

UV-B 辐射对强壮前沟藻(*Amphidinium carterae*)和等鞭金藻(*Isochrysis galbana*)种间竞争的影响*

谢志浩 俞泓伶 曹鲁妍

(宁波大学 “应用海洋生物技术”教育部重点实验室 宁波 315211)

提要 采用共培养的方法,研究了 UV-B 辐射对不同起始密度强壮前沟藻和等鞭金藻种间竞争的影响。结果表明,在单养时,随着起始密度的增加,2 种微藻在生长过程中进入指数生长期和平台期的时间逐渐缩短,所达到的最大种群密度都依次降低。在混养时,当接种比例为 A I = 1 4 和 A I = 1 1 时,等鞭金藻在种间竞争中占有优势;当接种比例为 A I = 4 1 时,强壮前沟藻占有优势。UV-B 辐射对两种微藻的种间竞争存在明显的影响。接种比例为 A I = 1 4 时,随着 UV-B 辐射时间的延长,等鞭金藻对强壮前沟藻的竞争优势逐渐降低,接种比例为 A I = 4 1 时,强壮前沟藻的竞争优势有所加强。

关键词 UV-B 辐射, 强壮前沟藻, 等鞭金藻, 种间竞争
中图分类号 Q949.2

氟氯烃的大量使用造成大气中臭氧层的消耗,使到达地球表面的紫外线增强。UV-B 对生物的影响尤其显著。藻类是海洋生态系统中主要的初级生产者,也是生物圈中重要的二氧化碳库。世界上约有 50% 的碳固定由海洋生态系统完成,其中主要是由藻类做出贡献。大多数海洋浮游植物生活在真光层上层,直接受到 UV-B 辐射的危害,是 UV-B 辐射增强最直接的响应者之一。UV-B 辐射的增强可能会降低海洋微藻的丰度和生物产量,继而影响错综复杂的食物网,造成人类食物产量的降低和对大气 CO₂ 吸收能力的下降,同时改变海洋物种的构成和生态系统的完整性。

目前的研究已证明,UV-B 辐射增强能通过抗氧化酶含量和活性的降低、DNA 和藻细胞膜的损伤等来影响藻类的生长(Hader *et al.*, 1995; Xie *et al.*, 2006);影响藻类的一系列生理生化过程,如通过破坏光合作用的关键酶、使光合色素含量降低和引起参加卡尔文循环的酶的活性变化来影响光合作用(Van *et al.*, 1977; Allen *et al.*, 1997),通过降低 mRNA 含量来影响植物体内蛋白质的合成和光合作用的进行(Allen *et al.*,

1998),通过产生多种自由基来影响光合磷酸化和矿物质营养吸收(Jordan *et al.*, 1992)。本研究选取赤潮藻种强壮前沟藻(*Amphidinium carterae* Hulburt)和单胞饵料藻等鞭金藻(*Isochrysis galbana* Parke 8701)为实验材料,通过共培养的方法,研究了 UV-B 辐射对其种间竞争的影响,以期研究 UV-B 辐射增强对海洋生态系统产生的影响提供相关的基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验藻种及培养

实验藻种强壮前沟藻和等鞭金藻由中国海洋大学微藻培养室提供。培养液采用 *f/2* 营养盐配方,光照强度为 3000 lx,光暗周期 12h : 12h,培养温度(20±1)°C,培养至指数生长期待用。

1.2 单独培养实验

取指数生长期的强壮前沟藻和等鞭金藻,分别以 0.2×10⁴, 0.4×10⁴ 和 0.8×10⁴ cell/ml 的起始密度接种于 200ml 的 *f/2* 培养液中。每个细胞密度设 3 个平行样。

* 浙江省科技厅项目, 2009C32021 号; 浙江省高校优秀青年教师资助计划项目, 浙教办高科[2008]176 号; 宁波市自然科学基金项目, 2008A610075 号; 胡岚博士基金项目, 2010.01—2010.12。谢志浩, 博士, 副教授, E-mail: xiezhihao@nbu.edu.cn

