

4 种南极冰藻的生化组成对 UV - B 辐射增强的响应

缪锦来¹, 阚光锋², 姜英辉¹, 张波涛¹, 李 灏², 侯旭光³, 李光友¹

(1. 国家海洋局 海洋生物活性物质重点实验室, 山东 青岛 266061; 2. 中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003; 3. 山东大学 生命科学院, 山东 济南 250100)

摘要 : 实验室人工模拟南极 UV - B 辐射环境, 对南极冰藻的生化组成变化进行了测定和分析, 结果表明, UV - B 辐射增强 ($70 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) 后, 4 种南极冰藻的总蛋白含量显著减少, 其中脯氨酸、羟脯氨酸等 6 种氨基酸增加, 谷氨酸、缬氨酸等减少; 总脂含量明显增加, 绿藻增加 30% 以上, 硅藻增加超过 15%; 饱和脂肪酸含量降低, 不饱和脂肪酸含量增加, 并且产生了一些新的不饱和脂肪酸; Mg、Na 和 Al 元素的含量显著降低, 而 Fe、Ca、Zn、Mn 等含量却明显增加。总体来说, 4 种南极冰藻的灰分含量显著下降, 有机成分明显增加。表明了南极冰藻对 UV - B 增强的积极响应, 能调整自身对强辐射环境的适应性, 这为深入研究冰藻对南极强辐射环境的适应性提供了科学依据。

关键词 南极冰藻 绿藻 硅藻 UV - B 响应

中图分类号 Q946 **文献标识码** A **文章编号** : 1000 - 3096(2004)09 - 0026 - 06

栖息于极地环境海冰表面、内部和底部的南极冰藻群落, 是极地生态系统中的重要初级生产力^[1,2]。由于南极独特的地理及气候特征, 形成了一个严寒、低光照、强辐射的自然环境。近几十年来, 臭氧层的严重破坏出现了南极臭氧空洞, 而且空洞越来越大, 导致到达地表的 UV - B 不断增强。南极冰藻能够生长在严酷的极地环境并且大量的繁殖, 必定具有适应这种极端环境的特殊生理机制。在长期的进化过程中, 这种适应性可能是分子水平上的改变, 引起生化组成和含量的改变。然而, 对南极冰藻的生化组成研究报道很少^[3]。作者研究了在紫外线辐射增强条件下 4 种南极冰藻蛋白质、脂类的含量和组成, 以及无机离子含量等的变化, 探讨它们的组成变化及其与 UV - B 适应性的关系, 并从中筛选出优势藻株, 以期为深入研究南极冰藻对强辐射环境适应性, 以及从中提取抗辐射、抗肿瘤和自由基清除剂等活性物质等提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 4 种南极冰藻藻种及培养条件

所用藻种为绿藻 L - 1(*Pyramidomonas* sp.)、绿藻 L - 4(*Chlorophyceae*)、硅藻 H - 1(*Biddulphia* sp.) 和硅藻 H - 2(*Coscinodiscus* sp.), 均由国家海洋局海洋生物活性物质重点实验室提供。将处于对数生长期的 4

种南极冰藻分别接种于 100 mL 的器皿中 (接种量 20%), 白光 (滤除 UV - B 和 UV - C) 光源, 光强为 $1\ 300 \sim 1\ 900 \text{ lx}$ (JD - 3 型光照计, 上海市嘉定学联仪表厂); 2 根 8W 的 UV - B (312 nm) 灯管 (北京师大光电仪器厂制造), UV - B 灯管用乙酸纤维素薄膜 (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, 离培养皿 20 ~ 40 cm; 培养皿中加入灭菌过的搅拌子, 在磁力搅拌器上缓慢搅动培养液。试验中控制 UV - B 辐射强度分别为 0、 $70 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 两个组 (UV - B 型紫外线辐照计, 北京师大光电仪器厂。Jennifer 等^[4]报道, 南极地区 66°S 夏季地面的紫外线辐射强度最强可达到 $50 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, 比较而言本试验 $70 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 为增强值), 紫外光照周期 L : D 为 12 h : 12 h。无 UV - B 辐照 ($0 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) 并且

收稿日期 2003 - 08 - 11 修回日期 2003 - 12 - 10

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (40206022)

