

UV-B 辐射增强对海洋大型藻与微型藻 种群生长关系的影响

张培玉^{1,2}, 唐学玺^{2*}, 蔡恒江², 于 娟², 肖 慧²

(1. 青岛大学环境科学与工程系, 青岛 266071; 2. 中国海洋大学海洋生态学实验室, 青岛 266003)

摘要: 选用孔石莼和青岛大扁藻为海洋大型藻和微型藻的代表, 通过室内添加模拟试验研究了 UV-B 辐射增强对孔石莼(重量固定)与青岛大扁藻(密度不同)种群生长关系的影响。结果表明: (1) 在单养情况下, 4 个 UV-B 辐射剂量都对孔石莼的生长产生抑制作用; 对青岛大扁藻生长的影响却不同, 低剂量(U-1)的 UV-B 辐射对青岛大扁藻的生长有促进作用, 而高剂量的 UV-B 辐射则有显著的抑制作用; 且因初始接种密度不同而各异。(2) 在共养情况下, 微藻对孔石莼的生长表现出一定的抑制作用, 随着微藻初始接种密度的增加, 其抑制作用亦增加; 反之, 在共培养的初始阶段(6 d 内)孔石莼对微藻的生长也有抑制作用, 但后期阶段(9 d 后)表现出促进作用。(3) 在共培养的同时附加 UV-B 辐射处理, 随着初始接种密度的增加, 青岛大扁藻对孔石莼生长的抑制作用更加明显; 同时, 与共养相比较, 孔石莼对微藻生长的抑制作用亦趋于明显。

关键词: UV-B 辐射; 孔石莼; 青岛大扁藻; 抑制

文章编号: 1000-0933(2005)12-3335-08 **中图分类号:** Q 959 **文献标识码:** A

Effects of the enhanced UV-B radiation on the growth of interaction competition between marine macro-algae and micro-algae population

ZHANG Pei-Yu^{1,2}, TANG Xue-Xi^{2*}, CAI Heng-Jiang², YU Juan², XIAO Hui² (1. Department of Environmental Science and Engineering, Qingdao University, Qingdao 266071, China; 2. Marine Ecology Laboratory, Ocean University of China, Qingdao 266003, China). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3335~ 3342

Abstract: Enhanced UV-B (from 280 nm to 320 nm) radiation resulting from ozone depletion is one of the global environmental problems. Both marine organisms and ecosystems can be affected by the enhanced UV-B radiation. In this study, using *Ulva pertusa* Kjellm and *Platymonas helgolandica* Kylin var. *tsingtaoensis* as the materials we investigated the effects of UV-B radiation on interaction of macro-algae and micro-algae. Our results demonstrated that UV-B radiation with four doses inhibited the growth of *Ulva pertusa* Kjellm, but UV-B radiation with low doses (U-1) stimulated the growth of *Platymonas helgolandica* Kylin var. *tsingtaoensis* and inhibited its growth with high doses when they were cultured alone. The inhibition of growth on *Platymonas helgolandica* Kylin var. *tsingtaoensis* was more significant when increasing doses of UV-B radiation used. In mixed culture, *Platymonas helgolandica* Kylin var. *tsingtaoensis* inhibited the growth of *Ulva pertusa* and this inhibition was more significant when increasing original inoculation density. However, *Ulva pertusa* Kjellm inhibited the growth of *Platymonas helgolandica* Kylin var. *tsingtaoensis* in early phase (before the 6th day) and stimulated the growth in later phase (after the 9th day). Under the UV-B radiation treatment, *Platymonas helgolandica* Kylin var. *tsingtaoensis* inhibited the growth of *Ulva pertusa* Kjellm and this inhibition was more significant as the original inoculation density of *Platymonas helgolandica* Kylin var. *tsingtaoensis* increased in mixing culture. The growth of *Platymonas helgolandica* Kylin var. *tsingtaoensis* was neither stimulated nor inhibited under lower doses of UV-B radiation treatment and lower original inoculation

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30270258); 青岛大学人才引进科研启动基金资助项目(2005)

收稿日期: 2004-06-03; **修订日期:** 2005-03-10

作者简介: 张培玉(1964~), 男, 青岛市人, 博士, 副教授, 主要从事环境生物学研究. E-mail: peiyu_zhang@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: tangxx@ouc.edu.cn

Foundation item: the National Natural Science Foundation of China (No. 30270258) and the Science Foundation of Qingdao University (2005)

Received date: 2004-06-03; **Accepted date:** 2005-03-10

Biography: ZHANG Pei-Yu, Ph.D., Associate professor, mainly engaged in environmental biology. E-mail: peiyu_zhang@163.com

density of *P. latymonas helgolandica* Kylin var. *tsingtaoensis*, however, it was inhibited more significantly when increasing both the inoculation density and the doses of UV-B radiation. It is interesting to note that comparing with that in mixed culture, the growth of both *P. latymonas helgolandica* Kylin var. *tsingtaoensis* and *U. lva pertusa* Kjellm was inhibited under the UV-B radiation treatment.

