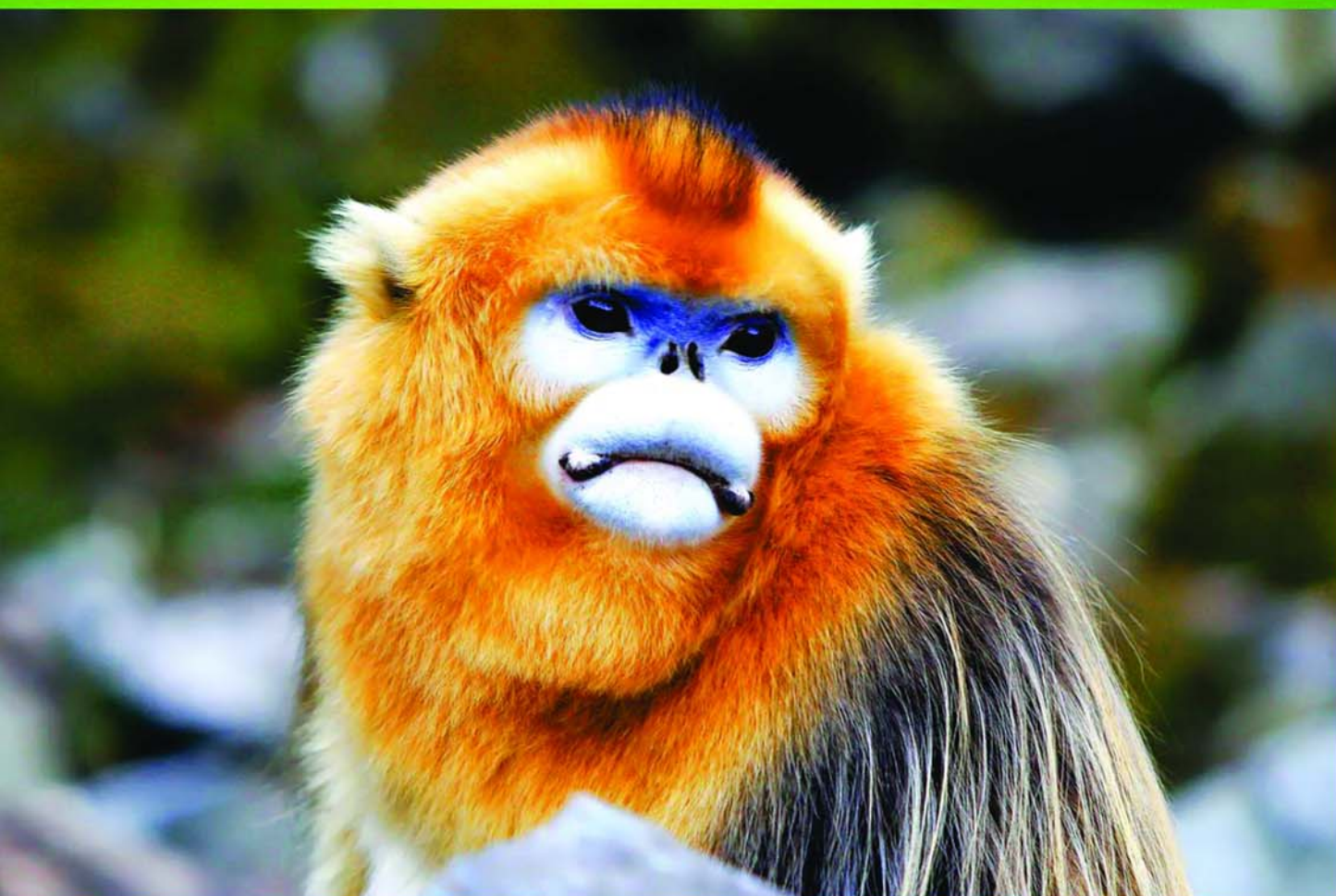


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

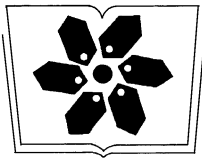
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第2期 Vol.32 No.2 **2012**

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 32 卷 第 2 期

2012 年 1 月 (半月刊)

目 次

北部湾秋季底层鱼类多样性和优势种数量的变动趋势	王雪辉,邱永松,杜飞雁,等 (333)
中国大陆鸟类和兽类物种多样性的空间变异	丁晶晶,刘定震,李春旺,等 (343)
粉蝶盘绒茧蜂中国和荷兰种群学习行为及 EAG 反应的比较	王国红,刘 勇,戈 峰,等 (351)
君主绢蝶的生物学及生境需求	方健惠,骆有庆,牛 犇,等 (361)
西南大西洋阿根廷滑柔鱼生物学年间比较	方 舟,陆化杰,陈新军,等 (371)
城市溪流中径流式低坝对底栖动物群落结构的影响	韩鸣花,海燕,周 斌,等 (380)
沉积再悬浮颗粒物对马氏珠母贝摄食生理影响的室内模拟	栗志民,申玉春,余南涛,等 (386)
太平洋中西部海域浮游植物营养盐的潜在限制	徐燕青,陈建芳,高生泉,等 (394)
几株赤潮甲藻的摄食能力	张清春,于仁成,宋静静,等 (402)
高摄食压力下球形棕囊藻凝聚体的形成	王小冬,王 艳 (414)
大型绿藻浒苔藻段及组织块的生长和发育特征	张必新,王建柱,王乙富,等 (421)
链状亚历山大藻生长衰亡相关基因的筛选	仲 洁,隋正红,王春燕,等 (431)
太湖春季水体固有光学特性及其对遥感反射率变化的影响	刘忠华,李云梅,吕 恒,等 (438)
程海富营养化机理的神经网络模拟及响应情景分析	邹 锐,董云仙,张祯祯,等 (448)
沙质海岸灌化黑松对蛀食胁迫的补偿性响应	周 振,李传荣,许景伟,等 (457)
泽陆蛙和饰纹蛙蝌蚪不同热驯化下选择体温和热耐受性	施林强,赵丽华,马小浩,等 (465)
麦蚜和寄生蜂对农业景观格局的响应及其关键景观因子分析	赵紫华,王 颖,贺达汉,等 (472)
镉胁迫对芥蓝根系质膜过氧化及 ATPase 活性的影响	郑爱珍 (483)
生姜水浸液对生姜幼苗根际土壤酶活性、微生物群落结构及土壤养分的影响	韩春梅,李春龙,叶少平,等 (489)
九州虫草菌丝体对 Mn 的耐性及富集	罗 毅,程显好,张聪聪,等 (499)
土霉素暴露对小麦根际抗生素抗性细菌及土壤酶活性的影响	张 昊,张利兰,王 佳,等 (508)
氮沉降对杉木人工林土壤有机碳矿化和土壤酶活性的影响	沈芳芳,袁颖红,樊后保,等 (517)
火炬树雌雄母株克隆生长差异及其光合荧光日变化	张明如,温国胜,张 瑾,等 (528)
湖南乌云界自然保护区典型生态系统的土壤持水性能	潘春翔,李裕元,彭 亿,等 (538)
祁连山东段高寒地区土地利用方式对土壤性状的影响	赵锦梅,张德罡,刘长仲,等 (548)
沙质草地生境中大型土壤动物对土地沙漠化的响应	刘任涛,赵哈林 (557)
腾格里沙漠东南缘可培养微生物群落数量与结构特征	张 威,章高森,刘光琇,等 (567)
塔克拉玛干沙漠南缘玉米对不同荒漠化环境的生理生态响应	李 磊,李向义,林丽莎,等 (578)
内蒙古锡林河流域羊草草原 15 种植物热值特征	高 凯,谢中兵,徐苏铁,等 (588)
不同密度条件下芨芨草空间格局对环境胁迫的响应	张明娟,刘茂松,徐 驰,等 (595)
环境因子对巴山冷杉-糙皮桦混交林物种分布及多样性的影响	任学敏,杨改河,王得祥,等 (605)
海藻酸铈配合物对毒死蜱胁迫下菠菜叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响	栾 霞,陈振德,汪东风,等 (614)
城市化进程中城市热岛景观格局演变的时空特征——以厦门市为例	黄聚聪,赵小锋,唐立娜,等 (622)
基于遥感和 GIS 的川西绿被时空变化研究	杨存建,赵梓健,任小兰,等 (632)
亚热带城乡复合系统 BVOC 排放清单——以台州地区为例	常 杰,任 远,史 琰,等 (641)
研究简报	
不同水分条件下毛茛苔草枯落物分解及营养动态	侯翠翠,宋长春,李英臣,等 (650)
大山雀对巢箱颜色的识别和繁殖功效	张克勤,邓秋香,Justin Liu,等 (659)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 330 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-01	