收稿日期: 2010-11-30, 收修改稿日期: 2011-01-26

1.3 混合培养实验

将2种藻按不同比例的细胞密度混合。强壮前沟藻(简称A)起始接种密度为 $0.2 \times 10^4 \text{ cell/ml}$, 等鞭金藻(简称I)起始接种密度为 $0.8 \times 10^4 \text{ cell/ml}$, 接种比例为A:I=1:4; 强壮前沟藻和等鞭金藻的起始接种密度都是 $0.4 \times 10^4 \text{ cell/ml}$, 接种比例为A:I=1:1; 强壮前沟藻起始接种密度为 $0.8 \times 10^4 \text{ cell/ml}$, 等鞭金藻起始接种密度为 $0.2 \times 10^4 \text{ cell/ml}$, 接种比例为A:I=4:1。每组实验设3个平行样。

1.4 UV-B 辐射体系

采用北京曙光电源厂生产的紫外B灯处理实验材料, 北京师范大学生产的UV-B型紫外辐射强度仪测定辐射强度。紫外B灯外用乙酸纤维素薄膜包被, 以除去小于280nm的短波照射, 整个装置在实验前需连续照射72h, 以减少薄膜的滤过作用的不稳定性。实验中保持辐射强度 $1.25 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 不变, 通过控制不同的辐射时间来调节辐射剂量, 在预实验的基础上, 设定30s、60s、90s三个辐射时间梯度, 以此来控制辐射剂量。由于UV-B穿透力较弱, 实验中, 将藻液倒于直径为15cm培养皿中, 置于紫外灯正下方20cm处。为防止光修复作用, UV-B处理后, 藻液需在黑暗中恢复12h, 然后再光照12h, 每天都进行UV-B辐射处理。

1.5 藻细胞密度的计算和统计分析

在培养过程中定时摇动培养物, 每天至少摇动3次, 以防止藻类在培养期间沉积。每隔24h取1ml样品, Lugol碘液固定, 血球计数板在光学显微镜下计数, 以确定藻类的密度。

2 结果

2.1 不同起始密度对2种微藻生长的影响

2种海洋微藻在不同起始密度下的生长曲线如图

1所示。结果表明, 不同起始密度对藻细胞生长具有一定的影响。随着起始密度的增加, 2种藻细胞进入指数生长期和平台期的时间均相应提前, 所达到的最大藻细胞密度均相应降低。

2.2 不同起始密度对2种微藻间竞争的影响

混养条件下2种海洋微藻生长情况如图2所示。当接种比例为A:I=1:4时, 等鞭金藻在3天后进入指数生长期, 在第14天到达平台期, 其最大藻细胞密度为 $200.13 \times 10^4 \text{ cell/ml}$, 是单养时密度($256.75 \times 10^4 \text{ cell/ml}$)的77.95%。而强壮前沟藻的指数生长期和平台期均不明显, 最大藻细胞密度为 $8.88 \times 10^4 \text{ cell/ml}$, 仅为单养时密度($74.75 \times 10^4 \text{ cell/ml}$)的11.88%。等鞭金藻对强壮前沟藻的生长具有明显的抑制作用, 在种间竞争中占有较明显的优势。

当接种比例为A:I=1:1时, 等鞭金藻在第5天进入指数生长期, 第14天进入平台期, 最大藻细胞密度为 $140.88 \times 10^4 \text{ cell/ml}$, 是单养时密度($333.13 \times 10^4 \text{ cell/ml}$)的42.29%。强壮前沟藻在培养过程中没有明显的指数生长期和静止期, 最大细胞密度为 $14.25 \times 10^4 \text{ cell/ml}$, 仅为单养时密度($61.42 \times 10^4 \text{ cell/ml}$)的23.20%。在该接种比例下, 等鞭金藻与强壮前沟藻在竞争中都受到了对方的抑制作用, 只是等鞭金藻稍占有优势。