Key words: UV-B radiation; *U. lva pertusa* Kjellm; *P. latymonas helgolandica* Kylin var. *tsingtaoensis*; inhibition

臭氧层的衰减和臭氧洞的出现导致到达地球表面的紫外辐射增强。UV-B 辐射虽然仅占有到达地球表面电磁光谱的很小一部分,但却对生物产生复杂的影响^[1,2]。它可以影响植物形态、光合作用、生物量和有机物含量^[3]。所以,日益增强的紫外线作用已经成为当今全球关注的重大环境问题之一。海洋生物受到紫外辐射的潜在危险性也在不断增加,它的伤害作用不仅仅局限于海水表层生物,在欧洲北海海水表面紫外线辐射的 10% 能够穿透到 6 m 深的水层,而在北冰洋的清澈水域,海水表面 10% 的紫外线辐射能够到达 30 m 的水层,因此,UV-B 辐射增强势必对海洋生态系统产生明显的影响^[4]。

UV-B 辐射对藻类生长和生理生化的影响国内外已做了许多工作^[2,5-7]。但是,对藻类种群生长关系变化的影响鲜有报道。南春荣等认为,除了对于营养盐等的竞争外,种群密度也是影响种群间竞争结果的重要因素^[11]。本实验选用孔石莼(*U. lva pertusa* Kjellm)、青岛大扁藻(*P. latymonas helgolandica* Kylin var. *tsingtaoensis*)为材料,研究了 UV-B 辐射对两种不同密度间竞争生长关系的影响,以期阐明海洋生态系统对 UV-B 辐射的响应提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料处理

试验所使用的孔石莼(*U. lva pertusa*)采自青岛太平角。材料采回后立即用天然海水洗净,用打孔器打成直径为 1.3 cm 的圆片,在室温 3000 lx 光照下预培养 7 d。青岛大扁藻(*P. helgolandica*)由中国海洋大学微藻种室提供。

培养容器为 300 ml 三角瓶。三角瓶洗净后依次用 1 mol/L HCl 和 90% 乙醇洗瓶,然后用相应浓度 f/2 培养基预平衡后备用。

1.2 培养方法和条件

分单独培养和共同培养两部分。单独培养时微藻的初始接种密度分别为:100(单养 a),1000(单养 b),10000(单养 c)个/ml;称取预培养的孔石莼 0.05 g;微藻和孔石莼两者分别接种于含 150 ml f/2 培养液中。共同培养时微藻的初始接种密度分别为:100(共养 a),1000(共养 b),10000(共养 c)个/ml;取预培养的孔石莼 0.05 g 分别接种于含 150 ml 的上述藻液中。按照唐学玺和李永祺方法和条件进行培养^[8]。

1.3 UV-B 辐射体系

采用北京曙光电源厂生产的紫外 B 灯,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(上海生化试剂公司,厚度为 0.12 mm)包被,以除去 280 nm 以下的短波辐射。整个体系在正式试验前需连续照射 72 h,以减小薄膜滤过作用的不稳定性。所用薄膜每隔 7 d 更换 1 次,防止薄膜的老化。

1.4 UV-B 辐射处理

辐射强度控制在 $1.25 \mu\text{W}/\text{cm}^2$,通过调整辐射时间控制辐射剂量。在预备试验的前提下,设计 0(对照组,正常日光灯管照射)和 0.72(U-1),1.44(U-2),2.16(U-3),2.88(U-4) J/m^2 UV-B 辐射剂量的处理组。

1.5 孔石莼称重与细胞密度的测定

用吸水纸小心地把孔石莼表面的水吸干后用感量为 0.01 mg 的电子天平称重。

微藻用 Lugol 碘液固定,采用平板计数法,在 Olympus 双筒显微镜下,进行细胞计数。

1.6 数据处理应用 SPSS10.0 进行统计分析。

2 结果

2.1 孔石莼-微藻间的相互作用关系

2.1.1 青岛大扁藻对孔石莼生长的影响 共培养条件下,青岛大扁藻对孔石莼生长的影响见图 1。随着青岛大扁藻初始接种密度的增大,其对孔石莼生长的抑制作用越加明显。较低接种密度的(共养 a)青岛大扁藻对孔石莼生长的影响不明显,与单养相比几乎无差异性;在较高接种密度(共养 b 与共养 c)下,青岛大扁藻对孔石莼的生长产生明显的影响,到第 12 天时,共养 c 与单养之间的差异已经达到极显著水平($p < 0.01$),孔石莼生长已经明显地受到了抑制。

2.1.2 孔石莼对青岛大扁藻生长的影响 从图 2~ 图 4 中可以看出,初始阶段孔石莼抑制青岛大扁藻的生长,但是到了后期反而促进青岛大扁藻的生长。

当初始接种密度为 a 时,青岛大扁藻的生长在 0~ 9 d 内受到孔石莼的抑制作用,其中 6 d 时差异达到显著水平($p < 0.05$);9 d 以后,青岛大扁藻的生长反而受到了孔石莼的促进,开始加速生长,至第 12 天时差异达到极显著水平($p < 0.01$)。

