有影响。由表 2 所示,随着提取物添加浓度的增大,东海原甲藻的生长受到的抑制作用逐渐显著,抑制率逐渐增大,日平均增长率依次降低,实验末东海原甲藻的藻密度减少。当添加浓度增至 0.13 g/L 时即表现出了对藻体相对明显的抑制作用,藻体的指数增长长期极不明显。此外,浒苔甲醇提取物对东海原甲藻的 72 h EC_{50} 值为 0.16 g/L。由此推测浒苔甲醇蒸馏

水提取物对东海原甲藻开始出现抑制作用的阈值浓度约为 0.10 g/L。由图 2 所示,当添加浓度为 0.25 g/L 时则对东海原甲藻的生长表现出了极其强的抑制作用,由表 2 得出此时藻体的日平均增长率仅为 1%。当添加浓度 \geq 0.50 g/L 时则对东海原甲藻的生长产生强烈的致死效应,3 d 内致使东海原甲藻藻体全部死亡。说明 0.50 g/L 的甲醇提取物添加是影响东海原甲藻生长的致死作用阈值浓度,大于等于该值时对藻体表现为短期致死的效应,从表 2 中的抑制率也可以得到同样结果。

表 2 浒苔干粉末不同溶剂提取物对东海原甲藻生长影响的比较
Table 2 The effect of different solvent extracts of *Enteromorpha* on *Prorocentrum donghaiense*

	浓度梯度 Concentration gradients/(g/L)	实验末藻密度 The algal densities of the end /(10 ⁴ 个/mL)	72 h 抑制率 The inhibition rate of 72 h/%	日均增长率 Average growth rate /%	半效应浓度 50% effective concentration (EC ₅₀)/g/L
对照组 Control	0	70.7	0.0	131.7	
蒸馏水提取物 Distilled water extracts	1.25	96.3	-11.8	182.8	1.79(干粉末) ↓ 7.88(新鲜藻体)
	2.50	12.0	124.7	13.1	
	5.00	0	166.5	-11.1	
	10.00	0	—*	-11.1	
	20.00	0	—	-11.1	
甲醇提取物 Methanol extracts	0.03	71.3	4.0	132.3	0.16(干粉末) ↓ 0.70(新鲜藻体)
	0.13	39.0	22.3	67.7	
	0.25	6.3	89.1	1.0	
	0.50	1.7	192.3	-8.6	
	0.63	0	—	-11.1	
	1.25	0	—	-11.1	
乙酸乙酯提取物 Ethyl acetate extracts	2.50	0	—	-11.1	0.14(干粉末) ↓ 0.62(新鲜藻体)
	0.03	69.3	12.6	129.3	
	0.13	43.0	33.4	75.8	
	0.25	6.7	93.3	2.4	
	0.50	0	210.0	-11.1	
	0.63	0	—	-11.1	
正己烷提取物 Hexane extracts	1.25	0	—	-11.1	0.24(干粉末) ↓ 1.06(新鲜藻体)
	2.50	0	—	-11.1	
	0.03	76.0	-11.8	142.4	
	0.13	61.0	17.3	112.1	
	0.25	29.7	48.7	48.8	
	0.50	7.3	107.4	3.7	
	0.63	0	210.0	-11.1	
	1.25	0	—	-11.1	
	2.50	0	—	-11.1	

— : 72 h 细胞密度为 0,无法计算得到 72 h 抑制率

浒苔乙酸乙酯提取物对东海原甲藻生长的效应如图 2 所示。与浒苔甲醇提取物添加实验中海原甲藻生长曲线比较相似,同样表现为较低浓度(0.03 g/L)时对东海原甲藻生长的影响不显著。由表 2 所示藻体的日平均增长率以及实验末的藻密度均与对照组基本相同。较高浓度添加时也与甲醇提取物添加实验中海原甲藻生长曲线比较相似。此外,浒苔乙酸乙酯提取物对东海原甲藻的 72 h EC₅₀ 值为 0.14 g/L。由此推测浒苔乙酸乙酯提取物对东海原甲藻开始出现抑制作用的阈值浓度约为 0.10 g/L。这与浒苔甲醇提取物对东海原甲藻的起始抑制浓度相近,此外,浒苔干粉末乙酸乙酯提取物添加影响东海原甲藻生长的致死作用阈值浓度与甲醇提取物相似,也为 0.50 g/L。

浒苔正己烷提取物对东海原甲藻生长的效应如图 2 所示。从图中东海原甲藻的生长曲线可以看出,浓度为 0.03 g/L 的正己烷提取物添加和 0.13 g/L 的正己烷提取物添加对东海原甲藻的生长的影响作用较小。其中浓度为 0.03 g/L 的正己烷提取物添加对东海原甲藻的生长表现为较小的促进作用,浓度为 0.13 g/L 的正己烷提取物添加可对东海原甲藻产生则表现为不太显著的抑制作用。浓度增至为 0.25 g/L 的正己烷提取物

添加时,对东海原甲藻生长表现出较显著的抑制作用。由表 2 所示,此时东海原甲藻的日平均生长率为 48.8%,远低于对照组东海原甲藻日平均生长率(131.7%),但又远远超过 0.25 g/L 的甲醇或乙酸乙酯提取物添加的东海原甲藻的日平均生长率(1.0%和 2.4%)。此外,浒苔正己烷提取物对东海原甲藻的 72 h EC_{50} 值为 0.24 g/L。综上推测浒苔正己烷提取物对东海原甲藻开始出现抑制作用的阈值浓度约为 0.15 g/L。当浓度为 0.50 g/L 浒苔正己烷提取物添加时,则对东海原甲藻的生长表现为强烈的抑制作用,生长极其缓慢。由表 2 得出此时藻体的日平均生长率仅为 3.7%。当浓度为 ≥ 0.63 g/L 的正己烷提取物添加时,则对东海原甲藻的生长产生强烈的致死效应,3 d 内致使东海原甲藻藻体全部死亡,浓度高时则 2 d 内使藻体致死。说明 0.63 g/L 的正己烷提取物是影响东海原甲藻生长的致死作用阈值浓度。