封面图说: 雄视——中国的金丝猴有川、黔、滇金丝猴三种,此外还有越南和缅甸金丝猴两种。金丝猴是典型的森林树栖动物,常年栖居于海拔 1500—3300m 的亚热带山地、亚高山针叶林、针阔叶混交林,常绿落叶阔叶混交林中,随着季节的变化,只在栖息的生境中作垂直移动。川金丝猴身上长着柔软金色长毛,十分漂亮。个体大,嘴角处有瘤状突起的是雄性金丝猴的特征。川金丝猴只分布在中国的四川、甘肃、陕西和湖北省。属国家一级重点保护、CITES 附录一物种。

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

DOI: 10.5846/stxb201012081750

张必新, 王建柱, 王乙富, 王亮, 沈颂东. 大型绿藻浒苔藻段及组织块的生长和发育特征. 生态学报, 2012, 32(2): 0421-0430.

Zhang B X, Wang J Z, Wang Y F, Wang L, Shen S D. Growth and reproduction of the green macroalga *Ulva prolifera*. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(2): 0421-0430.

大型绿藻浒苔藻段及组织块的生长和发育特征

张必新, 王建柱, 王乙富, 王亮, 沈颂东*

(苏州大学基础医学与生物科学学院, 苏州 215123)

摘要:通过将浒苔叶状体分为基部、中部和顶端 3 部分分别进行切段和切碎处理, 在实验室条件下, 用液体浅层培养的方法, 系统地研究了其组织和细胞的生长和发育特性。显微观察的结果显示:切段培养条件下, 基部和中部的藻段均可在其形态学下端形成假根, 在形态学上端产生类似叶状体的突起。藻段的发育具极性, 但其极性并不是绝对的, 在 1.0 mm 的基部藻段两端都观察到了假根的形成。虽然顶端的藻段和组织块全都形成和释放了孢子, 未见明显的营养生长, 但是在培养早期, 其下端仍然具有形成假根的能力。浒苔各部位藻段和组织块释放的和滞留于孢子囊内的孢子都可以立即萌发成苗。快速生长的中部藻段形成了气囊, 致使其漂浮于培养基上。有很多藻段和组织块形成和释放了生殖细胞, 释放到外界以及滞留于孢子囊内的孢子均可立即附着萌发。数据分析表明:藻段的生长具有极性, 不同部位相同长度的藻段生长率差异明显, 基部藻段的生长率高于中部藻段, 顶部藻段无明显的营养生长。藻段的生长与其原始长度和在藻体中所处的位置有密切关系;藻段和组织块的再生与藻体的完整性及其在藻体中所处的位置有关。

关键词:绿潮;极性;再生;繁殖;浒苔

Growth and reproduction of the green macroalga *Ulva prolifera*

ZHANG Bixin, WANG Jianzhu, WANG Yifu, WANG Liang, SHEN Songdong*

School of Biology and Basic Medical Sciences, Soochow University, Suzhou 215123, China

Abstract: The aims of this study were to investigate the growth and reproductive strategies of *Ulva prolifera* that contribute to its omnipresence and annual blooms. In addition, the influence of the position in the alga, length and integrity, on growth, sporulation, regeneration and development of *Ulva* species was investigated. Growth, regeneration, and reproduction of segments and tissues of *U. prolifera* were studied systematically by shallow liquid cultivation under laboratory conditions. The results, observed with an inverted microscope, showed that the basal and mid segments could generate rhizoids at lower ends, while the upper ends developed into branches. However, the upper ends of small basal segments could generate rhizoids instead of branches. We concluded that the polarity of regeneration is not absolute, and 1.00 mm in length was critical to maintain polarity of regeneration. A number of cells in the basal tissue developed into sporangia. We also observed that the basal tissues could form rhizoids without thalli, or thalli without rhizoids. Similar to the basal segments, about 70% of mid segments generated rhizoids at their lower ends, and leaf-shaped branches at their upper ends. Many cells of mid segments transformed into sporangia. Cells in most mid tissues either died or developed into sporangia. Only 36% of mid tissues generated rhizoids and branches. Many basal and mid segments formed an air chamber, which is one of characteristics of rapid growth. Cells in the apical segments had an ability to produce and release spores. The lower ends of the apical segments had a tendency to generate rhizoids at the early stage of culture, but they disintegrated quickly because of the production and release of spores. The apical tissues of *U. prolifera* dispersed quickly, some cells transformed into sporangia, and others died. The spores released from segments and tissues could germinate into

收稿日期:2010-12-08; 修订日期:2011-03-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shensongdong@suda.edu.cn

seedlings immediately. Cells of small pieces of tissue could germinate directly into filamentous fronds. The results of data analysis indicated that growth rates were closely related to the initial length and the position in the thallus from which they came. The regeneration rate of segments and tissues was related to their position in the thallus and the integrality of the thallus. That is, growth and regeneration of *Ulva* segments had polarity. There were significant differences in regeneration rates between segments or tissues from the same position in the thallus. For basal segments, except for 1.00 mm basal segments, with an increase in initial length, growth rate declined and tended to slow at 20.00 mm. Similarly, an increase in initial length at mid segment, resulted in a decrease in growth rate. Unlike basal segments, the growth rate of the mid segments declined and tended to slow at 5.00 mm.