作者简介 缪锦来 (1968 -), 男, 江西全南人, 博士, 研究员, 主要从事极端环境微生物学研究, E - mail : miaojinlai@163.com

其它条件相同,为对照组。培养 10 d 收获藻体,藻泥冷冻干燥。

1.2 分析测定方法

蛋白质含量:采用 DK20 Heating Digster 消化仪,程序升温。盐酸滴定。

总脂 索氏抽提法。

无机元素分析: optima 3 000 全谱直读等离子体光谱仪。

灰分:将预先称重的 4 种冰藻样品置于马福炉(500 ℃)中灼烧,直至质量不变,冷却后称量。

氨基酸分析:冰藻样品经 6 mol/L 盐酸处理,HI-

TACHI835 型氨基酸自动分析仪测定。

脂肪酸分析:采用 Cohen(1993) ^[5] 的方法处理冰藻样品,GC112 型气相色谱仪测定。

2 结果

2.1 4 种南极冰藻的基本生化组成及其随

UV-B 辐射增强的变化

从表 1 中可以看出,辐射增强后,4 种南极冰藻的 3 种主要生化成分含量变化明显,蛋白质含量都显著降低。就蛋白质的变化来说,硅藻 H-2 减少 21.43%,下降幅度最大;绿藻 L-4 减少 14.44%,下

表 1 4 种南极冰藻在 UV-B 辐射后其蛋白质和总脂含量(%)

Tab.1 Contents (%) of protein and total lipid of 4 Antarctic ice microalga

成分	绿藻 L-1		绿藻 L-4		硅藻 H-1		硅藻 H-2	
	(-)UV-B	(+)UV-B	(-)UV-B	(+)UV-B	(-)UV-B	(+)UV-B	(-)UV-B	(+)UV-B
蛋白质	26.97	21.70	44.82	38.35	40.95	35.08	29.03	22.81
总脂	14.86	19.66	14.61	20.13	15.37	18.24	18.87	22.11

注:(-)UV-B 表示没有紫外辐射;(+)UV-B 表示 70 μW/cm² 的辐射。下同。

降幅度最小。4 种南极冰藻的总脂含量明显增加,绿藻的总脂含量增加 30% 以上,特别是绿藻 L-4 的总脂含量增幅达到 37.78%,2 种硅藻的总脂含量增加相近,都超过 15%。

2.2 4 种南极冰藻的主要无机元素组成及其随 UV-B 辐照增强的变化

紫外线辐射增强后,4 种南极冰藻中 Mg、Na 和 Al 元素含量明显下降(表 2),而 Fe、Ca、Zn、Mn 等金属元素的含量都明显增加。其中 Mn 元素增幅最大,在 62.98%~136.63%之间,Zn 增幅第二,在 7.26%~

49.30%之间,Ca 元素增幅第三,绿藻 L-1 的 Ca 含量增加最大,达到 48.21%,硅藻 H-2 的 Ca 含量增加最小(7.97%)。Fe 增幅最小,在 3.22%~6.30%之间。Si、P、K 等其它元素在有的藻中含量增加,而在有的藻中含量下降,没有规律性。

紫外辐射增强后,4 种南极冰藻的灰分含量显著降低。硅藻 H-2 下降幅度最大,达到 9.10%,绿藻 L-4 下降最小,为 4.74%。

2.3 4 种南极冰藻氨基酸组成及其随 UV-B 辐射增强的变化

表 2 4 种南极冰藻在 UV-B 辐射增强后无机元素组成(mg/kg)以及灰分含量(%)

Tab.2 Inorganic element composition and contents (mg/kg) and ash contents (%) of 4 Antarctic ice microalga

元素	绿藻 L-1		绿藻 L-4		硅藻 H-1		硅藻 H-2	
	(-)UV-B	(+)UV-B	(-)UV-B	(+)UV-B	(-)UV-B	(+)UV-B	(-)UV-B	(+)UV-B
Fe	3 237	3 441	3 887	4 012	5 413	5 649	10 841	11 422
Ca	10 145	15 036	7 372	7 618	23 906	26 843	33 252	35 901
Mg	86 511	73 633	27 841	24 151	13 620	10 505	22 175	19 867
P	5 349	5 320	12 033	12 937	5 664	5 899	21 071	20 361
K	643	563	4 851	3 705	7 648	7 585	7 259	7 347
Na	10 768	6 697	5 112	3 931	58 022	44 628	64 483	51 644
Si	843	720	293	365	335	472	2 870	2 216
Al	331	263	421	387	949	894	1 088	992
Mn	161	334	229	540	273	646	597	973
Zn	213	311	336	475	430	642	661	709
灰分	21.29	13.71	14.35	9.61	19.76	12.58	30.89	21.79