综上,并且由表 2 中所列不同极性溶剂的浒苔提取物添加时,东海原甲藻日均生长率及对其的抑制率等参数所示,可以看出各溶剂浒苔提取物对东海原甲藻生长作用有着明显的差异。其中,蒸馏水的提取物需要较高的添加浓度才会对东海原甲藻的生长产生影响,说明蒸馏水的提取效果比有机溶剂差。浓度为 0.03 g/L (约需新鲜浒苔藻体 0.11 g 湿重/L) 有机溶剂提取物添加时东海原甲藻的生长有着轻微差异,其中甲醇和乙酸乙酯提取物对东海原甲藻的生长影响较小,与对照组相比有着极小的抑制作用;而此浓度正己烷提取物对东海原甲藻则表现为一定的促进作用。浓度较高的提取物添加则对东海原甲藻均表现为不同程度的抑制作用。蒸馏水、甲醇、乙酸乙酯、正己烷浒苔提取物影响东海原甲藻生长的致死作用阈值浓度分别为 5.00、0.50、0.50、0.63 g/L (相当于浒苔新鲜藻体浓度为 22.00、2.20、2.20、2.75 g 湿重/L)。说明甲醇、乙酸乙酯的对浒苔干粉末的提取液对东海原甲藻的克生作用最为明显,其次是正己烷,最差的是蒸馏水提取液。此外,由浒苔各个溶剂提取物对东海原甲藻的 72 h EC_{50} 值能得出相同的结论。

2.3 浒苔干粉末提取物对中肋骨条藻生长的影响

浒苔干粉末的蒸馏水提取物对中肋骨条藻生长的影响如图 3 及表 3 所示。从图 3 的中肋骨条藻的生长曲线可以看出,与对照组(0 g/L 添加)相比,较低浓度(1.25 g/L 添加)的浒苔干粉末蒸馏水提取物对中肋骨条藻的生长几乎没有影响,两条生长曲线基本一致。随着提取物添加浓度的增加,可以看出中肋骨条藻的生

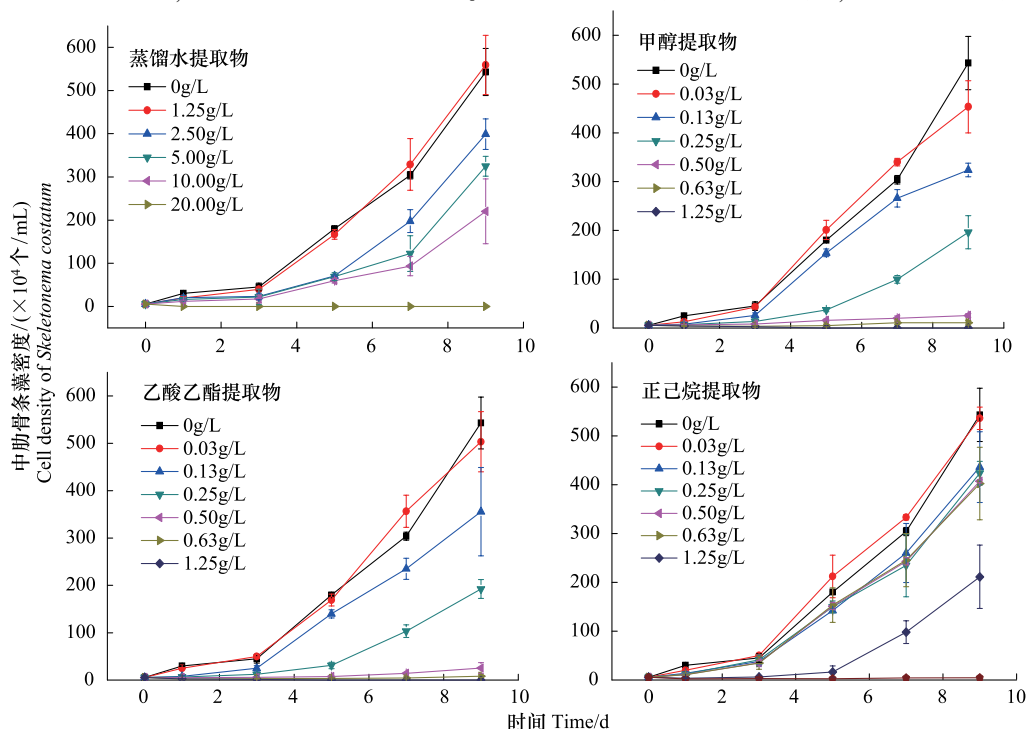


图 3 添加了不同浓度浒苔干粉末提取物的中肋骨条藻的生长曲线

Fig.3 The growth of *Skeletonema costatum* in the presence of different concentrations of extracts

长受到的抑制效应逐渐增大,并且梯度十分明显。初步由表 3 可以看出日平均生长率降低,中肋骨条藻的日平均生长率由 2.50 g/L 添加浓度的 795.0%降至 10.00 g/L 添加浓度的 433.9%。由图推测浒苔蒸馏水提取物对中肋骨条藻开始出现抑制作用的阈值浓度约为 1.50 g/L。此外,由表 3 可知,浒苔蒸馏水提取物对中肋骨条藻的 72 h EC_{50} 值为 11.74 g/L。当浓度为 20.00 g/L 的蒸馏水提取物添加时,中肋骨条藻藻体在实验 1 d 就被全部杀死。说明 20.00 g/L 的蒸馏水提取物添加是影响中肋骨条藻生长的致死作用阈值浓度,大于等于该值时对藻体表现为短期致死的效应。从表 3 中的抑制率可以得到同样结果。

表 3 浒苔干粉末不同溶剂提取物对中肋骨条藻生长影响的比较

Table 3 The effect of different solvent extracts of *Enteromorpha* on *Skeletonema costatum*