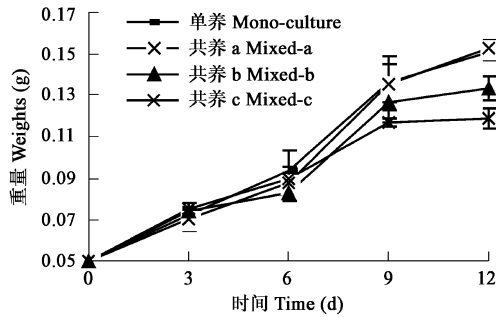


图1 正常情况下不同接种密度的青岛大扁藻对石莼生长的影响

Fig 1 The growth curves for *U. pertusa* with different initial *P. helgolandica* density

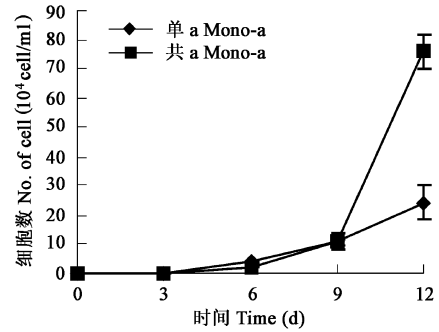


图2 正常情况下石莼对青岛大扁藻 a 生长的影响

Fig 2 The growth curves for *P. helgolandica* in density a with *U. pertusa*

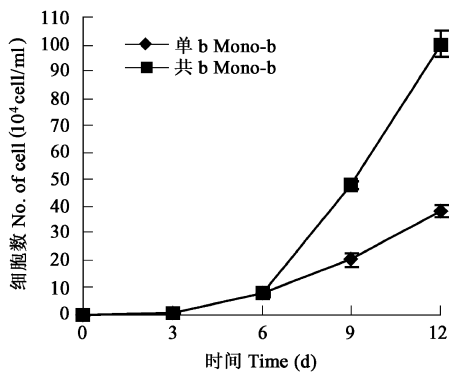


图3 正常情况下石莼对青岛大扁藻 b 生长的影响

Fig 3 The growth curves for *P. helgolandica* in density b with *U. pertusa*

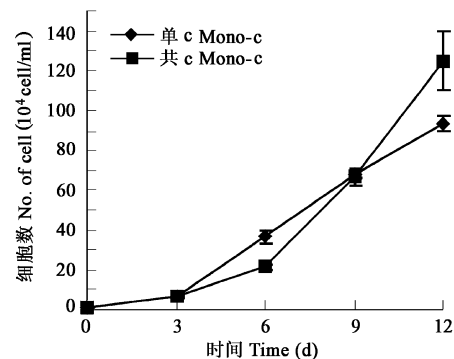


图4 正常情况下石莼对青岛大扁藻 c 生长的影响

Fig 4 The growth curves for *P. helgolandica* in density c with *U. pertusa*

b 初始接种密度青岛大扁藻的生长在 0~6 d 内, 受到孔石莼的抑制作用, 在第 3 天时差异已达到显著水平 ($p < 0.05$); 后期 (6 d 后) 其生长受到了促进作用, 9 d 后差异达到极显著的水平 ($p < 0.01$)。

当初始接种密度为 c 时, 青岛大扁藻的生长在 0~9 d 内受到孔石莼的抑制作用, 第 6 天时差异达到显著水平 ($p < 0.05$); 而 9 d 后, 青岛大扁藻的生长受到了孔石莼的促进作用, 到 12 d 时差异达到显著水平 ($p < 0.05$)。

因此可以看出, 初始阶段孔石莼抑制青岛大扁藻的生长, 但到了后期反而促进青岛大扁藻的生长。

2.2 UV-B 辐射对单养条件下孔石莼和青岛大扁藻生长的影响

2.2.1 UV-B 辐射对孔石莼生长的影响 UV-B 辐射对孔石莼的生长有明显的抑制作用, 而且随剂量的增大, 抑制作用越加明显 (图 5)。

第 6 天时除 U-1 外, 其余各组都有明显的抑制作用 ($p < 0.05$); 第 9 天时 UV-B 辐射的抑制作用更加明显, 包括 U-1 在内的各组均受到了明显的抑制作用 ($p < 0.05$)。

2.2.2 UV-B 辐射对青岛大扁藻生长的影响 不同剂量的 UV-B 辐射对不同密度的青岛大扁藻生长有显著的不同影响 (图 6~图 8)。低剂量 (U-1) 的 UV-B 辐射促进青岛大扁藻的生长, 而随着辐射剂量的增加, UV-B 辐射对青岛大扁藻的生长又表现出明显的抑制作用。青岛大扁藻初始接种密度的不同, 对 UV-B 辐射的响应不同。

当初始接种密度为 a 时, U-1 辐射组青岛大扁藻的生长受到了促进, 且在 9 d 以后差异显著 ($p < 0.05$)。而 U-2 组青岛大扁藻的生长, 与对照相比, 在前期 (0~9 d) 差异不明显, 而在后期 (9~12 d) 则表现出被促进。U-3 和 U-4 组青岛大扁藻的生长始终受到抑制, 不同的是 U-3 组青岛大扁藻的生长, 在第 6 天时差异达显著水平 ($p < 0.05$), 而 U-4 组则达到极显著水平 ($p < 0.01$)。