紫外线辐射增强后,4种南极冰藻氨基酸的组成和含量都发生了明显的变化(表3),总氨基酸和必需氨基酸的含量都明显减少。总氨基酸的减少范围在14.67%~22.65%,必需氨基酸在11.22%~20.79%。紫外辐射增强后,原来只有绿藻L-4含有

的羟脯氨酸在其它3种冰藻中也都出现了,但仍以绿藻L-4的含量最高(0.404 mg/mg)。4种南极冰藻中含量都增加的氨基酸有:亮氨酸、异亮氨酸、蛋氨酸、组氨酸、脯氨酸和羟脯氨酸;含量都减少的氨基酸有:缬氨酸、苯丙氨酸、精氨酸、谷氨酸、丙氨酸、胱氨酸和

表3 4种南极冰藻在UV-B辐射增强后其氨基酸组成

Tab.3 Amino acid composition and contents of 4 Antarctic ice microalga

氨基酸	绿藻 L-1		绿藻 L-4		硅藻 H-1		硅藻 H-2	
	(-)UV-B	(+)UV-B	(-)UV-B	(+)UV-B	(-)UV-B	(+)UV-B	(-)UV-B	(+)UV-B
Thr	1.436	1.202	2.511	1.748	1.540	1.610	1.176	1.221
Leu	1.757	1.869	1.985	2.256	2.330	2.648	2.030	2.390
Ile	1.308	1.617	2.337	3.432	2.278	2.472	1.761	1.980
Val	3.208	2.496	5.836	4.363	4.873	3.859	3.264	2.776
Met	0.385	0.517	0.602	0.997	0.596	0.769	0.451	0.663
Phe	1.481	0.606	2.229	1.503	1.399	0.718	1.379	0.619
Lys	0.980	1.045	2.191	1.037	2.981	2.132	2.840	0.790
Arg	1.492	1.147	3.372	2.116	2.529	2.094	2.029	0.979
His	0.138	0.255	0.163	0.293	0.211	0.344	0.189	0.368
Glu	2.599	1.454	6.661	5.663	5.604	4.471	2.567	2.137
Asp	2.644	1.616	3.744	3.917	3.991	3.362	2.748	1.888
Gly	1.256	1.159	2.576	2.600	1.455	1.533	1.655	1.201
Ser	0.852	0.826	2.858	1.874	2.365	2.287	1.027	1.118
Ala	2.560	2.433	2.209	2.007	2.558	2.212	2.011	1.250
Cys	0.668	0.503	1.080	1.003	-	-	0.570	0.417
Tyr	1.353	0.912	2.068	0.869	2.092	0.933	1.567	0.767
Pro	0.429	0.813	0.785	1.022	0.730	1.180	-	0.365
Pro-OH	-	0.230	0.323	0.404	-	0.084	-	0.043
Trp	0.730	0.331	0.080	0.107	1.161	1.020	0.872	0.880
∑AA	25.268	21.031	43.610	37.211	38.793	33.728	28.136	21.764
∑EAA	12.915	11.085	21.306	17.852	19.898	17.666	15.991	12.666
∑EAA/∑AA	51.11%	52.71%	48.86%	47.98%	51.29%	52.38%	56.83%	58.20%

注:AA表示氨基酸;EAA表示必需氨基酸;表中数据为每100g干样品中的含量,单位为mg。

色氨酸。

2.4 4种南极冰藻的脂肪酸组成及其随UV-B辐射增强的变化

4种南极冰藻脂肪酸组成的测定结果见表4。紫外线辐射增强后,冰藻中出现了新的脂肪酸C22:6,2种绿藻中新出现了C20:5,2种硅藻中发现了C18:4。4种南极冰藻中含量都下降的脂肪酸包括:C12:0,C14:0,C16:0,C16:1,C18:2,C18:3;含量升高的脂肪酸有C16:4,C18:4,C20:5,C22:6。其它成分没有统一的变化趋势。