	浓度梯度 Concentration gradients/(g/L)	实验末藻密度 The algal densities of the end /(10^4 个/mL)	72 h 抑制率 The inhibition rate of 72 h/%	日均生长率 Average growth rate /%	半效应浓度 50% effective concentration (EC_{50})/g/L
对照组 Control	0	543.0	0.0	1085.9	
蒸馏水提取物 Distilled water extracts	1.25	559.3	6.0	1118.9	11.74(干粉末) ↓ 51.66(新鲜藻体)
	2.5	399.0	31.9	795.0	
	5.00	324.7	34.1	644.8	
	10.00	220.3	46.3	433.9	
	20.00	0	—	-11.1	
甲醇提取物 Methanol extracts	0.03	453.3	2.2	904.7	0.11(干粉末) ↓ 0.97(新鲜藻体)
	0.13	323.7	26.1	642.8	
	0.25	196.3	56.7	385.5	
	0.50	25.7	80.4	40.8	
	0.63	10.7	121.5	10.4	
	1.25	0	136.9	-11.1	
	2.50	0	—	-11.1	
乙酸乙酯提取物 Ethyl acetate extracts	0.03	503.3	-5.0	1005.7	0.18(干粉末) ↓ 0.84(新鲜藻体)
	0.13	355.3	28.0	707.1	
	0.25	192.3	61.6	377.4	
	0.50	25.7	96.7	40.8	
	0.63	8.5	128.8	6.1	
	1.25	0	168.6	-11.1	
正己烷提取物 Hexane extracts	2.50	0	—	-11.1	0.81(干粉末) ↓ 3.56(新鲜藻体)
	0.03	536.0	-5.0	1071.7	
	0.13	436.0	8.1	869.7	
	0.25	423.7	4.4	844.8	
	0.50	407.0	12.0	811.1	
	0.63	402.3	12.6	801.6	
	1.25	211.3	95.9	415.8	
	2.50	4.3	134.4	-2.4	

—: 72 h 细胞密度为 0, 无法计算得到 72 h 抑制率

浒苔甲醇提取物对中肋骨条藻生长的效应如图 3 与表 3 所示。较低浓度(0.03 g/L)的浒苔甲醇提取物的添加与对照组相比,中肋骨条藻的生长曲线基本一致,此添加浓度对藻体生长的影响不显著($P>0.05$)。由表 3 所示,随着提取物添加浓度的增大,中肋骨条藻的生长受到的抑制作用逐渐显著,且抑制率逐渐增大,日平均生长率依次降低。当添加浓度增至 0.13 g/L 时即表现出了对藻体有着不太明显的抑制作用,藻体进入指数增长期不太明显。由图 3 推测浒苔蒸馏水提取物对中肋骨条藻开始出现抑制作用的阈值浓度约为 0.10 g/L。此外,浒苔甲醇提取物对中肋骨条藻的 72 h EC_{50} 值为 0.22 g/L。由图 3 可以看出,当浓度为 0.25 g/L 浒苔甲醇提取物的添加时则对中肋骨条藻的生长表现出了极其强的抑制作用,由表 3 得出此时中肋骨条藻藻体的日平均生长率仅为 385.5%。远小于对照组的 1085.9%。为浓度 0.50 g/L 与 0.63 g/L 浒苔甲醇提取物的添加时则对中肋骨条藻的生长产生强烈的抑制效应,生长极其缓慢,藻体的日平均增长率分别为 40.8% 和 10.4%。当添加浓度 ≥ 1.25 g/L 时则对中肋骨条藻的生长产生强烈的致死效应,2 d 内致使东海原甲藻藻体

全部死亡。说明 1.25 g/L 的甲醇提取物添加是影响中肋骨条藻生长的致死作用阈值浓度,大于等于该值时对藻体表现为短期致死的效应。从表 3 中的抑制率也可以得到同样结果。

浒苔乙酸乙酯提取物对中肋骨条藻生长的效应如图 3 与表 3 所示。低浓度添加浓度(0.03 g/L)时与甲醇提取物对中肋骨条藻生长的影响程度相似,对中肋骨条藻生长的影响作用不明显。浓度为 0.13 g/L 的浒苔的乙酸乙酯提取物对中肋骨条藻的生长有较明显的抑制作用,从生长曲线可以看出进入指数增长期不是很明显。由图 3 推测浒苔乙酸乙酯提取物对中肋骨条藻开始出现抑制作用的阈值浓度也约为 0.10 g/L。此外,浒苔乙酸乙酯提取物对中肋骨条藻的 72 h EC_{50} 值为 0.19 g/L。在 0.25 g/L 的浓度添加时抑制效果更加明显,当增至 0.50 g/L 与 0.63 g/L 浓度的浒苔乙酸乙酯提取物添加时,对中肋骨条藻的生长产生极其强烈的抑制作用,使其无法正常自然生长,中肋骨条藻的日平均增长率分别为 40.8% 和 6.1%。当浓度达 1.25 g/L 时,短期内即可使中肋骨条藻全部死亡。说明 1.25 g/L 的乙酸乙酯提取物添加是影响中肋骨条藻生长的致死作用阈值浓度,大于等于该值时对藻体表现为短期致死的效应。

浒苔正己烷提取物对中肋骨条藻生长的效应如图 3 所示。从图中中肋骨条藻的生长曲线可以看出,浓度为 0.03 g/L 的正己烷提取物添加对东海原甲藻的生长的影响作用较小,表现为较小的促进作用。浓度为 0.13、0.25、0.50、0.63 g/L 的浒苔正己烷提取物添加时东海原甲藻的生长曲线极其相似。表现为极小的抑制作用,从表 3 可得此时东海原甲藻的日均增长率分别为 869.7%、844.8%、811.1%、801.6%,也对照组(0 g/L 添加)的日均增长率 1085.9% 相差很小。由图 3 推测浒苔正己烷提取物对中肋骨条藻开始出现抑制作用的阈值浓度约为 0.15 g/L。此外,浒苔正己烷提取物对中肋骨条藻的 72 h EC_{50} 值为 0.81 g/L。浓度增至为 1.25 g/L 的正己烷提取物添加时,对中肋骨条藻生长表现出较显著的抑制作用。由表 3 所示,此时中肋骨条藻的日平均增长率为 415.8%,远低于对照组中肋骨条藻的日平均增长率 1085.9%。但与此浓度的甲醇或乙酸乙酯提取物添加对中肋骨条藻有短期致死的现象相比,浒苔正己烷提取物添加时中肋骨条藻的生长相对还是相对较快的。当浓度为 2.50 g/L 的正己烷提取物添加时,则对中肋骨条藻的生长产生强烈的致死效应,3 d 内致使中肋骨条藻藻体全部死亡,浓度高时则 2 d 内致死。说明 2.50 g/L 的正己烷提取物添加是影响中肋骨条藻生长的致死作用阈值浓度。