当接种比例为A:I=4:1时, 等鞭金藻在第12天进入指数生长期, 第16天进入平台期, 最大藻细胞密度为 $40.13 \times 10^4 \text{ cell/ml}$, 为单养时密度($401.13 \times 10^4 \text{ cell/ml}$)的10.00%。强壮前沟藻进入指数生长期和平台期的时间分别为第8天和第14天, 其最大藻细胞密度为 $47.88 \times 10^4 \text{ cell/ml}$, 是单养时密度($50.25 \times 10^4 \text{ cell/ml}$)的95.28%。因此在该接种比例下, 强壮前沟藻对等鞭金藻的生长产生了较明显的抑制作用。

比较3个实验的结果, 当接种比例为A:I=1:4

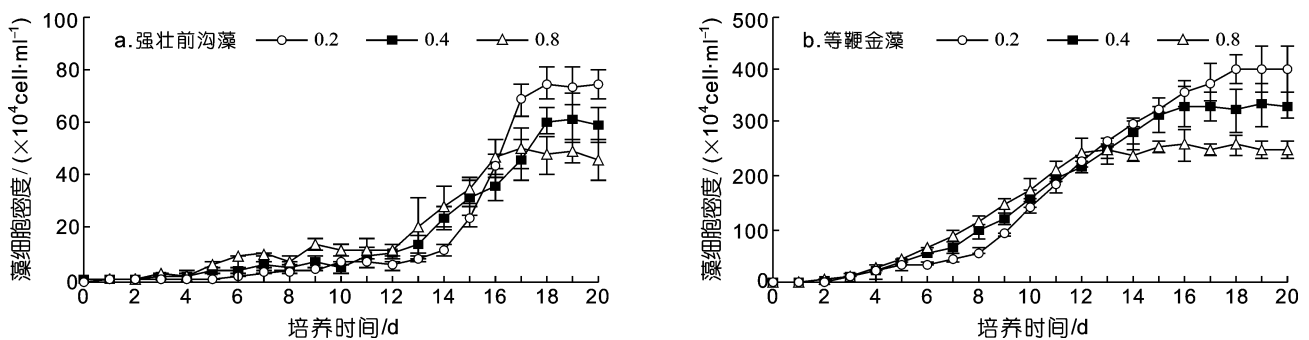


图1 不同起始密度下强壮前沟藻和等鞭金藻的生长曲线

Fig.1 The growth curves of *A. carterae* and *I. galbana* under different initial cell densities

注: 图例数据单位为起始密度($\times 10^4 \text{ cell/ml}$)

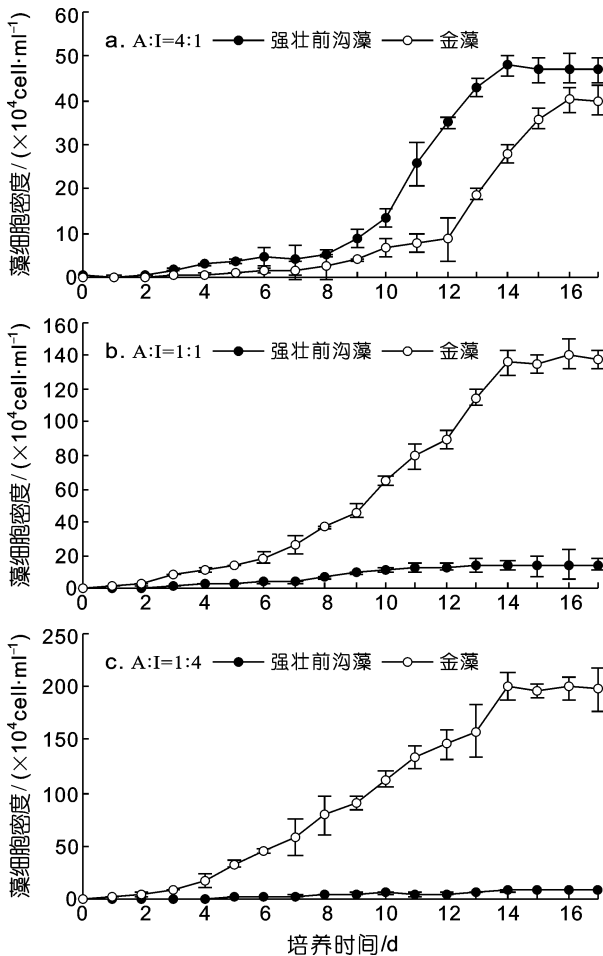


图2 不同起始密度对强壮前沟藻和等鞭金藻种间竞争的影响

Fig.2 Effects of different initial cell densities on interspecific competition between *A. carterae* and *I. galbana*