Key Words: green tides; polarity; regeneration; reproduction; *Ulva prolifera*

浒苔(*Ulva prolifera*), 曾用名 *Enteromorpha prolifera*^[1], 藻体管状、膜质、单层细胞; 高可达 1—2 m, 粗可达 2 cm; 有明显的主枝, 多细长分枝或育枝, 枝长及粗细的变化很大, 广泛分布于海洋潮间带和河口环境中。近年来, 由浒苔大量增殖引发绿潮越来越频繁^[2]。中国黄海海域连续几年均爆发了以浒苔为主的绿潮, 对沿海的生态、生产造成了极大的危害^[3-4]。关于浒苔绿潮爆发的机制尚有较大的争议, 目前对于其生活史等基本生物学特征的认识还不足以解释其爆发机制。Lin 等认为浒苔快速大量繁殖与其繁殖方式的多样性有关^[5]。已有的一些研究则侧重于外界环境对于浒苔的影响, 例如氮磷的供给、紫外线、光照、温度、盐度和营养^[6-8]等。

Dan 等将肠浒苔叶状体切割成小片段后经培养可获得生殖细胞^[9]。Dan 等将浒苔切段培养发现藻体靠近基部端形成了假根^[8]。Lee 等也报道了浒苔的再生具极性^[10]。林阿朋等通过将浒苔切成一定大小的片段进行培养观察, 总结了藻段发育的 5 种趋势以及藻段发育的一些重要特点^[11]。王建伟等报道了浒苔孢子及藻体细胞的发育具有极性, 并通过实验得出了浒苔生长及孢子释放的生态因子^[12]。本研究旨在进一步探讨在切段和切碎条件下浒苔藻段和组织的生长和发育特性, 以解决其发育极性以及生活史等方面的争议, 进一步阐明其爆发机制。

1 材料与方法

1.1 材料来源

浒苔样品采自江苏省东台市弶港紫菜养殖区的紫菜养殖网架, 选择藻体颜色鲜艳状态良好的藻体, 采集后立即用消毒海水冲洗, 用加入冰袋的保温盒带回实验室。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理

样品用自来水快速冲洗几遍, 再用灭菌的天然海水清洗几遍; 将样品暂时培养于加富的消毒海水中(N 2.5 mmol/L、P 0.25 mmol/L), 海水盐度 24, 藻体经过一段时间的复苏即可进行实验。挑选镜检无生殖细胞形成、藻体呈鲜绿色的状态良好且具假根的完整藻体, 用毛笔在消毒海水中刷洗 3 遍, 用 0.7% KI 刷洗 3 遍, 再用去离子水冲洗直至镜检无杂藻, 置于消毒海水中备用。

将浒苔藻体分为 3 部分: 顶端、中部和基部。基部藻段(Basal segment, BS)为去假根后向上取 2.0—3.0 cm; 中部藻段(Mid segment, MS)为藻体中点上下各取 1.0—2.0 cm; 顶端藻段(Apical segment, AS)为去生长点向下取 2.0—3.0 cm。

1.2.2 藻段培养

在六孔板的中加入 1 mL/孔 PES 培养基^[13], PES 盐度 24, 轻摇使其铺满平板, 置于超净台内用紫外照射 30 min 并暗处理 30 min。将上述的基部藻段(BS)、中部藻段(MS)和顶端藻段(AS)分别切成 1.0、2.0、5.0、10.0、20.0 mm 长度的藻体片段, 分别标记为 BS1, BS2, BS3, BS4, BS5; MS1, MS2, MS3, MS4, MS5; AS1, AS2, AS3, AS4, AS5。按照 3 段/孔接入六孔板, 用封口膜密封, 在培养板上标记藻段的下端。

1.2.3 藻体小组织块培养

将上述的基部藻段(BS),中部藻段(MS)和顶端藻段(AS)分别切成小组织块,分别标记为BT,MT,AT。切成小组织块(剪碎)需快速进行尽量减少破碎细胞释放的内含物对完整细胞的损伤,先用38 μm 的筛绢过滤取滤渣,用PES冲洗几遍,再用76 μm 的筛绢过滤,取滤液用PES稀释至10块/mL。吸取1 mL组织悬浮液于六孔板中培养,并用封口膜密封。

1.2.4 培养条件

藻段和小组织块均置于光照培养箱(珠江,LRH250G II)中培养,控制培养条件为:培养温度(15 ± 1) $^{\circ}\text{C}$,光照强度35—40 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,光周期12L:12D。每天更换1次培养基。

1.2.5 实验观察、数据采集和分析

定期用倒置显微镜(IX71, Olympus optical Co. Ltd, Tokyo, Japan)进行观察和拍照。

培养30 d后测量藻段长度,用指数增长公式 $L_t = L_0 \times e^{\mu t}$ 来计算生长率(Growth rate, GR),式中 L_t 是藻段在 t 时刻的长度, L_0 是藻段的原始长度(Initial Length, IL), μ 是生长速率^[14]。数据处理用SPSS统计软件(SPSS Statistics V17.0, SPSS Inc., Chicago, USA),用自然对数(ln)转换数据,用线性回归分析计算出斜率,拟合各实验组生长率(GR)。用 T -test比较各组数据,分析其相互关系。

2 结果

2.1 藻段和组织块的发育和再生

在本实验中,在切段和切碎条件下,所有的顶部藻段和组织块以及中部和基部的藻段和组织块都观察到了孢子囊的形成,但未见形成配子囊。

2.1.1 基部藻段和组织块的发育

基部藻段的下端切口附近的细胞伸长生长使切口缢缩变小愈合,同时细胞拉长形成假根(图1),其上端切口处的细胞先膨大,向内生长最终使切口变形愈合,然后在切口处形成类似叶状体的突起(图2)。而在少数1.0 mm及以下长度藻段的两端都观察到了假根的形成(图3),但是未见有藻段两端同时发育形成叶状体的现象。基部的藻段主要通过细胞分裂和膨大实现整体的伸长生长,很多藻段内有气囊形成(图4)。

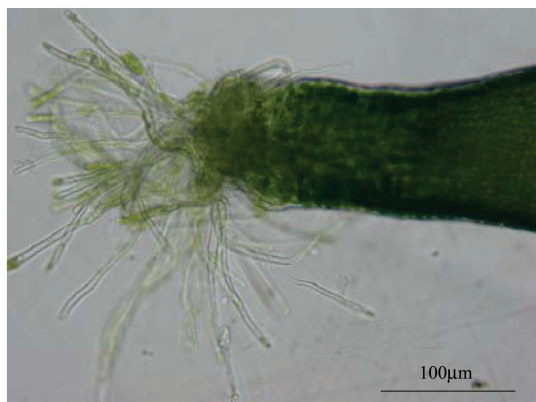


图1 基部藻段下端形成的假根

Fig. 1 Rhizoids derived from the lower end of basal segment

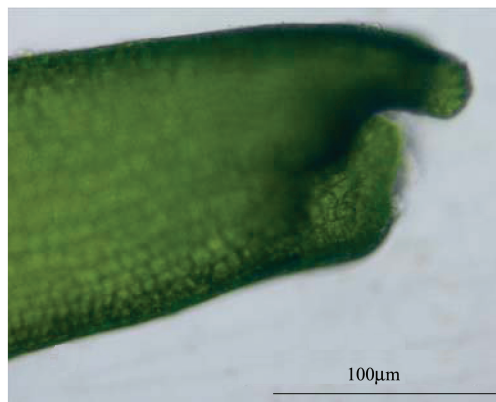


图2 基部藻段上端形成叶状突体

Fig. 2 Leaf-shape branch derived from upper end of basal segment

本实验观察到有33.22%的基部组织块的细胞转化形成了孢子囊(图5),约有67.78%的组织块形成了假根和叶状体继而发育成丝状藻体(图6)。也观察到一些组织块可以形成假根但不生成新的叶状体(图7),或者只发育出叶状体而没有假根(图8)。