综上,并且由表 3 中所列不同溶剂的浒苔提取物添加时,中肋骨条藻日均增长率及对其的抑制率等参数所示,可以看出各溶剂浒苔提取物对中肋骨条藻生长作用有着明显的差异。蒸馏水的提取物需要较高的添加浓度才会对中肋骨条藻的生长产生影响,说明蒸馏水的提取效果比有机溶剂差。这和东海原甲藻的实验得出结果一致。浓度为 0.03 g/L (约需浒苔的新鲜藻体 0.11 g 湿重/L 干燥得到)有机溶剂提取物添加时中肋骨条藻的生长有着轻微差异,其中甲醇提取物对中肋骨条藻的生长影响较小,与对照组相比有着极小的抑制作用;而此浓度乙酸乙酯与正己烷提取物对中肋骨条藻则表现为一定的促进作用。此浓度时乙酸乙酯提取物对藻体的作用与东海原甲藻实验表现有一定差异,甲醇与正己烷一致。浓度较高的提取物添加则对中肋骨条藻均表现为不同程度的抑制作用。蒸馏水、甲醇、乙酸乙酯、正己烷浒苔提取物影响中肋骨条藻生长的致死作用阈值浓度分别为 20.00、1.25、1.25、2.50 g/L (相当于浒苔新鲜藻体浓度为 88.00、5.50、5.50、11.00 g 湿重/L)。说明甲醇、乙酸乙酯的对浒苔干粉末的提取液对中肋骨条藻的克生作用最为明显,其次是正己烷,最差的是蒸馏水提取液。与东海原甲藻实验相对比,各种溶剂提取物对中肋骨条藻的致死作用阈值浓度较大。此外,由浒苔各个溶剂提取物对中肋骨条藻的 72 h EC_{50} 值的对比能得出相同的结论。

2.4 不同溶剂提取物对两种赤潮藻克生作用的比较

不同溶剂提取物在不同浓度添加时对两种赤潮藻 72 h 抑制率的比较如图 4 所示。从整体上可以明显看出相同条件的提取物添加时,对东海原甲藻的 72 h 抑制率远大于对中肋骨条藻的抑制率。并且高浓度 (≥ 0.63 g/L) 的有机溶剂提取物添加时,东海原甲藻 3 d 内均已死亡,无法算出 72 h 抑制率。

浒苔蒸馏水提取物对东海原甲藻与中肋骨条藻的克生作用差异较大。浓度为 1.25 g/L 的浒苔蒸馏水提取物添加对东海原甲藻的 72 h 抑制率为负值(-11.1%),表现为较小的促进作用。而此浓度的蒸馏水提取物

添加对中肋骨条藻的 72 h 抑制率为正值(6.0%),表现为较小的抑制作用。浓度为 2.50 g/L 和 2.50 g/L 蒸馏水提取物对这两种赤潮藻的 72 h 抑制率均为正值且差异较大,对东海原甲藻的 72 h 抑制率约为中肋骨条藻的 5 倍。说明蒸馏水提取物对东海原甲藻的克生作用高于对中肋骨条藻的克生作用,主要表现为抑制作用。此外,由表 3 中的浒苔蒸馏水提取物对东海原甲藻与中肋骨条藻的 72 h EC_{50} 值分别为 1.79 g/L 与 11.74 g/L 可得出一致的结论。

浒苔甲醇提取物对东海原甲藻与中肋骨条藻的抑制率如图 4 所示。低浓度(0.03 g/L 与 0.13 g/L)浒苔甲醇提取物对东海原甲藻与中肋骨条藻的 72 h 抑制率相近。高浓度(≥ 0.25 g/L)浒苔甲醇提取物对东海原甲藻与中肋骨条藻的抑制率的差异较大,随着添加浓度的增大,对东海原甲藻的抑制率迅速增大,而对中肋骨条藻抑制率增大的趋势相对缓和些。此外,由表 3 中的浒苔甲醇提取物对东海原甲藻与中肋骨条藻的 72 h EC_{50} 值分别为 0.16 g/L 与 0.22 g/L 也可得浒苔甲醇提取物对东海原甲藻的抑制作用更显著些。