和 $A:I=1:1$ 时, 等鞭金藻在与强壮前沟藻的竞争中占有优势, 但是, 随着接种数量的增加 ($A:I=4:1$), 强壮前沟藻在种间竞争中优势明显。

2.3 UV-B 辐射对不同起始密度 2 种微藻种间竞争的影响

混养条件下, UV-B 辐射对不同起始密度 2 种微藻种间竞争的影响如图 3 所示。当接种比例为 $A:I=1:4$ 时。30s 辐射组中, 等鞭金藻在第 6 天进入指数生长期, 在第 12 天进入平台期, 最大藻细胞密度为 220.13×10^4 cell/ml, 为单养时密度 (256.75×10^4 cell/ml) 的 85.74%。60s 辐射组中, 等鞭金藻在第 3 天进入指数生长期, 在第 12 天进入平台期, 最大藻细胞密度为 182.88×10^4 cell/ml, 为单养时的 71.23%。90s 辐射组中, 等鞭金藻的最大细胞密度为单养时的 51.12%。3 个辐射组中, 强壮前沟藻均没有明显的指数生长期

和平台期, 其最大细胞密度分别为 5.75×10^4 、 5.25×10^4 和 5.13×10^4 cell/ml, 分别为单养时 (61.42×10^4 cell/ml) 的 7.69%、7.02% 和 6.86%。由上述可知, 在接种比例为 $A:I=1:4$ 时, 等鞭金藻在与强壮前沟藻的竞争中始终占着优势。但是随着 UV-B 辐射时间的延长, 这种优势逐渐降低, 强壮前沟藻对其生长也产生了一定的抑制作用。

接种比例为 $A:I=1:1$ 。30s 辐射组中, 等鞭金藻在 3 天后进入指数生长期, 第 13 天进入平台期, 其最大藻细胞密度为 120.88×10^4 cell/ml, 为单养时密度 (333.13×10^4 cell/ml) 的 36.29%。60s 辐射组中, 等鞭金藻在 7 天后进入指数生长期, 第 12 天达到最大藻细胞密度 108.63×10^4 cell/ml, 为单养时的 32.61%。90s 辐射组中, 等鞭金藻在 8 天后进入指数生长期, 第 12 天进入平台期, 最大藻细胞密度 105.88×10^4 cell/ml, 为单养时的 31.78%。3 个辐射组中, 强壮前沟藻均没有明显的指数生长期和平台期, 其最大细胞密度分别为 15.75×10^4 、 13.00×10^4 和 12.88×10^4 cell/ml, 分别为单养时密度 (61.42×10^4 cell/ml) 的 25.64%、21.17% 和 20.97%。以上情况表明, 在 UV-B 辐射下, 等鞭金藻与强壮前沟藻在竞争中都受到了对方的抑制作用, 只是等鞭金藻稍占有优势。

接种比例为 $A:I=4:1$ 。30s 辐射组中, 等鞭金藻于 6 天后进入指数生长期, 第 12 天到达平台期, 最大藻细胞密度 42.5×10^4 cell/ml, 为单养时密度 (401.13×10^4 cell/ml) 的 10.60%。强壮前沟藻在 7 天后进入指数生长期, 第 12 天到达平台期, 最大藻细胞密度是 32.75×10^4 cell/ml, 为单养时密度 (50.25×10^4 cell/ml) 的 65.17%。60s 辐射组中, 等鞭金藻在第 6 天进入指数生长期, 第 11 天到达平台期, 最大藻细胞密度 38.88×10^4 cell/ml, 为单养时的 9.69%。强壮前沟藻在 6 天后进入指数生长期, 第 13 天到达平台期, 最大藻细胞密度 26.13×10^4 cell/ml, 为单养时的 52.00%。90s 辐射组中, 等鞭金藻在 5 天后进入指数生长期, 第 9 天到达平台期, 最大藻细胞密度 13.88×10^4 cell/ml, 为单养时的 3.46%。强壮前沟藻在 5 天后进入指数生长期, 第 11 天到达平台期, 最大藻细胞密度 25.50×10^4 cell/ml, 为单养时的 50.75%。以上结果表明, 在 UV-B 辐射下, 与单养时相比强壮前沟藻抑制了等鞭金藻的生长, 强壮前沟藻在竞争中占有优势, 随着 UV-B 辐射时间的延长, 强壮前沟藻的竞争优势有所加强。