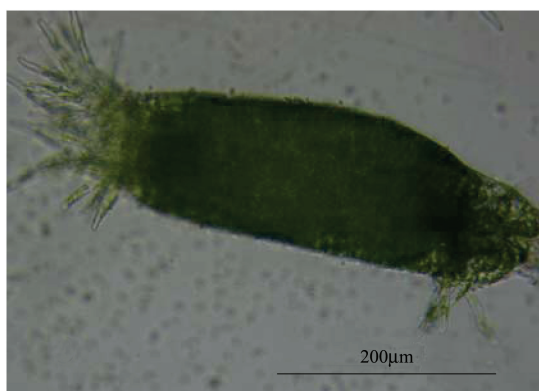


图3 基部藻段的两端均发育形成了假根
Fig. 3 Rhizoid at both ends of the basal segment

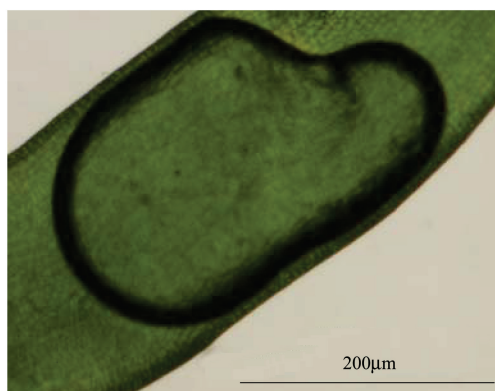


图4 基部藻段中的小气囊
Fig. 4 Air chamber in the basal segment

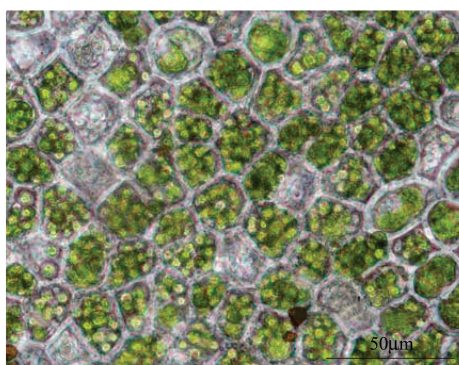


图5 基部组织块细胞形成的孢子囊
Fig. 5 Sporangium formed from the cells of basal tissues



图6 由基部组织块发育形成完整藻体
Fig. 6 A new thallus with rhizoids developed from the basal tissue



图7 基部组织块发育形成仅具有假根的藻体
Fig. 7 The basal tissue developed rhizoids without thallus

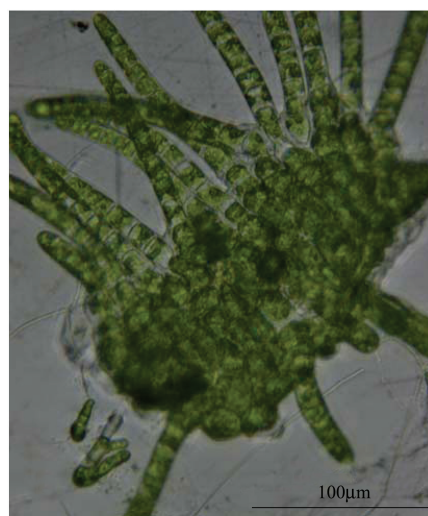


图8 基部组织块发育形成无假根的藻体
Fig. 8 The basal tissue developed thallus without rhizoids

2.1.2 中部藻段和组织块的发育

与基部藻段类似,藻体下端切口的细胞膨大向内分裂使切口缢缩变小,同时形成假根(图9),中部藻体上端切口处的细胞向内生长最终使切口变形愈合,产生类似叶状体的突起(图10)。有30%的中部藻段内的

细胞转化形成了孢子囊(图 11)。

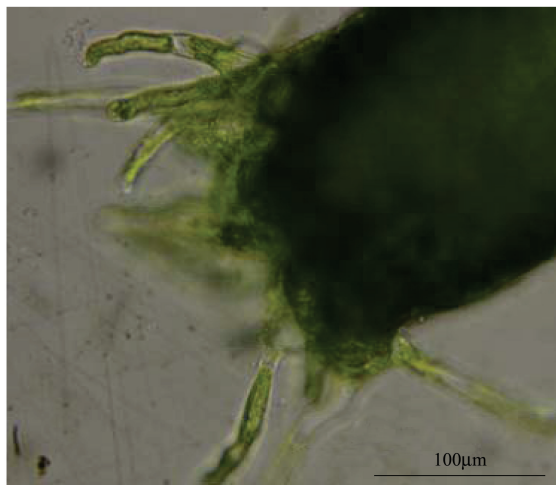


图 9 中部藻段下端形成的假根

Fig. 9 Rhizoids generated at lower end of mid segment



图 10 中部藻段上端形成了叶状突起

Fig. 10 Leaf-shaped branches at upper end of mid segment



图 11 中部藻段形成的孢子囊

Fig. 11 Sporangia derived from cells of mid segment

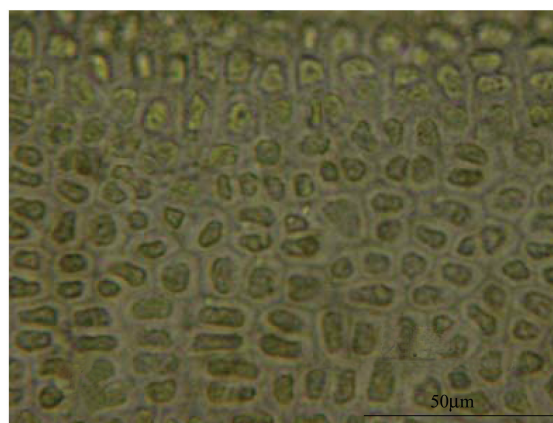


图 12 中部组织块中的死亡细胞

Fig. 12 The died cells with residues inside of mid tissue

本实验中有 63.33% 的组织块死亡(图 12)或者发育形成孢子囊(图 13), 只有 36.67% 的中部组织块发育形成了假根和叶状体(图 14)。

2.1.3 顶端藻段和组织块的发育

顶端藻段极易形成和释放孢子, 藻段内细胞几乎不进行生长性分裂。在培养早期, 藻段下端切口边缘的细胞膨大伸长有产生假根的趋势(图 15), 但藻体极易因形成和释放孢子或者死亡而解体。顶部藻段和组织块内的细胞大多数转化形成了孢子囊(图 16), 还有相当一部分细胞死亡, 死亡细胞内残留的蛋白核是区分它和释放了孢子的细胞的重要特征(图 17)。