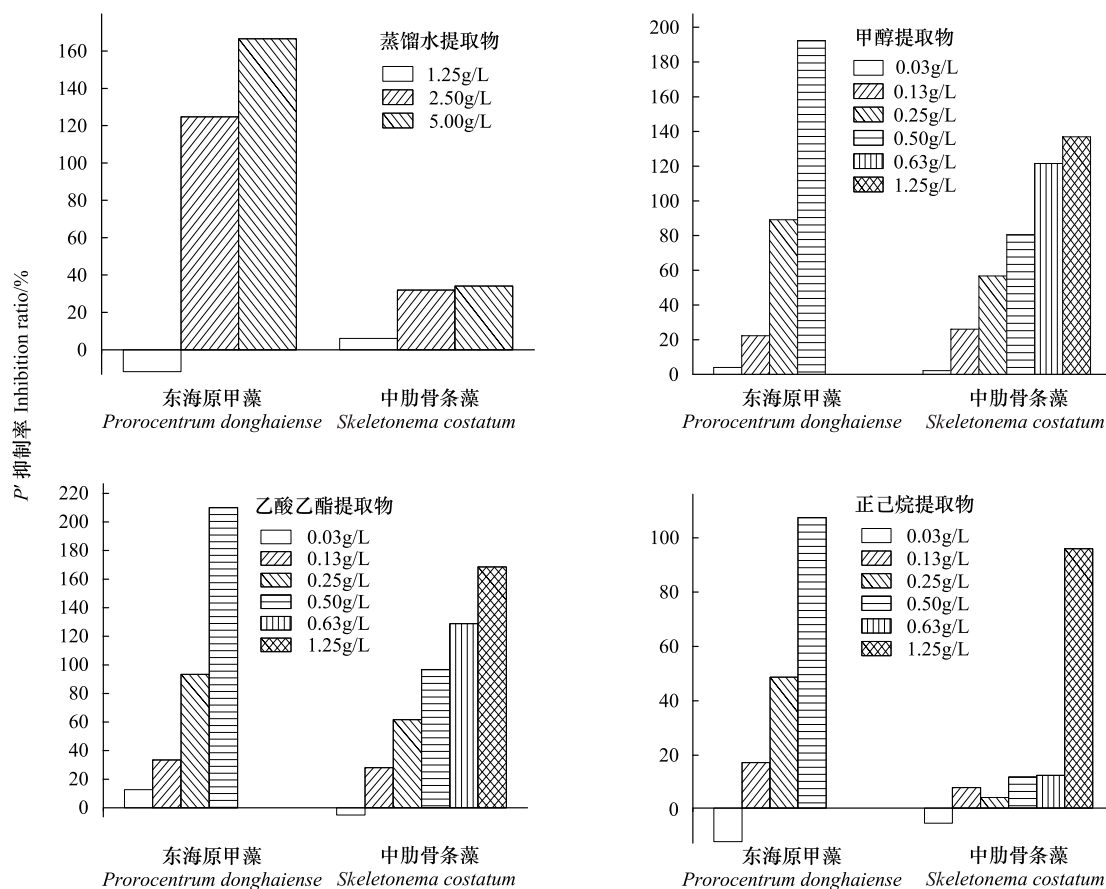


图 4 不同溶剂提取物对两种赤潮藻的 72 h 抑制率比较

Fig.4 The inhibition of different solvent extracts of *Enteromorpha* on the two red tide microalgae

浒苔乙酸乙酯提取物对东海原甲藻与中肋骨条藻的克生作用在低浓度添加时表现为相反的现象。0.03 g/L 浓度的浒苔乙酸乙酯提取物添加对东海原甲藻表现为较小的抑制作用,而对中肋骨条藻则表现为较小的促进作用。较高浓度的浒苔乙酸乙酯提取物,均随着浓度的增加对两种藻体的抑制率均随着增大。同条件下的浒苔乙酸乙酯提取物对东海原甲藻的 72 h 抑制率比中肋骨条藻的 72 h 抑制率要高。浓度为 0.50 g/L 的浒苔乙酸乙酯提取物对东海原甲藻的 72 h 抑制率迅速升高,说明已临近藻种的致死作用阈值浓度。大于此浓度的浒苔乙酸乙酯提取物添加使东海原甲藻藻体迅速死亡,计算不出其 72 h 抑制率。说明浒苔乙酸乙酯提取物添加对东海原甲藻的克生作用远大于对中肋骨条藻的克生作用,这与浒苔甲醇提取物的实验结论一致。此外,由表 3 中的浒苔乙酸乙酯提取物对东海原甲藻与中肋骨条藻的 72 h EC_{50} 值分别为 0.14 g/L 与

0.19 g/L 也可得浒苔乙酸乙酯提取物对东海原甲藻的抑制作用更显著些。

浒苔正己烷提取物对东海原甲藻与中肋骨条藻的抑制率如图 4 所示。低浓度(0.03 g/L)的浒苔正己烷提取物添加对东海原甲藻与中肋骨条藻的克生作用均表现为促进作用,对东海原甲藻的促进作用更为明显。当浒苔正己烷提取物添加浓度的增加,对东海原甲藻的 72 h 抑制率迅速增加,浓度大于 0.50 g/L 时 3 d 内藻体全部死亡。而随着浒苔正己烷提取物添加浓度的增加中肋骨条藻的 72 h 抑制率相对变化较小。其中,在添加浓度为 0.13 g/L 至 0.63 g/L 时 72 h 抑制率相对变化极小。当浒苔正己烷提取物添加浓度为 1.25 g/L 时中肋骨条藻的 72 h 抑制率迅速增大,说明此时已临近其致死作用阈值浓度。从整体上分析,浒苔正己烷提取物添加对东海原甲藻的克生作用远大于对中肋骨条藻的克生作用,这与浒苔甲醇提取物以及乙酸乙酯提取物的实验结论相一致。此外,由表 3 中的浒苔正己烷提取物对东海原甲藻与中肋骨条藻的 72 h EC_{50} 值分别为 0.81 g/L 与 0.24 g/L 也可得浒苔正己烷提取物对东海原甲藻的抑制作用更显著些。

综上所述,浒苔组织中确实含有能抑制或者促进两种赤潮藻生长的克生物质,这与国内外的一些关于大型藻类的研究相一致。Jeong 等^[22]研究发现多种大型海藻的组织提取物对赤潮藻具有杀藻活性,发现一些绿藻、褐藻和红藻组织的甲醇及蒸馏水提取物对一些典型的赤潮藻具有强烈的杀藻作用。大型海藻 *Myriophyllum spicatum* 能够持续向海洋系统中分泌不稳定的化合物对蓝藻生长具有一定的抑制作用^[2]。霍元子^[23]等研究也发现浒苔新鲜组织内存在能抑制米氏凯伦藻的克生物质。贾睿^[24]等人研究发现浒苔组织对赤潮异弯藻的生长具有一定的克生作用,浒苔干粉末与赤潮异弯藻的共生系统,干粉末浓度为 1.6 g/L 时对赤潮异弯藻产生明显的抑制作用,可以初步推测共培养系统比浒苔提取物对赤潮藻的抑制效果更好,贾睿^[24]等人还发现克生物质具有较高的极性,这与本研究的结论一致。此外,浒苔对赤潮异弯藻的致死作用阈值浓度比中肋骨条藻和东海原甲藻要低些。证明了浒苔对各种微藻生长的抑制作用各有差异,但起抑制作用的物质普遍均有较高的极性。