紫外线辐射增强后,4种南极冰藻的饱和脂肪酸含量都明显下降,下降幅度为18.15%~43.31%。除

绿藻L-4略有增加外(3.97%),其它3种冰藻的单一不饱和脂肪酸都明显下降(11.70%~19.80%)。多不饱和脂肪酸的含量都明显升高,升高幅度为4.38%~25.13%。

3 讨论

3.1 4种南极冰藻基本生化组成和变化同其对UV-B辐射增强的响应

蛋白质是藻类的两大生命物质之一,是其进行新陈代谢的前提和基础。藻类中的蛋白质在抗UV-B中起着极其重要的作用,有研究发现,暴晒在UV-B中的一种蓝藻*Synechococcus* sp. PCC7942能很快合成

表 4 UV-B 辐射增强后 4 种南极冰藻脂肪酸的组成(相对含量,%)

Tab.4 Fatty acid composition and contents (%) of 4 Antarctic ice microalgae

脂肪酸	绿藻 L-1		绿藻 L-4		硅藻 H-1		硅藻 H-2	
	(-)UV-B	(+)UV-B	(-)UV-B	(+)UV-B	(-)UV-B	(+)UV-B	(-)UV-B	(+)UV-B
C12 ∶	1.12	0.99	0.51	0.49	0.46	0.36	0.97	0.78
C14 ∶	2.44	2.18	2.38	2.13	7.83	6.18	8.66	7.56
C14 ∶	4.49	4.32	2.57	3.52	1.48	1.13	2.16	2.59
C16 ∶	17.63	8.79	11.03	7.16	14.76	10.02	11.14	8.76
C16 ∶	8.23	6.45	6.60	6.27	32.81	27.14	25.79	20.24
C16 ∶	3.67	5.10	21.25	17.38	3.18	5.603.49	3.23	
C16 ∶	2.61	3.43	1.45	2.44	5.38	4.38	6.28	5.88
C16 ∶	19.98	24.98	20.05	24.20	3.96	5.06	5.31	8.55
C18 ∶	0.33	0.24	0.51	0.70	0.42	0.61	1.77	1.35
C18 ∶	1.21	0.59	5.19	4.41	0.47	1.40	0.50	0.99
C18 ∶	5.35	3.45	8.01	7.08	8.70	7.07	6.7	6.44
C18 ∶	8.22	4.73	14.14	8.30	0.19	0.10	0.40	0.29
C18 ∶	18.37	25.24	4.50	8.91	-	3.43	-	2.04
C20 ∶	4.40	3.34	0.25	0.99	0.11	1.12	0.21	0.83
C20 ∶	1.63	2.48	1.22	1.07	4.49	5.93	4.60	4.50
C20 ∶	-	2.00	-	1.66	14.49	17.33	21.53	24.08
C22 ∶	-	1.12	-	2.67	-	1.64	-	1.22
其它	0.32	0.57	0.34	0.62	1.27	1.50	0.49	0.67
Σ SFA	21.52	12.20	14.43	10.48	23.47	17.17	22.54	18.45
Σ MUFA	18.33	14.70	14.61	15.19	34.87	30.79	28.66	24.65
Σ PUFA	59.83	72.53	70.62	73.71	40.39	50.54	48.31	51.73

注 ∶ SFA 表示饱和脂肪酸 ∶ MUFA 表示单不饱和脂肪酸 ∶ PUFA 表示多不饱和脂肪酸。

抗 UV-B 的蛋白质^[6]。在南极极端恶劣的生长条件下,冰藻生存所需的蛋白质含量比一般海洋微藻要相对高一些。Huaug 等^[7]对 4 种硅藻的研究结果也得出了相似的结果。有资料表明^[8],在不同的生长条件下(如光照、温度和营养盐限制),南极冰藻蛋白质的含量会发生变化,这是因为细胞内的功能蛋白要维持细胞的正常功能之故。UV-B 辐射后,4 种南极冰藻的蛋白质含量明显减少(表 1),一方面是由于具有抗辐射活性的蛋白质、糖蛋白及氨基酸色素等物质的大量合成和分泌到胞外,用以消除紫外线作用于水体产生的羟自由基等对细胞的危害^[9];另一方面,由于要用合成抗 UV-B 的多糖、脂肪酸、色素类物质等,而影响了细胞内蛋白质的合成。