2.2 孢子发育

本实验中各部位藻段组织块释放的孢子类型单一, 梨形, 无细胞壁(图 18), 具四鞭毛(图 19), 运动能力较弱, 释放后半小时内即可变形脱鞭毛, 形成细胞壁, 萌发成苗(图 20)。还观察到一些孢子并不释放到外界, 而是滞留在孢子囊内, 也可以直接萌发(图 21)。



图 13 中部组织块形成的孢子囊

Fig. 13 Sporangia developed from the mid tissue cells

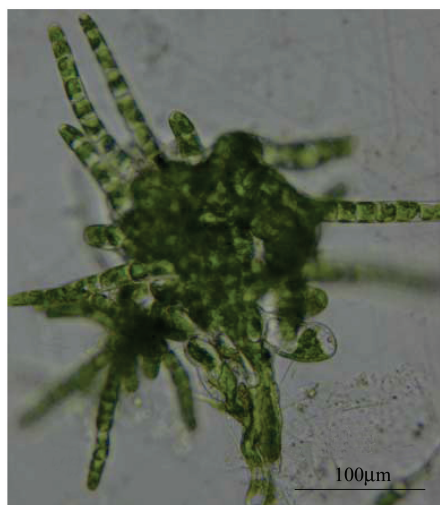


图 14 中部组织块形成的完整植株

Fig. 14 A new thallus developed from the mid tissue

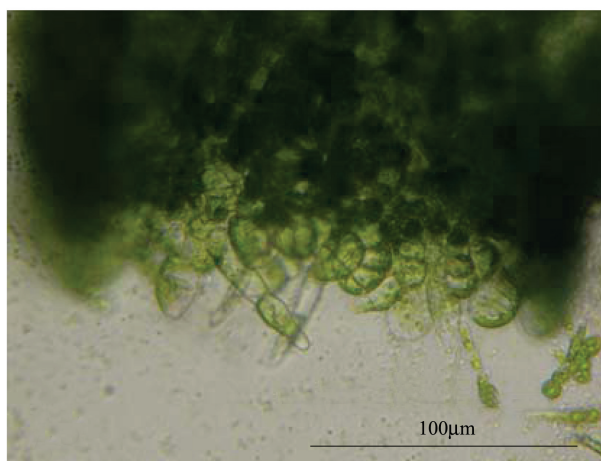


图 15 顶端藻段下端发育形成的假根

Fig. 15 Rhizoids generated at lower end of apical segment



图 16 顶端组织块细胞转化形成的孢子囊

Fig. 16 The apical tissue cells transformed into sporangia

2.3 藻段的营养生长

顶端藻段极易形成和释放孢子,藻段基本不进行营养生长。而基部和中部的多数藻段有极强的生长能力,在一定范围内,其生长率与藻段的原始长度有关(图 22)。

对于基部藻段(BS),除 1.0 mm 的藻段,随着初始长度的增加,其生长率持续下降,在 20.0 mm 处其生长率趋于稳定。类似的,中部藻段(MS)随着初始长度的增加,其生长率持续下降,不同的是中部藻段的生长率在 5.0 mm 处即趋于稳定(图 22)。

T-tests ($P < 0.05$)结果表明部分不同长度基部藻段之间的生长率差异显著。1.0 mm 藻段分别与 2.0、5.0、10.0 mm 和 20.0 mm 藻段的生长率差异极显著

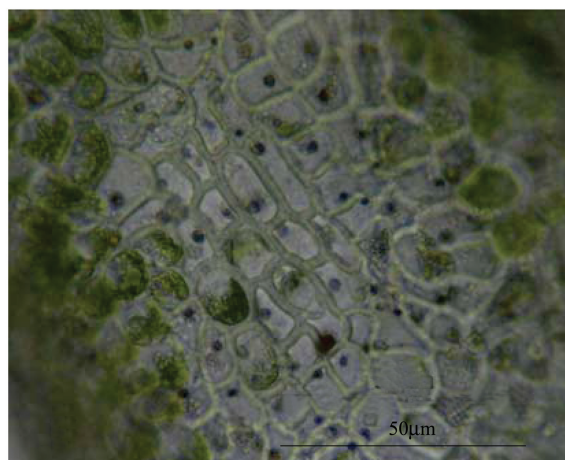


图 17 顶端组织块的死亡细胞内部残留的蛋白核

Fig. 17 Protein nuclear in dead cells of mid tissue

(T -test; $P < 0.001$), 2.0 mm 藻段分别与 10.0 mm 和 20.0 mm 藻段的生长率差异显著 (T -test; $P < 0.05$), 但是 5.0 mm 藻段分别与 2.0、10.0 mm 和 20.0 mm 藻段的生长率差异不显著 (T -test; $P > 0.05$), 10.0 mm 藻段的生长率与 20.0 mm 藻段的生长率差异不显著 (T -test; $P > 0.05$) (表 1)。