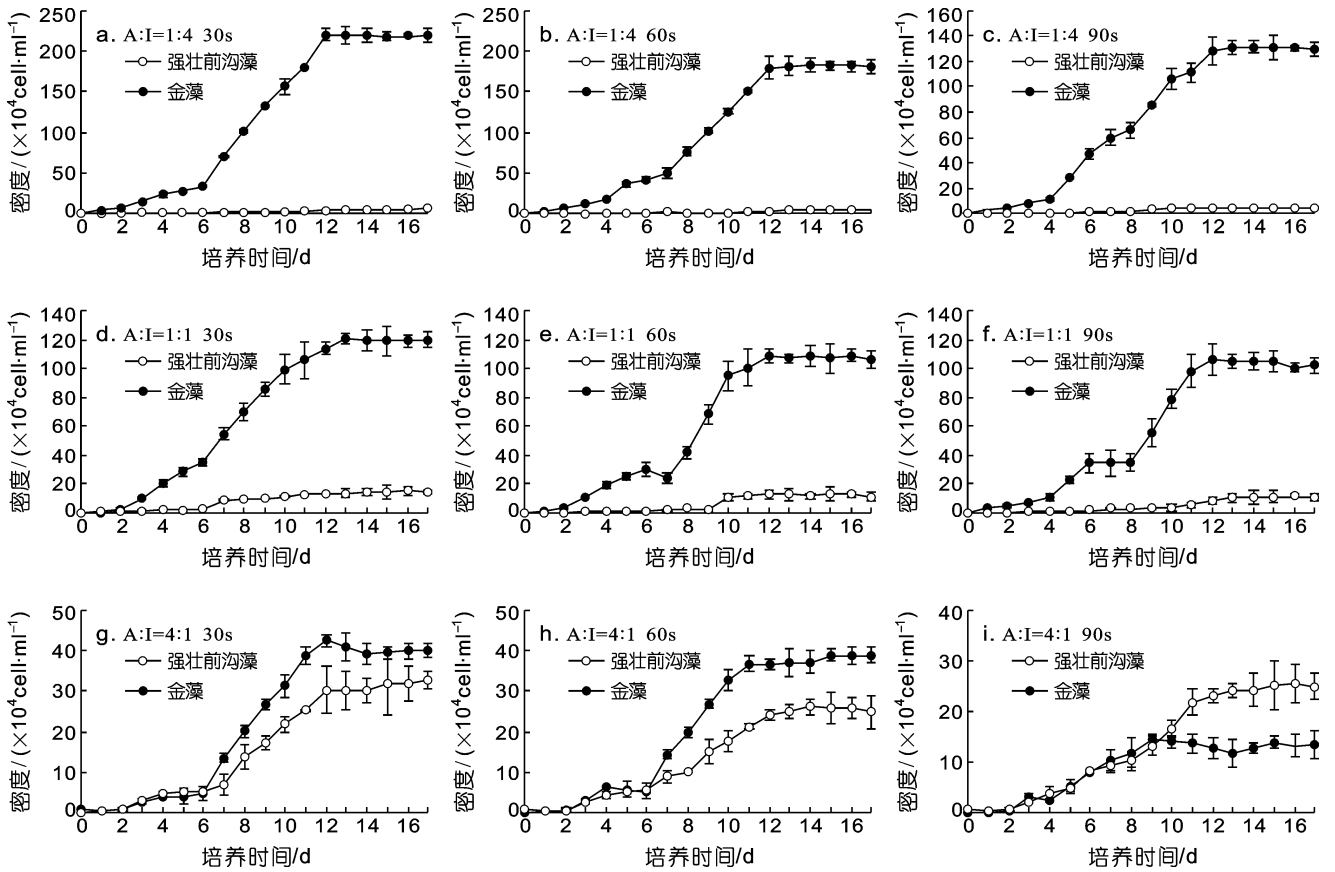


图 3 UV-B 辐射对不同起始密度强壮前沟藻和等鞭金藻种间竞争的影响

Fig.3 Effects of UV-B radiation on interspecific competition between *A. carterae* and *I. galbana* under different initial cell densities

3 讨论

3.1 不同接种比例 UV-B 辐射对 2 种微藻种间竞争的影响

混养实验结果表明,不同接种比例导致了 2 种微藻种群间竞争关系的变化。在接种比例为 A I=1 4 时,等鞭金藻对强壮前沟藻的生长抑制作用明显,在种间竞争中占有较明显的优势;接种比例为 A I=1 1 时,等鞭金藻与强壮前沟藻在竞争中都受到了对方的抑制作用,只是等鞭金藻稍占有优势;接种比例为 A I=4 1 时,强壮前沟藻对等鞭金藻的生长产生了较明显的抑制作用。UV-B 辐射可以改变海洋微藻的种群竞争能力,于娟等(2005)证实长期高剂量的 UV-B 辐射能使微藻群落优势种产生改变。说明 UV-B 辐射作为一种环境因素对藻类种间竞争产生作用。混养实验结果表明,在接种比例为 A I=1 4 时,随着 UV-B 辐射时间的延长,等鞭金藻对强壮前沟藻的竞争优势逐渐降低,接种比例为 A I=4 1 时,强壮前沟藻的竞争优势有所加强。