当初始接种密度为 b 时, U-1 辐射组青岛大扁藻的生长受到了促进, 在第 3 天时差异显著 ($p < 0.05$), 而在 6 d 以后差异达

到极显著的水平 ($p < 0.01$), 青岛大扁藻的生长显著加速。U-2 组青岛大扁藻的生长与对照相比, 在 6 d 内差异不明显, 6 d 以后则被促进, 但不显著。U-3 和 U-4 组青岛大扁藻的生长受到了抑制, U-3 组青岛大扁藻的生长在第 3 天时差异达到极显著的水平 ($p < 0.01$), 而 U-4 组青岛大扁藻的生长一直表现出极显著的差异 ($p < 0.01$)。

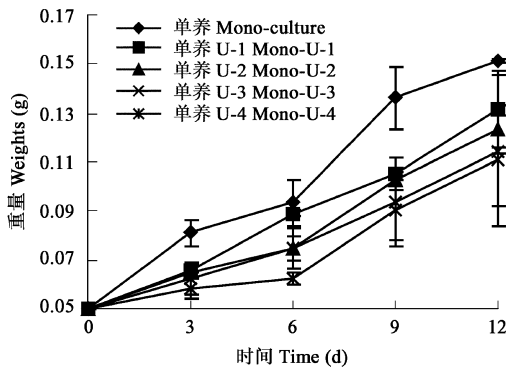


图5 UV-B 辐射对石莼生长的影响

Fig 5 Effects of UV-B radiation treatment on growth of *Ulva pertusa*

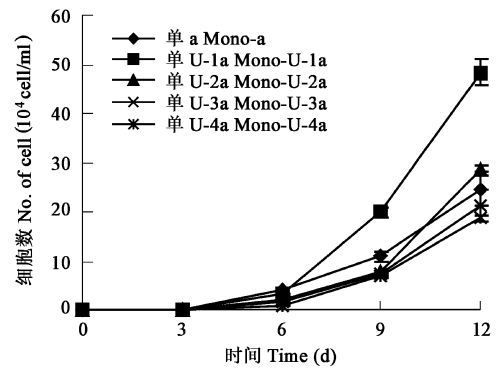


图6 不同剂量的UV-B 辐射对青岛大扁藻 a 生长的影响

Fig 6 Effects of UV-B radiation treatment on growth of *P. helgolandica* in density a

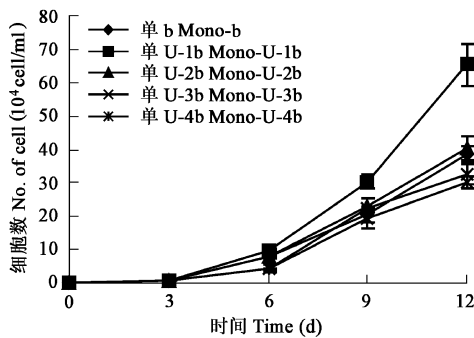


图7 不同剂量的UV-B 辐射对青岛大扁藻 b 生长的影响

Fig 7 Effects of UV-B radiation treatment on growth of *P. helgolandica* in density b

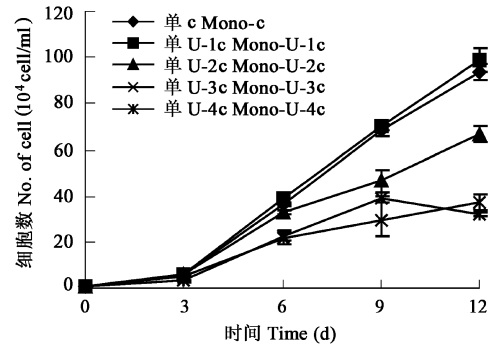


图8 不同剂量的UV-B 辐射对青岛大扁藻 c 生长的影响

Fig 8 Effects of UV-B radiation treatment on growth of *P. helgolandica* in density c

对于 c 初始接种密度的青岛大扁藻生长而言, U-1 辐射组的 UV-B 辐射对青岛大扁藻的生长并未表现出抑制作用, 与对照相比差异不显著 ($p > 0.05$); 而 U-2、U-3 和 U-4 辐射组对青岛大扁藻的生长表现出明显的抑制作用。U-2 组青岛大扁藻的生长在 6 d 时差异极显著 ($p < 0.01$), 而 U-3 和 U-4 组青岛大扁藻的生长则一直表现出极显著的差异 ($p < 0.01$)。

2.3 UV-B 辐射胁迫对孔石莼-微藻共培养下生长关系的影响

与对照相比, UV-B 辐射能显著改变孔石莼与青岛大扁藻种群生长关系, 使它们的生长受到明显的抑制。

2.3.1 UV-B 辐射胁迫下青岛大扁藻对孔石莼生长的影响 UV-B 辐射处理后, 随青岛大扁藻随着初始接种密度的增大, 石莼生长受抑制的作用越来越明显 (图 9~ 图 11)。

同样接受 4 个不同剂量 UV-B 辐射, 当青岛大扁藻的初始接种密度为 a 时, 4 个组的孔石莼生长在 9 d 后均受到了极显著的抑制作用 ($p < 0.01$)。当初始接种密度为 b 和 c 时, 4 个组的孔石莼的生长始终受到极显著的抑制作用 ($p < 0.01$)。