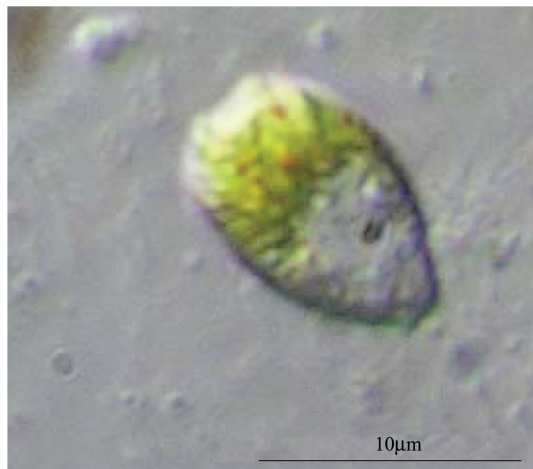


图 18 孢子囊中释放出来的游动孢子

Fig. 18 Zoospore released from sporangia

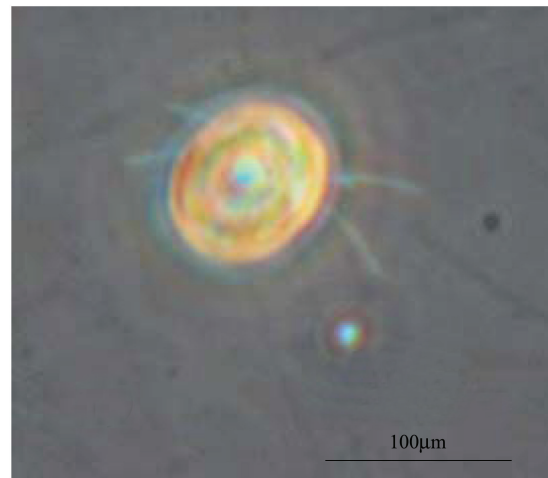


图 19 四鞭毛游孢子

Fig. 19 Quadriflagellate zoospore



图 20 动孢子发育出的新藻体

Fig. 20 New thallus developed from motile spores



图 21 滞留在藻体内的孢子萌发形成新藻体

Fig. 21 The remaining spores germinate in situ

T -tests ($P < 0.05$) 结果表明部分不同长度中部藻段之间的生长率差异显著。1.0 mm 藻段分别与 2.0、5.0、10.0 mm 以及 20.0 mm 藻段的生长率差异极显著 (T -test; $P < 0.001$); 2.0 mm 藻段和 10.0 mm 藻段生长率差异显著 (T -test; $P < 0.05$), 和 20.0 mm 藻段生长率差异极显著 (T -test; $P < 0.001$); 5.0 mm 藻段 10.0 mm 藻段的生长率差异显著 (T -test; $P < 0.05$), 和 20.0 mm 藻段的生长率差异极显著 (T -test; $P < 0.001$); 2.0 mm 藻段和 5.0 mm 藻段的生长率差异不显著 (T -test; $P > 0.05$), 10.0 mm 藻段与 20.0 mm 藻段的生长率差异不显著 (表 2)。

相同长度不同位置的藻段的生长率差异明显。1.0 mm 和 20.0 mm 基部藻段的生长率分别与相同长度的中部藻段的生长率差异显著 (T -test; $P < 0.05$); 2.0、5.0 mm 和 10.0 mm 基部藻段的生长率分别与相同长度的中部藻段的生长率差异极显著 (T -test; $P < 0.001$) (表 3)。

3 讨论

3.1 浒苔藻段和组织块的极性发育

虽然浒苔属于低等植物,但是很多研究表明其假根的形成具有明显的极性^[8,10]。实验结果也证实浒苔藻段和组织块的发育具有极性,且这种极性与细胞在藻段或组织块内的位置、细胞所在的藻段或组织块在整个藻体中的位置以及藻段的长度或组织块的完整性有关,这与 Lin 等的研究结果基本一致^[5]。一般认为完整的藻段只会在其形态学下端发育出假根结构^[5,10-11],但是在本实验中观察到了一些较小藻段的两端都产生了假根。这些藻段长度均在 1.0 mm 以下,可以将 1.0 mm 作为藻段保持其完全极性的一个临界长度。

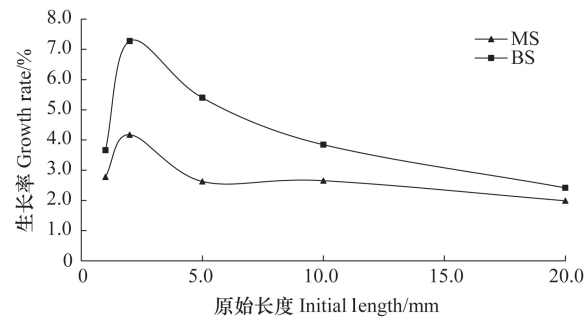


图 22 基部藻段 (BS) 和中部藻段 (MS) 生长率和原始长度关系图

Fig. 22 Relationship between growth rate and initial length of mid and basal segments

表 1 基部不同长度藻段生长率的多重比对 (T-test) 结果

Table 1 Results from the multiple comparison test (T-test) between growth rates of basal segments

藻段原始长度 IL/mm	生长率 GR/%	BS1 3.662	BS2 7.277	BS3 5.398	BS4 3.844	BS5 2.415
1.00	BS1	3.662	—			
2.00	BS2	7.277	S***	—		
5.00	BS3	5.398	S***	NS	—	
10.00	BS4	3.844	S***	S**	NS	—
20.00	BS5	2.415	S***	S**	NS	NS

IL: 原始长度 Initial Length; GR: 生长率 Growth rate; BS: 基部藻段 Basal segment; S: 差异显著 (* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$); NS: 差异不显著 ($P > 0.05$)

表 2 中部不同长度藻段生长率的多重比对 (T-test) 结果

Table 2 Results from the multiple comparison test (T-test) between growth rates of mid segments

藻段原始长度 IL/mm	生长率 GR/%	MS1 2.776	MS2 4.176	MS3 2.628	MS4 2.654	MS5 1.990
1.00	MS1	2.776	—			
2.00	MS2	4.176	S***	—		
5.00	MS3	2.628	S***	NS	—	
10.00	MS4	2.654	S***	S***	S**	—
20.00	MS5	1.990	S***	S***	S***	NS

S: 差异显著 (* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$); NS: 差异不显著 ($P > 0.05$); MS: 中部藻段 Mid egment

表 3 相同长度的基部和中部藻段生长率的两两比对 (T-test) 结果

Table 3 Results from the pair comparison test (T-test) between growth rates of mid and basal segments in same initial length

藻段原始长度 IL/mm	生长率 GR/%	BS1 3.662	BS2 7.277	BS3 5.398	BS4 3.844	BS5 2.415
1.00	MS1	2.776	S**			
2.00	MS2	4.176	—	S***		
5.00	MS3	2.628	—	—	S***	
10.00	MS4	2.654	—	—	—	S***
20.00	MS5	1.990	—	—	—	—

S: 差异显著 (* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$); NS: 差异不显著 ($P > 0.05$)

不同部位的藻段的发育方式是不尽相同的,细胞在藻段的不同位置也体现出了不同的发育趋势。浒苔

的顶端细胞对环境很敏感,具极强的形成和释放孢子的潜能,这种潜能自藻体上端向下逐渐减弱;藻体近基部的细胞则具备分化形成假根和持续分裂的能力,这种能力自藻体下端向上逐渐减弱。切段或切碎处理会增强细胞形成和释放孢子的能力,而削弱了其成苗的潜能:较长的藻段倾向于成苗,较短的藻段及小组织块则倾向于生成孢子;藻段越短,其发育的极性越不明显,甚至出现藻段的上下端都产生假根的现象,而较小组织块中的细胞可以独立成苗。

3.2 浒苔藻段的营养生长

数据分析表明浒苔的生长和其原始长度和在藻体中所处的位置有关。藻段越短,其生长率对长度的变化越敏感,对于基部和中部的藻段,均在 2.0 mm 出达到其最大生长率,2.0 mm 可作为浒苔营养生长的最适长度;长度低于 2.0 mm 的藻段的生长率急剧下降,小组织块的营养生长更为缓慢。2.0 mm 及以上长度藻段的生长率随着原始长度的增加而减小,基部藻段的生长率的衰减趋势在 20.0 mm 处趋于平缓,而中部藻段的生长率在 5.0 mm 处即趋于平缓。说明基部藻段的生长对于长度的变化比中部藻段更为敏感。另外相同长度的基部和中部藻段的生长率差异明显且 BS>MS。藻段的生长与其发育一样具有明显的极性。