藻类之间存在明显的相互作用,环境因子、种群

增殖竞争力强弱以及起始密度对藻类生长的相互作用有很大的影响(Hegarty *et al*, 1998; Uchida *et al*, 1999; 江兴龙等, 2009)。环境条件的改变使藻类相对生长率发生变化,从而导致种间竞争关系的改变。在藻类种间竞争过程中,存在两种不同的竞争机制。一种是在营养水平,营养成分的高度消耗导致了种间竞争变化,从而导致优势种改变。柴超等(2009)研究发现不同氮磷比对强壮前沟藻生长的影响较大,其中磷对强壮前沟藻的生长影响最大;而在高氮磷比条件下,等鞭金藻的生长速度要优于低氮磷比状态,氮对其生长的影响要高于磷的作用(刘东艳等, 2002)。由于营养盐的消耗,氮磷比例发生改变,这可能是导致微藻种间竞争关系变化的主要原因。另一种是由于藻类的他感效应(Honjo, 1994; 张善东等, 2005),海洋藻类能分泌胞外产物,如碳水化合物,毒素,酶和不稳定产物,可直接导致对某些藻类生长的抑制,从而影响藻类群落的成分、演替和平衡(Fogg, 1971)。强壮前沟藻是一种能产生溶血性毒素的有害赤潮藻种,其毒素主要来源于衰亡期的细胞内容物和细胞