脂肪通常作为南极冰藻细胞内的储存物质,为南极冰藻在冬季黑暗生存提供碳源和能源。Smith 等指出南极冰藻硅藻细胞中的脂肪酸含量可占细胞干重的 16%~24%,与本研究的结果基本一致。浮游植物中富含脂肪酸,它与脂肪同是上一级消费者的必须组成成分^[11]。UV 辐射能改变生物体中脂肪酸和营养水

平,从而直接影响食物链中次级消费者食物的结构和功能。Smith 等^[11]对 3 种南极浮游生物进行了研究,低剂量 UV-B 下, *Phaeocystis antarctica* 贮存型脂肪减少,结构型脂肪增加,多不饱和脂肪酸所占比例升高。Gombos^[12]把 desA 基因转到一种蓝藻(*Synechococcus* sp. PCC 7942)中,发现膜中脂肪的不饱和程度增加了,因而提高了该藻的抗辐射能力。

本研究表明,4 种南极冰藻的灰分含量较一般的海洋微藻低^[13,14],相对含有更多的有机成份,可提高对南极极端环境的适应性。Mg 主要参与微藻光合作用系统,4 种冰藻的 Mg 含量较高,在南极低光照的极端环境中的光合作用效率更高。Ca²⁺具有显著的抗逆性^[15,16],对保护酶系统(SOD、CAT、POD)与脂氧合酶(LOX)活性的双向调节作用有关^[17,18]。微观研究证明,UV-B 损伤发生时,同时伴随着强烈的自由基反应和随之而来的膜系统的氧化^[19]。由于钙在逆境条件下能维持保护酶系统活性,抑制 LOX 效应^[17],降低自由基生成,确保膜结构的完整。因此,南极冰藻细胞内的相对较高的 Ca 水平,是与南极冰藻的抗逆性有

关的。Mn、Zn 等元素是构成 SOD 酶等的活性成分,而 SOD 具有重要的清除自由基功能。本研究表明,南极冰藻中 Ca、Mn、Zn 和 Fe 等元素,在紫外辐射线增强后显著增加,这也可能增强了南极冰藻抗辐射的能力,因而使南极冰藻能够在南极的强辐射环境下长期生存。

3.2 4 种南极冰藻的氨基酸组成和变化同 UV-B 辐射增强的响应

本研究结果表明,4 种冰藻氨基酸组成和含量基本相似,以谷氨酸和缬氨酸含量为最高,组氨酸和色氨酸的含量最少。这表明,谷氨酸和缬氨酸可能在南极冰藻的蛋白质构成中发挥重要的作用,具有高度的保守性,这与先前的对一般海洋微藻的许多报道相一致^[20,21]。在绿藻 L-4 中存在羟脯氨酸,占细胞干重的 0.23%,在生物抗逆生理中发挥重要的作用^[22],故羟脯氨酸在南极冰藻中同样具有抗逆生理的作用。

含芳香环或杂环的氨基酸对蛋白质(包括酶)的生物学功能来说都是不可缺少的,而且它们的残基是酶活性中心的重要基团。芳香环和杂环中的共轭双键对 UV-B 有强烈的吸收,在 UV-B 的作用下转变为活性很强的激发态,使本身所在的蛋白质分子的空间结构发生改变,失去原有的生物活性。因此,在紫外线辐射增强的情况下,这类氨基酸有可能减少。本研究中紫外线辐射增强后 4 种南极冰藻中色氨酸、胱氨酸和苯丙氨酸等含量都减少;组氨酸、脯氨酸和羟脯氨酸等含杂环的氨基酸含量增加,虽然它们的含量都较少,而且在原来没有脯氨酸和羟脯氨酸的藻种中也出现,说明这几种氨基酸可能在南极冰藻的抗辐射机理中发挥重要的作用。

3.3 4 种南极冰藻脂肪酸组成和变化同 UV-B 辐射增强的响应

与一般海洋微藻相比^[11],4 种南极冰藻脂肪酸组成的特点为:脂肪酸链的不饱和度高的含量较一般海洋微藻高;4 种南极冰藻的饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸的含量较一般海洋微藻低,而其多不饱和脂肪酸含量却均较高,2 种绿藻 PUFA 的含量高于 2 种硅藻的。正如 Thompson^[23]所指出的,生存环境变化可以影响到南极冰藻膜脂的组成,包括双键的引入、脂肪酸链长度的降低和改变组成成分等。紫外线辐射增强后,4 种南极冰藻的饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸都明显下降(除绿藻 L-4 略有升高外),而多不饱和脂肪酸的含量却明显升高。这表明多不饱和脂肪酸可能在南极冰藻的抗紫外辐射方面起着重要的