3.3 浒苔的繁殖方式与绿潮爆发机制分析

Lin 等通过将浒苔切成 0.25 cm²大小的组织块进行培养,观察到了至少 7 种繁殖和再生方式,包括有性繁殖和无性繁殖^[5]。在实验中只观察到了浒苔的无性繁殖,未见有大量的有性生殖细胞形成和释放。浒苔藻体被切成藻段和小组织块之后,很多藻段和组织块都因藻体的破坏引起了游孢子的大量形成和释放,这与 Dan 等通过切碎培养诱导浒苔细胞生成生殖细胞的研究结果是一致的^[8-9]。丁怀宇等^[15]研究发现缘管浒苔(*U. linza*)的配子体具有单性生殖的能力,放散后可以固定发育形成新的个体,也可以不经放散直接在藻体上发育形成新个体。本研究没有观察到浒苔配子进行单性生殖的现象,这与叶乃好等的观察结果是一致的^[16],但是王晓坤等指出浒苔配子也可以进行单性生殖发育成膜状的配子体^[17]。在本实验中,浒苔主要通过孢子以及藻段和小组织块再生两种方式进行繁殖,而以前者增殖更为迅速可见孢子繁殖是其首选的繁殖方式,是其能够快速增殖的重要原因。

除了环境因素的影响^[18],浒苔绿潮的爆发和浒苔自身的特点密切相关。Lin 等认为浒苔快速大量繁殖的两个关键因素是其繁殖方式的多样性以及在繁殖季节大量释放生殖细胞^[5]。根据本实验观察到的结果结合已有的研究和海上观测,浒苔爆发的关键因素在于其在高速生长时形成的气囊结构和相当一部分孢子滞留于孢子囊内或者附着于死亡藻体的细胞壁上。藻体附着生长时,气囊可使藻体伸展以获得更多的光照,同时也是其漂浮生长的重要保证。藻体内的滞留的孢子在条件适宜时可萌发成苗,生长迅速同样可以形成气囊结构,而母体因孢子释放而极易断裂,从而形成小规模漂浮浒苔;漂浮浒苔不再受到生态位的限制,只要条件适宜就可进行大量增殖,此时其生殖方式多样性以及大量释放生殖细胞的威力才得以极大的发挥出来,进而形成较大规模的漂浮藻团,爆发绿潮。这一结果可帮助人们进一步认识机会型绿藻浒苔的爆发机制。

References:

- [1] Hayden H S, Blomster J, Maggs C A, Silva P C, Stanhope M J, Robert W J. Linnaeus was right all along: *Ulva* and *Enteromorpha* are not distinct genera. *European Journal of Phycology*, 2003, 38(3): 277-294.
- [2] Hiraoka M, Ohno M, Kawaguchi S, Yoshida G. Crossing test among floating *Ulva* thalli forming 'green tide' in Japan. *Hydrobiologia*, 2004, 512(1/3): 239-245.
- [3] Liu D, Keesing J, Xing Q, Shi P. The world largest green-tide caused by *Porphyra* aquaculture. *Marine Pollution Bulletin*, 2009, 58: 888-895.
- [4] Liu D Y, Keesing J K, Dong Z J, Zhen Y, Di B P, Shi Y J, Fearn P, Shi P. Recurrence of the world's largest green-tide in 2009 in Yellow Sea, China: *Porphyra yezoensis* aquaculture rafts confirmed as nursery for macroalgal blooms. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, 60(9): 1423-1432.
- [5] Lin A P, Shen S D, Wang J W, Yan B L. Reproduction diversity of *Enteromorpha prolifera*. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2008, 50(5): 622-629.
- [6] Björnsäter B R, Wheeler P A. Effect of nitrogen and phosphorus supply on growth and tissue composition of *Ulva Fenestrata* and *Enteromorpha*

- intestinalis (Ulvaes, Chlorophyta). Journal of Phycology, 1990, 26(4): 603-611.
- [7] Taylor R, Fletcher R L, Raven J A. Preliminary studies on the growth of selected 'Green Tide' algae in laboratory culture: effects of irradiance, temperature, salinity and nutrients on growth rate. Botanica Marina, 2001, 44(4): 327-336.
- [8] Dan A, Hiraoka M, Ohno M, Critchley A T. Observations on the effect of salinity and photon fluence rate on the induction of sporulation and rhizoid formation in the green alga *Enteromorpha prolifera* (Müller) J. Agardh (Chlorophyta, Ulvaes). Fisheries Science, 2002, 68(6): 1182-1188.
- [9] Dan A, Ohno M, Matuoka M. Cultivation of the green alga *Enteromorpha prolifera* using chopped tissue for artificial seeding. Suisan Zoshoku, 1997, 45: 5-8.
- [10] Lee T F, Wichroski M. Polar regeneration in *Enteromorpha prolifera*. Journal of Phycology, 1996, 32: 2-2.
- [11] Lin A P, Shen S D, Wang J W, Yan B L. The primary study of tissue culture of *Enteromorpha prolifera*. Ecological Science, 2006, 25(4): 320-324.
- [12] Wang J W, Yan B L, Lin A P, Hu J P, Shen S D. Ecological factor research on the growth and induction of spores release in *Enteromorpha prolifera* (chlorophyta). Marine Science Bulletin, 2007, 26(2): 60-65.
- [13] Provasoli L. Media and prospects for the cultivation of marine algae//Watanabe A, Hattori A, eds. Cultures and Collections of Algae. Proceeding of US Japan Conference, Tokyo; The Japanese Society of Plant Physiologists, 1968: 63-65.
- [14] Brown D, Rothery P. Models in Biology: Mathematics, Statistics and Computing. London: Wiley Press, 1994: 688-688.
- [15] Ding H Y, Ma J H, Wang X K, Liang Z F, Chen C K. Apomixis in *Enteromorpha linza*. Journal of Shanghai Fisheries University, 2006, 15(4): 493-496.
- [16] Ye N H, Zhang X W, Mao Y Z, Zhuang Z M, Wang Q Y. Life history of *Enteromorpha prolifera* under laboratory conditions. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(5): 853-859.
- [17] Wang X K, Ma J H, Ye D C, Chen X D. Preliminary study on the life history of *Enteromorpha prolifera*. Marine Science Bulletin, 2007, 26(5): 112-116.
- [18] Merceron M, Morand P. Existence of a deep subtidal stock of drifting *Ulva* in relation to intertidal algal mat developments. Journal of Sea Research, 2004, 52(4): 269-280.