2.3.2 UV-B 辐射处理下孔石莼对青岛大扁藻生长的影响 从图 12~ 图 14 可以看出, 共培养条件下附加 UV-B 辐射处理, 孔石莼对不同初始接种密度青岛大扁藻生长的影响不同。

对于 a 初始接种密度的青岛大扁藻, U-1 辐射处理组并未出现明显的抑制或促进作用 ($p < 0.05$), 而 U-2、U-3 和 U-4 辐射处理组在 6~ 12 d 时均受到极显著的抑制作用 ($p < 0.01$)。

初始接种 b 密度的青岛大扁藻, U-1 辐射处理组在 9~ 12 d 时受到极显著的抑制作用 ($p < 0.01$), U-2、U-3 和 U-4 辐射处理组在 6~ 12 d 时均受到极显著的抑制作用 ($p < 0.01$)。

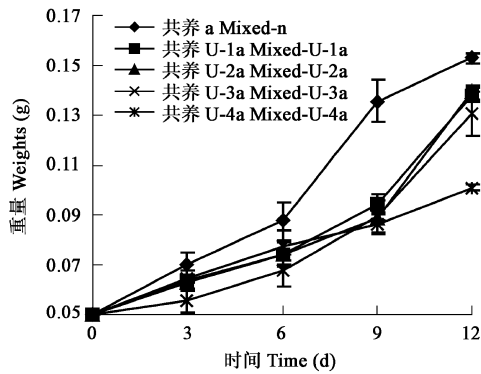


图 9 不同剂量UV-B 辐射的情况下 a 密度的青岛大扁藻对石莼生长的影响

Fig 9 Effects of UV-B radiation treatment on growth of *Uva pertusa* with *P. helgolandica* in density a

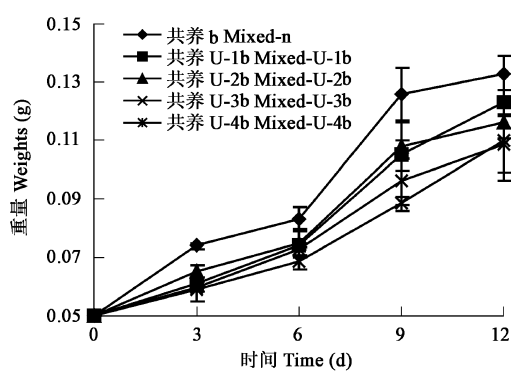


图 10 不同剂量UV-B 辐射的情况下 b 密度的青岛大扁藻对石莼生长的影响

Fig 10 Effects of UV-B radiation treatment on growth of *Uva pertusa* with *P. helgolandica* in density b

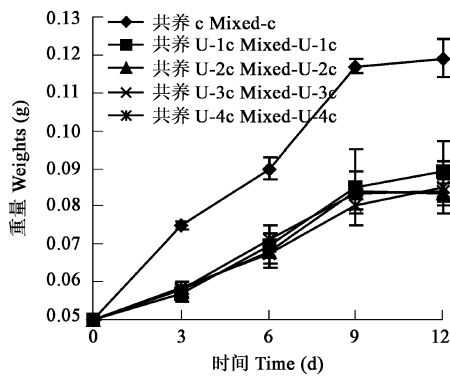


图 11 不同剂量UV-B 辐射的情况下 c 密度的青岛大扁藻对石莼生长的影响

Fig 11 Effects of UV-B radiation treatment on growth of *Uva pertusa* with *P. gelgolandica* in density c

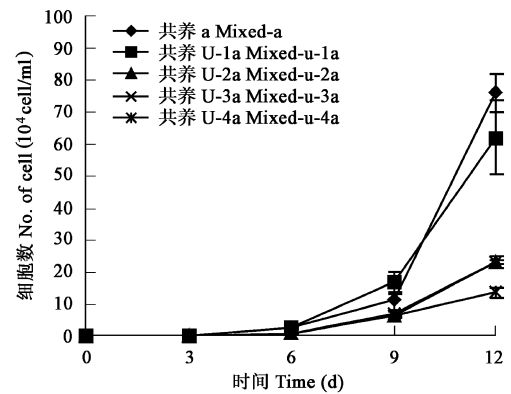


图 12 不同剂量UV-B 辐射的情况下右莼对 a 密度青岛大扁藻生长的影响

Fig 12 Effects of UV-B radiation treatment on growth of *P. helgolandica* in density a with *Uva pertusa*