从抑制率数值上来看东海原甲藻与中肋骨条藻对各种溶剂提取物的敏感程度不同。总体来看,低浓度时,东海原甲藻与中肋骨条藻敏感程度相近;浓度稍高,东海原甲藻较中肋骨条藻敏感。这可能是由于东海原甲藻和中肋骨条藻细胞结构不同所致。由表 3 浒苔提取物对东海原甲藻与中肋骨条藻的 72 h EC_{50} 值来看,不同溶剂的浒苔提取物对东海原甲藻的抑制作用比中肋骨条藻要显著些。另外,从图 4 中可以很直观的看出对这两种藻克生作用的浓度效应,即浓度越大对其抑制作用越强,某些溶剂的提取物在低浓度情况下可以对藻体产生促进作用。王悠^[6,25]等也报道了一些大型藻类对微藻的克生作用具有低促高抑的特点,并且有作用种属的特异性。这也说明了浒苔对赤潮藻的抑制作用的特点都极其相似。

此外,克生物质的分离与提取研究相对较少。别聪聪等^[26]人发现包括肠浒苔在内的大型藻对中肋骨条藻的抑制物质,主要包括 9-十八炔、邻苯二甲酸二异丁酯、17-烯十八醛等。具体哪种物质具有的抑制效果更显著需进一步验证。孙颖颖等^[27]人研究分析克生物质是通过影响细胞蛋白质以及多糖的合成来抑制微藻的生长。

3 结论

本文探索和讨论了 4 种不同溶剂(包括蒸馏水和甲醇、乙酸乙酯、正己烷 3 种有机溶剂)的浒苔干粉末提取物对东海原甲藻和中肋骨条藻生长的克生作用。实验结果表明,浒苔提取物中确实含有可以影响这两种赤潮藻类生长的克生物质,克生作用具有较明显的浓度效应,浓度低时(0.03 g/L)可能会表现为一定的促进生长的作用,在较高的浓度时表现为抑制作用,随着添加浓度增加,抑制作用变强,即表现出“低促高抑”的特点,这与浒苔对其他微藻生长的作用^[24-27]相似。

蒸馏水提取物对两种赤潮藻的克生作用小于有机溶剂提取物,在有机溶剂中,甲醇和乙酸乙酯提取物对藻体的克生效果最好,正己烷相对较差。根据相似相溶原则,可以初步断定该类克生物质中最有效的成分应为具有相对较高极性的有机物。

两种赤潮藻对克生物质的敏感程度不同,东海原甲藻对克生物质的敏感性高于中肋骨条藻。

References:

- [1] Ahn O, Petrell R J, Harrison P J. Ammonium and nitrate uptake by *Laminaria saccharina* and *Nereocystis leuetekeana* originating from a Salmon sea cage farm. *Journal of Applied Phycology*, 1998, 10(4): 333-340.
- [2] Nakai S, Inoue Y, Hosomi M, Murakami A. Growth inhibition of blue-green algae by allelopathic effects of macrophytes. *Water Science and Technology*, 1999, 39(8): 47-53.
- [3] Rice E L. Allelopathy 2nd ed. Orlando: Academic Press, 1984: 139-233.
- [4] Gross E M. Allelopathy of aquatic autotrophs. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2003, 22(3/4): 313-339.
- [5] Legrand C, Rengefors K., Fistarol G O, Granéli E. Allelopathy in phytoplankton-biochemical, ecological and evolutionary aspects. *Phycologia*, 2003, 42(4): 406-419.
- [6] Wang Y, Yu Z M, Song X X, Zhang S D. Effects of macroalgae on growth of 2 species of bloom microalgae and interactions, between these microalgae in laboratory culture. *Environmental Science*, 2006, 27(2): 274-280.
- [7] Nan C R, Dong S L. Progress on the competition between macroalgae and microalgae. *Marine Sciences*, 2004, 28(11): 64-66.
- [8] Qiu J, Dong S L. Comparative studies on the allelopathic effects of two different strains of *Ulva pertusa* on *Heterosigma akashiwo* and *Alexandrium tamarense*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2003, 293(1): 41-55.
- [9] Liu T T, Yang Z F, Ye C P, Wang C H. Inhibitory effects of seaweed *Gracilaria lemaneiformis* on the growth of two red tide microalgal species. *Journal of Jinan University: Natural Science*, 2006, 27(5): 754-759.
- [10] Zhang S D, Song X X, Wang Y, Yu Z M. Competition on nutrients between *Gracilaria lemaneiformis* and *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblich III. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2005, 36(6): 556-561.
- [11] Liu J S, Xie J, Yang W D. Studies on haemolytic toxins action in allelopathy of *Alexandrium tamarense*. *Journal of Jinan University: Natural Science and Medicine Edition*, 2007, 28(1): 105-107.
- [12] Nan C R, Zhang H Z, Dong S L. Growth inhibition of aqueous extracts of *Ulva pertusa* on three species of microalgae in red tide. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2004, 24(4): 702-706.
- [13] Wang L G, Xu S N, He W H, He P M. Studies on the antagonistic relationship between seaweed *Enteromorpha clathrata* and marine microalgae *Phaeodactylum tricornutum*. *Marine Fisheries*, 2007, 29(2): 103-108.
- [14] Xu Y, Dong S L, Jin Q. Study on Inhibitory Effects of Nine Macroalgae on the Growth of *Heterosigma akashiwo*. *Periodical of Ocean University of China*, 2005, 35(3): 475-477.
- [15] Yang W D, Li L X, Liu J S, Zhang J J. Allelopathy of marine benthic dinoflagellate-*Prorocentrum lima* on three red tide algae. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(8): 1631-1637.
- [16] Zhang S D, Yu Z M, Song X X, Song F, Wang Y. Competition about nutrients between *Gracilaria lemaneiformis* and *Prorocentrum donghaiense*. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2676-2680.
- [17] Hou J N. The Preliminary Study of the Allelopathic Substances of *Enteromorpha* on Three HABs [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011.
- [18] Gao S, Shi X Y, Wang T. Variation of nutrient concentrations at the inshore coastal area of northern Jiangsu province and the occurrence of green tide caused by *Enteromorpha prolifera*. *Environmental Science*, 2012, 33(7): 2204-2209.
- [19] Wang T, Shi X Y, Zhang C S, Wen T T. Variations in nutrient concentration and distribution for green tide of *Enteromorpha prolifera* occurrence areas of the Yellow Sea in 2008. *Marine Science Bulletin*, 2011, 30(5): 578-582.
- [20] Xia B, Ma S S, Cui Y, Chen B J, Chen J F, Song Y L, Mao Y Z, Jiang Z J. Distribution of temperature, salinity, dissolved oxygen, nutrients and their relationships with green tide in *Enteromorpha prolifera* outbreak area of the Yellow Sea. *Progress in Fishery Sciences*, 2009, 30(5): 96-101.
- [21] Wang T. The Preliminary Study on the Influence of *Enteromorpha* on Water-Quality of the Northern Jiangsu Nearshore Sea Area [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011.
- [22] Jeong J H, Jin H J, Sohn C H, Suh K H, Hong Y. Algicidal activity of the seaweed *Corallina pilulifera* against red tide microalgae. *Journal of Applied Phycology*, 2000, 12(1): 37-43.
- [23] Huo Y Z, Tian Q T, Xu S N, Wang Y Y, Feng Z H, Fang Y, He P M. Allelopathic effects of *Ulva prolifera* on growth of *Karenia mikimotoi*. *Marine Environmental Science*, 2010, 29(4): 497-499, 508-508.
- [24] Jia R, Wu M, Cai C E, Huo Y Z, He P M. Allelopathic effects of *Ulva prolifera* on *Heterosigma akashiwo*. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(4): 562-567.
- [25] Wang Y, Yu Z M, Song X X, Zhang S D. Effects of *Ulva pertusa* and *Gracilaria lemaneiformis* on growth of *Heterosigma akashiwo* (Raphidophyceae) in co-culture. *Environmental Science*, 2006, 27(2): 246-252.