参考文献:

- [11] 林阿朋, 王建伟, 阎斌伦, 沈颂东. 浒苔 *Enteromorpha prolifera* 组织培养初步研究. 生态科学, 2006, 25(4): 320-324.
- [12] 王建伟, 阎斌伦, 林阿朋, 胡静平, 沈颂东. 浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 生长及孢子释放的生态因子研究. 海洋通报, 2007, 26(2): 60-65.
- [15] 丁怀宇, 马家海, 王晓坤, 梁泽锋, 陈灿坤. 缘管浒苔的单性生殖. 上海水产大学学报, 2006, 15(4): 493-496.
- [16] 叶乃好, 张晓雯, 毛玉泽, 庄志猛, 王清印. 黄海绿潮浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 生活史的初步研究. 中国水产科学, 2008, 15(5): 853-859.
- [17] 王晓坤, 马家海, 叶道才, 陈孝德. 浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 生活史初步研究. 海洋通报, 2007, 26(5): 112-116.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.2 January ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Dynamics of demersal fish species diversity and biomass of dominant species in autumn in the Beibu Gulf, northwestern South China Sea	WANG Xuehui, QIU Yongsong, DU Feiyan, et al (333)
Spatial variation in species richness of birds and mammals in mainland China	DING Jingjing, LIU Dingzhen, LI Chunwang, et al (343)
Comparative study on learning behavior and electroantennogram responses in two geographic races of <i>Cotesia glomerata</i>	WANG Guohong, LIU Yong, GE Feng, et al (351)
Biological characteristics and habitat requirements of <i>Parnassius imperator</i> (Lepidoptera: Parnassidae)	FANG Jianhui, LUO Youqing, NIU Ben, et al (361)
Annual variability in biological characteristics of <i>Illex argentinus</i> in the southwest Atlantic Ocean	FANG Zhou, LU Huajie, CHEN Xinjun, et al (371)
The impact of run-of stream dams on benthic macroinvertebrate assemblages in urban streams	HAN Minghua, YU Haiyan, ZHOU Bin, et al (380)
Effect of suspended sediment on the feeding physiology of <i>Pinctada martensii</i> in laboratory	LI Zhimin, SHEN Yuchun, YU Nantao, et al (386)
Potential nutrient limitation of phytoplankton growth in the Western and Central Pacific Ocean	XU Yanqing, CHEN Jianfang, GAO Shengquan, et al (394)
Ingestion of selected HAB-forming dinoflagellates	ZHANG Qingchun, YU Rencheng, SONG Jingjing, et al (402)
Formation of aggregation by <i>Phaeocystis globosa</i> (Prymnesiophyceae) in response to high grazing pressure	WANG Xiaodong, WANG Yan (414)
Growth and reproduction of the green macroalga <i>Ulva prolifera</i>	ZHANG Bixin, WANG Jianzhu, WANG Yifu, et al (421)
Screening of growth decline related genes from <i>Alexandrium catenella</i>	ZHONG Jie, SUI Zhenghong, WANG Chunyan, et al (431)
Analysis of inherent optical properties of Lake Taihu in spring and its influence on the change of remote sensing reflectance	LIU Zhonghua, LI Yunmei, LU Heng, et al (438)
Neural network modeling of the eutrophication mechanism in Lake Chenghai and corresponding scenario analysis	ZOU Rui, DONG Yunxian, ZHANG Zhenzhen, et al (448)
The compensatory growth of shrubby <i>Pinus thunbergii</i> response to the boring stress in sandy coast	ZHOU Zhen, LI Chuanrong, XU Jingwei, et al (457)
Selected body temperature and thermal tolerance of tadpoles of two frog species (<i>Fejervarya limnocharis</i> and <i>Microhyla ornata</i>) acclimated under different thermal conditions	SHI Linqiang, ZHAO Lihua, MA Xiaohao, et al (465)
Effects of landscape structure and key landscape factors on aphids-parasitoids-hyper parasitoids populations in wheat fields	ZHAO Zihua, WANG Ying, HE Dahan, et al (472)
Effects of cadmium on lipid peroxidation and ATPase activity of plasma membrane from Chinese kale (<i>Brassica alboglabra</i> Bailey) roots	ZHENG Aizhen (483)
Effects of ginger aqueous extract on soil enzyme activity, microbial community structure and soil nutrient content in the rhizosphere soil of ginger seedlings	HAN Chunmei, LI Chunlong, YE Shaoping, et al (489)
Manganese tolerance and accumulation in mycelia of <i>Cordyceps kyusyuensis</i>	LUO Yi, CHENG Xianhao, ZHANG Congcong, et al (499)
Influence of oxytetracycline exposure on antibiotic resistant bacteria and enzyme activities in wheat rhizosphere soil	ZHANG Hao, ZHANG Lilan, WANG Jia, et al (508)
Effects of elevated nitrogen deposition on soil organic carbon mineralization and soil enzyme activities in a Chinese fir plantation	SHEN Fangfang, YUAN Yinghong, FAN Houbao, et al (517)
Differences in clonal growth between female and male plants of <i>Rhus typhina</i> Linn. and their diurnal changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence	ZHANG Mingru, WEN Guosheng, ZHANG Jin, et al (528)
Soil water holding capacity under four typical ecosystems in Wuyunjie Nature Reserve of Hunan Province	PAN Chunxiang, LI Yuyuan, PENG Yi, et al (538)
The effect of different land use patterns on soil properties in alpine areas of eastern Qilian Mountains	ZHAO Jinmei, ZHANG Degang, LIU Changzhong, et al (548)
Responses of soil macro-fauna to land desertification in sandy grassland	LIU Rentao, ZHAO Halin (557)
Characteristics of cultivable microbial community number and structure at the southeast edge of Tengger Desert	ZHANG Wei, ZHANG Gaosen, LIU Guangxiu, et al (567)
Physiological and ecological responses of maize to different severities of desertification in the Southern Taramakan desert	LI Lei, LI Xiangyi, LIN Lisha, WANG Yingju, et al (578)
Characterization of caloric value in fifteen plant species in <i>Leymus chinensis</i> steppe in Xilin River Basin, Inner Mongolia	GAO Kai, XIE Zhongbing, XU Sutie, et al (588)
Spatial pattern responses of <i>Achnatherum splendens</i> to environmental stress in different density levels	ZHANG Mingjuan, LIU Maosong, XU Chi, et al (595)
Effects of environmental factors on species distribution and diversity in an <i>Abies fargesii</i> - <i>Betula utilis</i> mixed forest	REN Xuemin, YANG Gaihe, WANG Dexiang, et al (605)
Effects of alginate cerium complexes on ascorbate- glutathione cycle in spinach leaves under chlorpyrifos stress	LUAN Xia, CHEN Zhende, WANG Dongfeng, et al (614)
Analysis on spatiotemporal changes of urban thermal landscape pattern in the context of urbanisation: a case study of Xiamen City	HUANG Jucong, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (622)
The analysis of the green vegetation cover change in western Sichuan based on GIS and Remote sensing	YANG Cunjian, ZHAO Zijian, REN Xiaolan, et al (632)
An inventory of BVOC emissions for a subtropical urban-rural complex: Greater Taizhou Area	CHANG Jie, REN Yuan, SHI Yan, et al (641)
Scientific Note	
Litter decomposition and nutrient dynamics of <i>Carex lasiocapa</i> under different water conditions	HOU Cuicui, SONG Changchun, LI Yingchen, et al (650)
Nest-box color preference and reproductive success of great tit	ZHANG Keqin, DENG Qiuxiang, Justin Liu, et al (659)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 70 元/册,全年定价 1680 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

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 32 卷 第 2 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 2 2012

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



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元