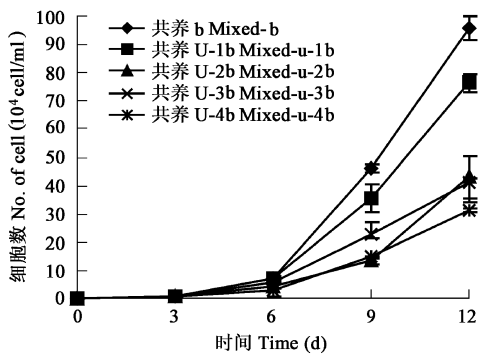


图 13 不同剂量UV-B 辐射的情况下右莼对 b 密度青岛大扁藻生长的影响

Fig 13 Effects of UV-B radiation treatment on growth of *P. helgolandica* in density b with *Uva pertusa*

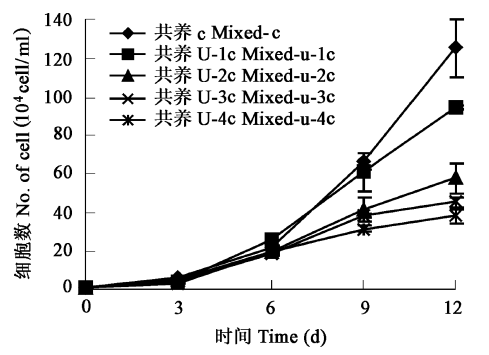


图 14 不同剂量UV-B 辐射的情况下右莼对 c 密度青岛大扁藻生长的影响

Fig 14 Effects of UV-B radiation treatment on growth of *P. helgolandica* in density c with *Uva pertusa*

c 初始接种密度的青岛大扁藻 U-2、U-3 和 U-4 辐射处理组在 9~12 d 时均受到了极显著的抑制作用 ($p < 0.01$), 而 U-1 辐射处理组在第 12 天时受到了显著的抑制作用 ($p < 0.05$)。

3 讨论

3.1 孔石莼-微藻之间的相互作用关系

早在 1976 年, MacArthur 和 Wilson 按栖息环境和进化对策把生物分成 r -选择和 K -选择两大类。 r -选择和 K -选择的观念曾被广泛用于对自然界中动植物种群的描述。 r -选择的生物多生活在环境不稳定的情况下, 种群密度经常剧烈变动, 会突然爆发或下降。这种生物寿命短, 出生率高, 个体一般都比较小。 K -选择的生物与 r -选择的生物恰恰相反, 它们多生活在环境比较稳定的条件下, 种群会保持在平衡的密度, 又称为平衡种。这种生物寿命长, 出生率低, 个体一般都比较大。本试验中, 青岛大扁藻属于 r -选择种, 而孔石莼属于 K -选择种。

试验中低接种浓度 (共养 a) 的青岛大扁藻对孔石莼生长没有影响, 但是随着接种密度的上升, 青岛大扁藻对孔石莼出现了显著的抑制作用。

微藻抑制孔石莼生长的原因推测可能有以下 3 点: 微藻与孔石莼之间的生态位重叠, 它们共同消耗资源, 共同占用有限的空间, 作为 K -选择的孔石莼竞争不过 r -选择的青岛大扁藻, 因而遭到微藻的抑制; 随着微藻的繁殖, 微藻的密度逐渐加大, 会对大型海藻 (孔石莼) 产生遮光效应, 使大型海藻的光合作用效率降低, 从而抑制了孔石莼的生长; 不同的藻类之间产生相克现象^[11-13], 使微藻抑制了孔石莼的生长。

从孔石莼对微藻生长的影响研究发现, 初始阶段孔石莼抑制微藻的生长, 但是在生长的后期会促进微藻的生长。关于大型海藻抑制微藻生长的现象在许多研究中曾有报道: 早在 1949 年 Marshall 和 Orr 对英国的一个浅海湾施肥时, 他们发现只有在大型海藻缺乏的情况下, 才会有微藻的赤潮^[12]; 在 1989 年对 South California 的 Tijuana 海湾长达一年的观察中, Fong 发现大型海藻与微型海藻的出现呈负相关性, 两者的丰度随空间和季节而变化^[13-15]; 南春容和董双林对大型与微型海藻间的营养盐竞争进行的研究发现, 大量的大型海藻会抑制微藻的生长^[13, 16]。在本试验后期, 孔石莼又显著地促进微藻的生长, 这一结果与 Sfriso 的结果相一致。Sfriso 对威尼斯盐湖的调查显示, 浮游植物的赤潮仅在海藻腐烂、收获之后或是在极度富营养区域才会出现^[17]。微藻在后期出现显著的快速生长, 其原因可以推测为以下两点: 不同藻类之间产生相克现象, 微藻为了适应环境, 本身受到孔石莼的刺激而迅速增殖; 在试验后期, 孔石莼在竞争中逐渐处于被动地位, 自身生活的生境恶化导致孔石莼的腐烂, 腐烂产生一些物质反而为微藻的生长提供了营养, 促进了微藻的生长。

3.2 UV-B 辐射对孔石莼和青岛大扁藻生长的影响

试验中 UV-B 辐射对孔石莼的生长始终处于抑制状态, 而对不同初始接种密度的青岛大扁藻生长的影响却有所不同。低剂量 (U-1) 的 UV-B 辐射对青岛大扁藻的生长有促进作用; 但是随着 UV-B 辐射剂量的增加又对青岛大扁藻的生长有显著的抑制作用。