碎片,表明该溶血物质主要是在细胞破裂时溶出,而不是在细胞生长代谢分泌到水中(葛蔚等,2009),因此他感效应可能在2种微藻的竞争中的作用不明显。

3.2 UV-B 辐射对2种微藻种间竞争影响机制的探讨

UV-B 辐射增强会损伤海洋藻类,抑制藻类细胞中与光合作用相关的基因表达,导致光系统 II 的 D1 和 D2 反应中心蛋白减少,限制光系统 II 的损伤修复,从而导致光合速率的下降(Chaturvedi, 2000)。紫外线辐射可能导致对细胞分裂的干扰或抑制,影响细胞的生长和繁殖(Wiencke *et al*, 2004)。UV-B 辐射能抑制藻类细胞的生长,加速减少叶绿素,减小光合速率(Lesser, 1996)。藻类细胞在 UV-B 辐射下,产生并积累大量活性氧化物(active oxygen species, AOS)如超氧阴离子自由基和过氧化氢等,引起微藻生物膜脂过氧化损伤及 DNA 损伤。不同藻类对 UV-B 辐射处理的敏感性不同,一些绿藻由于细胞表面的粘液鞘和紫外线吸收物质或辅助色素可以保护细胞质和叶绿体免受有害辐射,从而实现了单个细胞能在极其强烈紫外线辐射环境下承受的能力;附着水生植物 *Emiliania huxleyi* 已被发现对紫外线辐射非常敏感,可能与 UV-B 辐射时藻细胞处于细胞周期中低修复能力阶段有关(Holzinger *et al*, 2006)。对 UV-B 处理高度敏感藻类有显著的生长缺陷,同时低敏感性藻类能更好地忍受 UV-B 辐射,其生长速度相对增加。因此,UV-B 辐射打破了藻类种群间原有的生长平衡,结果是改变种群竞争关系。等鞭金藻对 UV-B 辐射的敏感性较高(王悠等,2002),作者倾向认为 UV-B 辐射对于种间竞争关系的影响可能是由于2种微藻适应力的可变性,但该机制还有待进一步研究。

参 考 文 献

- 于娟,唐学玺,田继远等,2005. UV-B 辐射对3种海洋微藻的种间竞争性平衡的影响. 中国海洋大学学报, 35(1): 108—112
- 王悠,杨震,唐学玺等,2002. 7种海洋微藻对UV-B辐射的敏感性差异分析. 环境科学学报, 22(2): 225—230
- 刘东艳,孙军,巩晶等,2002. 不同氮、磷比例对球等鞭金藻生长的影响. 海洋水产研究, 23(1): 29—32
- 江兴龙,宋立荣,2009. 泉州湾赤潮藻类优势种演替影响因子探讨. 海洋与湖沼, 40(6): 761—767
- 张善东,宋秀贤,王悠等,2005. 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, 36(6): 556—561
- 柴超,葛蔚,2009. 强壮前沟藻生长的营养需求研究. 水产科学, 28(8): 447—450
- 葛蔚,王金叶,柴超,2009. 强壮前沟藻(*Amphidinium carterae* Hulburt)毒素的溶血活性研究. 海洋与湖沼, 40(6): 732—737
- Allen D J, McKee I F, Farage P K *et al*, 1997. Analysis of the limitation to CO₂ assimilation on exposure of leaves of two *Brassic napus* cultivars to UV-B. *Plant Cell Environ*, 20: 633—640
- Allen D J, Nogues S, Baker N R, 1998. Ozone depletion and increased UV-B radiation: is there a real threat to photosynthesis. *J Exper Botany*, 49: 1775—1788
- Chaturvedi R, 2000. Degradation and denovo synthesis of D1 protein and psbA transcript levels in green algae during UV-B inactivation of photosynthesis and its reactivation. *J Biol Sci*, 25: 65—71
- Fogg G E, 1971. Extracellular products of algae in freshwater. *Ergebn der Limnol*, 5: 1—25
- Hader D P, Worrest R C, Kumar H D *et al*, 1995. Effects of increased solar ultraviolet radiation on aquatic ecosystems. *Ambio*, 24: 174—180
- Hegarty S G, Villareal T A, 1998. Effect of light level and N: P supply ratio on the competition between *Phaeocystis cf. pouchetii* (HARIOT) LAGERHEIM (Prymnesiophyceae) and five diatom species. *J Exp Mar Biol Ecol*, 226: 241—258
- Holzinger A, Lütz C, 2006. Algae and UV irradiation: Effects on ultrastructure and related metabolic functions. *Micron*, 37: 190—207
- Honjo T, 1994. The biology and prediction of representative red tides associated with fish kills in Japan. *Rev Fish Sci*, 2: 225—253
- Jordan B R, He J, Chow W S *et al*, 1992. Changes in mRNA levels and polypeptide subunits of ribulose-1, 5-biophosphate carboxylase in response to supplementary ultraviolet-B radiation. *Plant Cell Environ*, 15: 91—98
- Lesser M P, 1996. Elevated temperature and ultraviolet radiation cause oxidative stress and inhibit photosynthesis in symbiotic dinoflagellates. *Limnol Oceanogr*, 41: 271—283
- Uchida T, Satorutoda Y, Matsuyama Y, 1999. Interactions between the red tide dinoflagellates *Heterocapsa circularis* and *Gymnodinium mikimotoi* in laboratory. *J Exp Mar Biol Ecol*, 241: 285—299
- Van T K, Grand L A, West S H, 1977. Effects of 298nm radiation on photosynthetic reactions of leaf discs and chloroplast preparations of some crop species. *Environ Exp Bot*, 17: 107—112
- Wiencke C, Clayton M N, Sshonwalder M, 2004. Sensitivity and acclimation to UV radiation of zoospores from five species of Laminariales from the Arctic. *Mar Biol*, 145: 31—39
- Xie Zhihao, Xiao Hui, Cai Hengjiang *et al*, 2006. Influence of UV-B irradiation on the interspecific growth interaction between *Heterosigma akashiwo* and *Prorocentrum donghaiense*. *Inter Rev Hydrobiol*, 91(6): 555—573