- [26] Bie C C, Li F M, Li Y Y, Zhao Y H, Wang Z Y. Inhibitory effects of 6 macroalgae extracts on *Skeletonema costatum* and isolation of allelochemicals. Periodical of Ocean University of China, 2011, 41(7/8): 107-112.
- [27] Sun Y Y, Liu X X, Wang C H. Growth inhibition of the four species of red tide microalgae by extracts from *Enteromorpha prolifera* extracted with the five solvents. Environmental Science, 2006, 27(2): 1662-1669.

参考文献:

- [6] 王悠, 俞志明, 宋秀贤, 张善东. 大型海藻与赤潮微藻以及赤潮微藻之间的相互作用研究. 环境科学, 2006, 27(2): 274-280.
- [7] 南春容, 董双林. 大型海藻与海洋微藻间竞争研究进展. 海洋科学, 2004, 28(11): 64-66.
- [9] 刘婷婷, 杨宇峰, 叶长鹏, 王朝晖. 大型海藻龙须菜对两种海洋赤潮藻的生长抑制效应. 暨南大学学报: 自然科学版, 2006, 27(5): 754-759.
- [10] 张善东, 宋秀贤, 王悠, 俞志明. 大型海藻龙须菜与锥状斯氏藻间的营养竞争研究. 海洋与湖沼, 2005, 36(6): 556-561.
- [11] 刘洁生, 谢瑾, 杨维东. 塔玛亚历山大藻溶血毒素对东海原甲藻的化感作用. 暨南大学学报: 自然科学与医学版, 2007, 28(1): 105-107.
- [12] 南春容, 张海智, 董双林. 孔石莼水溶性抽提液抑制 3 种海洋赤潮藻的生长. 环境科学学报, 2004, 24(4): 702-706.
- [13] 王兰刚, 徐珊珊, 何文辉, 何培民. 海洋大型绿藻条浒苔与微藻三角褐指藻相生相克作用的研究. 海洋渔业, 2007, 29(2): 103-108.
- [14] 许妍, 董双林, 金秋. 几种大型海藻对赤潮异弯藻生长抑制效应的初步研究. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2005, 35(3): 475-477.
- [15] 杨维东, 李丽璇, 刘洁生, 张剑军. 海洋底栖甲藻-利玛原甲藻 (*Prorocentrum lima*) 对三种赤潮藻的化感作用. 环境科学学报, 2008, 28(8): 1631-1637.
- [16] 张善东, 俞志明, 宋秀贤, 宋飞, 王悠. 大型海藻龙须菜与东海原甲藻间的营养竞争. 生态学报, 2005, 25(10): 2676-2680.
- [17] 侯俊妮. 浒苔对三种赤潮藻的克生作用初探 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [18] 高嵩, 石晓勇, 王婷. 浒苔绿潮与苏北近岸海域营养盐浓度的关系研究. 环境科学, 2012, 33(7): 2204-2209.
- [19] 王婷, 石晓勇, 张传松, 温婷婷. 2008 年黄海浒苔绿潮爆发区营养盐浓度变化及分布特征. 海洋通报, 2011, 30(5): 578-582.
- [20] 夏斌, 马绍赛, 崔毅, 陈碧鹃, 陈聚法, 宋云利, 毛玉泽, 蒋增杰. 黄海绿潮(浒苔)暴发区温盐、溶解氧和营养盐的分布特征及其与绿潮发生的关系. 渔业科学进展, 2009, 30(5): 96-101.
- [21] 王婷. 浒苔对苏北近岸海域水质影响的初步研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [23] 霍元子, 田千桃, 徐珊珊, 王阳阳, 冯子慧, 房毅, 何培民. 浒苔对米氏凯伦藻生长的克生作用. 海洋环境科学, 2010, 29(4): 497-499, 508-508.
- [24] 贾睿, 吴敏, 蔡春尔, 霍元子, 何培民. 浒苔对赤潮异湾藻的克生作用. 水产学报, 2012, 36(4): 562-567.
- [25] 王悠, 俞志明, 宋秀贤, 张善东. 共培养体系中石莼和江蓠对赤潮异弯藻生长的影响. 环境科学, 2006, 27(2): 246-252.
- [26] 别聪聪, 李锋民, 李媛媛, 赵雅茜, 王震宇. 六种大型藻浸提液对中肋骨条藻的抑制及活性成分分离. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2011, 41(7-8): 107-112.
- [27] 孙颖颖, 刘筱潇, 王长海. 浒苔提取物对 4 种赤潮微藻生长的抑制作用. 环境科学, 2006, 27(2): 1662-1669.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.23 Dec., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Ozone uptake at the canopy level in *Robinia pseudoacacia* in Beijing based on sap flow measurements WANG Hua, OUYANG Zhiyun, REN Yufen, et al (7323)
- Genetic impact of swimming crab *Portunus trituberculatus* farming on wild genetic resources in Haizhou Bay DONG Zhiguo, LI Xiaoying, ZHANG Qingqi, et al (7332)
- The effect of soil salinity to improve the drought tolerance of arrowleaf saltbush TAN Yongqin, BAI Xinfu, HOU Yuping, et al (7340)
- Effects of *Liriomyza huidobrensis* infestation on the activities of four defensive enzymes in the leaves of cucumber plants SUN Xinghua, ZHOU Xiaorong, PANG Baoping, et al (7348)