UV-B 辐射对植物生长的影响已有许多报道。大量研究表明, PSII 是类囊体膜上光合作用的最敏感部位, 也是光合作用受限制的主要部分。植物的光合作用受到影响其生长也必然会受到限制。另外, UV-B 辐射还可以诱导产生 ROS 和伤害植物体的 DNA, 进而影响植物的生长。

低剂量 (U-1) 的 UV-B 辐射对于青岛大扁藻的生长并未表现出抑制效应, 相反出现了促进效应, 这种现象与前人在研究有机锡对海洋微藻毒性效应时得出的结果相类似^[19-21]。植物在遭弱胁迫情况下, 往往表现出促进作用, 这可能是由于植物的抗逆性起作用, 刺激植物生长。Stebbing^[20]指出: 毒物在低浓度下出现这种增益现象是其在无毒情况下的刺激反应, 他把这一作用称为“毒物的兴奋效应”。王悠等^[18]和于娟等^[22]选用海水养殖中常用的几种海洋微藻进行试验, 同样出现了类似的刺激生长现象。说明在低剂量 UV-B 辐射处理下海洋微藻的兴奋效应具有一定的普遍性。

3.3 UV-B 辐射对孔石莼-青岛大扁藻之间生长关系的影响

在共培养的同时附加 UV-B 辐射处理的情况下, 各初始接种密度的青岛大扁藻对孔石莼生长的抑制作用与共养相比更加明显。青岛大扁藻对孔石莼的生长有抑制作用, UV-B 辐射对孔石莼的生长亦有显著的抑制作用, 在二者的共同作用下, 孔石莼的生长受到了更加显著的抑制作用。

反之, 青岛大扁藻生长受到 UV-B 辐射的抑制作用也非常显著。但是与单养青岛大扁藻生长在低剂量 UV-B 辐射情况下受到促进效应不同, UV-B 辐射处理后, 共养青岛大扁藻的生长并未出现促进生长的现象。孔石莼在初始阶段对青岛大扁藻的生

表 1 青岛大扁藻对孔石莼生长的抑制率

Table 1 The inhibitable ratio in the growth of *Ulva pertusa* by *P. helgolandica*

微藻种 microalgae strains	青岛大扁藻 <i>P. helgolandica</i>		
接种浓度 (10^4 cell/ml) Inoculation concentration	0.01	0.1	1.0
12 d 抑制率 (%) Inhibition rate	-	11.9	21.2

长有抑制作用,低剂量的UV-B 辐射虽然会对青岛大扁藻的生长有显著的促进作用,但是在孔石莼和UV-B 辐射的共同作用下,青岛大扁藻的生长也更易受到抑制,促进青岛大扁藻生长的“兴奋效应”也随之消失或所需的剂量变小。

3.4 孔石莼和青岛大扁藻形态上对UV-B 辐射的响应

在经过UV-B 辐射后,孔石莼叶片上的色素体出现了不均匀现象,而且叶片加厚。这是植物的抗逆性在起作用。植物体经UV-B 辐射后会有一些色素体重组和一些苯酚类物质的综合,从而产生了新的色素和物质来抵抗UV-B 辐射^[23,24],所以叶片的色素体不是很均匀。而叶片加厚现象可能是由于UV-B 辐射对植物基因产生伤害,进而转变为植物表型变化,这一过程的信号传导机理还不清楚,需要进一步研究^[25]。