INFLUENCE OF UV-B RADIATION ON THE INTERSPECIFIC COMPETITION BETWEEN *AMPHIDIINIUM CARTERAE* AND *ISOCHRYSIS GALBANA*

XIE Zhi-Hao, YU Hong-Ling, CAO Lu-Yan

(Key Laboratory of Applied Marine Biotechnology, Ministry of Education, Ningbo University, Ningbo, 315211)

Abstract In this paper, the effects of UV-B radiation on interspecific competition between *Amphidinium carterae* and *Isochrysis galbana* were studied using the co-culture method. The results showed that: in single culture experiments, with increased inoculums, both species entered the exponential growth phase and the plateau phase faster, and the maximum cell density reduced. In the mixed culture experiments, *I. galbana* dominated in the competition with *A. carterae* in the A : I = 1 : 4 and the A : I = 1 : 1 treatments. In contrast, only under the A : I = 4 : 1 inoculation ratio did *A. carterae* exhibit inhibition to the growth of *I. galbana*. UV-B irradiation effectively influenced the interspecific growth interaction of these two species. With increased UV-B irradiation, the competitive dominance of *I. galbana* decreased in the A : I = 1 : 4 treatment and in some cases, *A. carterae* became relatively more competitive in the A : I = 4 : 1 treatment.

Key words UV-B radiation, *Amphidinium carterae*, *Isochrysis galbana*, Interspecific competition

中国海洋湖沼学会 2011 年理事会圆满召开

中国海洋湖沼学会 2011 年理事会,于 2011 年 12 月 28 日在青岛中国科学院海洋研究所召开,刘瑞玉院士、秦蕴珊院士、管华诗院士以及来自全国各地涉海单位的理事、常务理事、学会所属学术期刊编辑部主任、分支机构负责人等 60 余人参加了会议,会议由学会副理事长兼秘书长孙松主持。

会议首先由相建海理事长作学会 2011 年工作总结报告,随后李毅萍副秘书长作了学会 2011 年财务报告;《湖泊科学》编辑部主任李万春、《水生生物学报》编辑部主任杜新征、《海洋与湖沼》编辑部主任陈溥远、《中国海洋湖沼学报》编辑部主任虞子冶,分别就各自期刊的运行情况向理事们做了大会总结汇报。

会议就中国海洋湖沼学会换届选举及召开第十次会员代表大会等事宜进行了讨论,并决定中国海洋湖沼学会第十次会员代表大会将于 2012 年 10 月中旬在青岛召开。

最后常务理事李乃胜就“曾呈奎海洋科技奖”评奖事宜做了通报,2012 年“曾呈奎海洋科技奖”颁奖仪式将在中国海洋湖沼学会第十次会员代表大会上举行。