Autecology & Fundamentals

- Early effects of simulated nitrogen deposition on annual nutrient input from litterfall in a *Pleioblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (7355)
- Relationship between nutrient characteristics and yields of tumorous stem mustard at different growth stage ZHAO Huan, LI Huihe, LÜ Huifeng, et al (7364)
- Decomposition rate and silicon dynamic of mulching residue under *Phyllostachys praecox* stands HUANG Zhangting, ZHANG Yan, SONG Zhaoliang, et al (7373)
- Effects of waterlogging on the growth and physiological properties of juvenile oilseed rape ZHANG Shujie, LIAO Xing, HU Xiaojia, et al (7382)
- The crude protein content of main food plants of François' langur (*Trachypithecus francoisi*) in Fusui, Guangxi, China LI Youbang, DING Ping, HUANG Chengming, et al (7390)
- Effects of nitrogen on photosynthetic characteristics and enzyme activity of nitrogen metabolism in maize under-mulch-drip irrigation GU Yan, HU Wenhe, XU Baijun, et al (7399)
- Ecotoxicological effects of exposure to PFOS on embryo and larva of zbrafish *Danio rerio* XIA Jigang, NIU Cuijuan, SUN Luyin (7408)
- Allelopathic effects of extracts from *Ulva prolifera* powders on the growth of *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* HAN Xiurong, GAO Song, HOU Junni, et al (7417)
- Predation evaluation of *Diaphorina citri*'s (Homoptera: Chermidae) natural enemies using the CO I marker gene MENG Xiang, OUYANG Gecheng, XIA Yulu, et al (7430)
- Effect of volatiles from healthy or worm bored Korean pine on host selective behavior of *Dioryctria sylvestrella* and its parasitoid *Macrocentrus* sp. WANG Qi, YAN Shanchun, YAN Junxin, et al (7437)

Population, Community and Ecosystem

- Relationship between rhizosphere microbial community functional diversity and faba bean fusarium wilt occurrence in wheat and faba bean intercropping system DONG Yan, DONG Kun, TANG Li, et al (7445)
- Characteristics of soil fertility in different ecosystems in depressions between karst hills YU Yang, DU Hu, SONG Tongqing, et al (7455)
- Evaluation on carbon sequestration effects of artificial alfalfa pastures in the Loess Plateau area LI Wenjing, WANG Zhen, HAN Qingfang, et al (7467)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Effects of deep vertically rotary tillage on soil water and water use efficiency in northern China's Huang-huai-hai Region LI Yibing, PANG Huancheng, YANG Xue, et al (7478)

- Effects of landscape patterns on runoff and sediment export from typical agroforestry watersheds in the Three Gorges Reservoir area, China HUANG Zhilin, TIAN Yaowu, XIAO Wenfa, et al (7487)
- Land cover classification of Yancheng Coastal Natural Wetlands based on BP neural network and ETM+ remote sensing data XIAO Jincheng, OU Weixin, FU Haiyue (7496)
- Early responses of soil CH₄ uptake to increased atmospheric nitrogen deposition in a cold-temperate coniferous forest GAO Wenlong, CHENG Shulan, FANG Huajun, et al (7505)
- Temporal-spatial characteristics of soil respiration in Chinese boreal forest ecosystem JIA Bingrui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (7516)
- Seasonal and interannual variability in soil respiration in wheat field of the Loess Plateau, China ZHOU Xiaoping, WANG Xiaoke, ZHANG Hongxing, et al (7525)
- Dynamics of atmospheric ammonia concentrations near different emission sources LIU Jieyun, KUANG Fuhong, TANG Aohan, et al (7537)
- Influence of residues and earthworms application on N₂O emissions of winter wheat ... LUO Tianxiang, HU Feng, LI Huixin (7545)
- Resource and Industrial Ecology**
- Ecological monitoring of the fish resources catching and stocking in Lake Tianmu basing on the hydroacoustic method SUN Mingbo, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (7553)
- Application of support vector machine to evaluate the eutrophication status of Taihu Lake ZHANG Chengcheng, SHEN Aichun, ZHANG Xiaoqing, et al (7563)
- Research Notes**
- Amount and dynamic characteristics of litterfall in four forest types in subtropical China XU Wangming, YAN Wende, LI Jiebing, et al (7570)
- Allelopathic effects of artemisinin on seed germination and seedling growth of vegetables BAI Zhen, HUANG Yue, HUANG Jianguo (7576)
- Nitric oxide participates symbiosis between am fungi and tobacco plants WANG Wei, ZHAO Fanggui, HOU Lixia, et al (7583)
- Mapping wildlife habitat suitability using kernel density estimation ZHANG Guiming, ZHU A'xing, YANG Shengtian, et al (7590)
- Effects of nitrogen fertilizer methods on the content of *Bacillus thuringiensis* insecticidal protein and yield of transgenic cotton MA Zongbin, LIU Guizhen, YAN Gentu, et al (7601)

《生态学报》2014 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,280 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 王德利

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 23 期 (2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 23 (December, 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