由于微藻体积较小,所以表现现象变化并不明显。因青岛大扁藻具有四根鞭毛,游泳能力非常强,经过UV-B 辐射后会发现聚团现象,这也是一种自我保护行为。

References

- [1] Yan B and Dai Q J. Effects of Ultraviolet-B radiation on active oxygen metabolism and membrane system of rice leaves. *Acta Phytophysiologica Sinica*, 1996, **22**: 373~ 378
- [2] Qi Y Z, Huang C J and Ying Z H. The ecological effects of UV radiation on a toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1997, **28**(2): 113~ 119
- [3] Tevini M and Teramura A H. UV-B Effects on terrestrial Plants, *Photochemistry and Photobiology* 1989, **50**, 479~ 488
- [4] Ryan K G. UV radiation and photosynthetic production in Antarctic sea ice microalgae. *J. Photochem. Photobiol. B* 1992, **13**: 235~ 240
- [5] Brian L B, Nathalie B R. Ultraviolet radiation and distribution of the solitary ascidian *Corella inflata* (Huntsman). *Biol Bull*, 1999, **196**: 94~ 104
- [6] Krizek D T, Britz S J, Mirecki R M. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. New Red Fire lettuce. *Physiologia Plantarum*, 1998, **103**: 1~ 7
- [7] Helbling E W, Chalker E E, Dunlap W C, et al. Photoacclimation of Antarctic marine diatoms to solar ultraviolet radiation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1996, **204**, 85~ 101
- [8] Tang X X, and Li Y Q. Relationship between monocotrophes resistance and antioxidization in four species of marine microalgae. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, **31**(4): 414~ 418
- [9] Keating K I. Blue-green algal inhibition of diatom growth: transition from mesotrophic to eutrophic community structure. *Science*, 1978, **199**: 971~ 973
- [10] VanDonk E, Van de Bund W J. Impact of submerged macrophytes including charophytes on phyto- and zooplankton communities: allelopathy versus other mechanisms. *Aquatic Botany*, 2002, **72**: 261~ 274
- [11] Nan C R and Dong S L. A preliminary study of the suppression of phytoplankton by *Ulvapertusa*: The effects of algal density and phosphorus to concentration. *Journal of Ocean University of China*, 2004, **34**(1): 48~ 54
- [12] Marshall S M and Orr A P. Further experiments on the fertilization of a sea loch (Loch Craiglin). *Journal of Marine Biology Association UK*, 1949, **27**: 360~ 379
- [13] Fong P, Zedler J B and Donohoe R M. Nitrogen versus phosphorus limitation of algal biomass in shallow coastal lagoons. *Limnology and Oceanography*, 1993, **38**: 906~ 923
- [14] Fong P and Zedler J B. Temperature and light effects on the seasonal succession of algal communities in shallow coastal lagoons. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1993, **171**: 159~ 172
- [15] Fong P, Foin T C and Zedler J B. A simulation model of lagoon algal based on nitrogen competition and internal storage. *Ecological Monographs*, 1994, **64**: 225~ 247
- [16] Nan C R, Dong S L, Jin Q. Competition between *Platymonas subcordiformis* and *Ulvapertusa* under various phosphorus concentrations and pulses. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2003, **33**(1): 029~ 035
- [17] Sfriso A, Pavoni B and Marcomini A. Macroalgae and phytoplankton standing crops in the central Venice lagoon: primary production and nutrient balance. *Scitotal Environ*, 1989, **80**: 139~ 159
- [18] Wang Y, Yang Z, Tang X X. The sensitivity variability of seven species of marine microalgae to the influence of UV-B radiation. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2002, **22**(2): 225~ 230
- [19] Beaumont A R and Newman P B. Low levels of tributyltin reduce growth of marine microalgae. *Mar Pollut Bull*, 1986, **17**(10): 457~ 461
- [20] Stebbing A R D. Hommesis-the stimulation of growth by low levels of inhibitors. *Scitotal Environ*, 1982, **22**: 213~ 234

- [21] Gao S D, Wu Y P, Zhao X Y. The physiological effects of organotin on marine microalgae I. Effects of organotin on photosynthetic pigments of two marine phytoplankton *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1994, 25(3): 259~ 265
- [22] Yu J, Tang X X, Tian J Y. Joint toxic effects of anthracene and UV-B radiation on *Nitzschia closterium* and *Phaeodactylum*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2002, 9(2): 157~ 160
- [23] Ouellet J L, T-M, Amundson R, Raba R G, Last R L. A rhabdopsis flavonoid mutants are hypersensitive to UV-B irradiation *Plant Cell*, 1993, (5): 171~ 179
- [24] Reuber S, Bornman J F and Weissenböck G. A flavonoid mutant of barley (*Hordeum vulgare* L.) exhibits increased sensitivity to UV radiation in the primary leaf *Plant Cell Environment*, 1996, (19): 593~ 601
- [25] Jenkins G I, Fuglevand G and Christie J M. UV-B perception and signal transduction. In: P Lumden Ed *Plants and UV-B, Responses to Environmental Change*, Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 135~ 156

参考文献:

- [1] 晏斌, 戴秋杰. 紫外线B 对水稻叶组织中活性氧代谢及膜系统的影响 *植物生理学报*, 1996, 22: 373~ 378
- [2] 齐雨藻, 黄长江, 应浙鸿, 等. 紫外光对有毒甲藻塔玛亚历山大藻的生态学效应 *海洋与湖沼*, 1997, 28(2): 113~ 119
- [8] 唐学玺, 李永祺. 4 种海洋微藻对久效磷的抗性与其抗氧化能力的相关性 *海洋与湖沼*, 2000, 31(4): 414~ 418
- [11] 南春容, 董双林. 大型海藻孔石莼抑制浮游微藻生长的原因初探 *中国海洋大学学报*, 2004, 34(1): 48~ 54
- [16] 南春荣, 董双林, 金秋. 不同磷浓度及脉冲方式下孔石莼与亚心形扁藻间竞争的实验研究 *青岛海洋大学学报*, 2003, 33(1): 029~ 035
- [18] 王悠, 杨震, 唐学玺, 等. 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*, 2002, 22(2): 225~ 230
- [21] 高尚德, 吴以平, 赵心玉. 有机锡对海洋微藻的生理效应 I. 三苯基锡和三丁基锡对光合色素含量的影响 *海洋与湖沼* 1994, 25(3): 259~ 265
- [22] 于娟, 唐学玺, 田继远. 莼与 UV-B 辐射共同作用对 2 种海洋微藻的毒性效应 *中国水产科学*, 2002, 9(2): 157~ 160