作用。

鉴于南极冰藻生活在南极强辐射环境中,南极冰藻中极有可能含有抗辐射活性的蛋白质、多不饱和脂肪酸等活性物质,因此,分析紫外线辐射增强后南极冰藻的生化组成及其变化,不仅可以从细胞的生化水平上探讨南极冰藻对南极强辐射环境的适应性,而且可以为从南极冰藻中获取抗紫外线辐射活性物质提供基础工作。本研究证明,UV-B 辐射增强会诱导南极冰藻中一些相关物质含量的增加,特别是一些新的生化成分的产生,这些与抗紫外辐射活性相关的基本生化成分在南极冰藻适应南极强辐射环境中起着非常重要的作用。

参考文献:

- [1] Garrison D L, Sullivan C W, Ackley St F. Sea ice microbial communities in Antarctica[J]. *Bioscience*, 1986, 36: 243 - 250.
- [2] Sarah M G, Sullivan C W. Sea ice microbial communities V. The vertical zonation of diatoms in an Antarctic fast ice community[J]. *J Phycol*, 1985, 21: 401 - 409.
- [3] Whitaker C, Barish I, Bischoff B, *et al*. Temperature requirements and biogeography of Antarctic, Arctic and amphiequatorial sea weeds[J]. *Bot Mar*, 1994, 37: 247 - 259.
- [4] Jennifer H S, Andrew D D, Peter D N, *et al*. Effect of UV-B on Lipid Content of Three Antarctic Marine Phytoplankton[J]. *Phytochemistry*, 1998, 49(4): 999 - 1007.
- [5] Cohen Z, Norman H A. Potential use of substituted pyridazinones for selecting polyunsaturated fatty acid overproducing cell lines of algae[J]. *Phytochemistry*, 1993, 32: 259 - 264.
- [6] Campbell D. The cyanobacterium *synechococcus* resists UV-B by exchanging photosystem 2 reaction center D1 protein[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1998, 95(1): 364 - 371.
- [7] Huang M-T, Farraro T. Phenolic compounds in food and cancer prevention[A]. Huang M-T (eds), Phenolic compounds in feed and their effects on health II, antioxidants and cancer prevention[C]. Oxford: Charendon press, 1992, 507: 207 - 220.
- [8] Smith R C, Prezelin B B, Baker K S, *et al*. Ozone depletion: ultraviolet radiation and phytoplankton biology in Antarctic waters[J]. *Science*, 1992, 255: 952 - 959.
- [9] Zlotnik I, Dubinsky Z. The effect of light and temperature on DOC excretion by phytoplankton[J]. *Limnol Oceanogr*, 1989, 34: 831 - 839.
- [10] Smith R E H, Morris I. Synthesis of lipid during photo-

- synthesis by phytoplankton of the southern ocean[J]. *Science*, 1980, 207: 197 – 198.
- [11] Smith R C, Prézélin B B, Baker K S, *et al.* Effect of UV – B on lipid content of three Antarctic marine phyto – plankton[J]. *Phytochemistry*, 1998, 49: 999 – 1 007.
- [12] Gombos Z, Kanervo E, Tsvetkova N, *et al.* Genetic enhancement of the ability to tolerate photoinhibition by introduction of unsaturated bonds into membrane glycerolipids[J]. *Plant Physiol*, 1997, 115: 551 – 559.
- [13] Mykkestad S. Production of carbohydrates by marine planktonic diatoms I. Composition of nine different species in culture[J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1974, 15: 261 – 264.
- [14] Marshall H D. The overwintering strategy of Antarctic krill under the pack – ice of the Weddell Sea[J]. *Polar Biol*, 1988, 9: 129 – 135.
- [15] Monroy A F, Dhindsa R S. Low temperature signal transduction: induction of cold acclimation – specific genes of alfalfa by calcium at 25 °C[J]. *Plant Cell*, 1995, 7: 321 – 331.
- [16] Williamson R E, Ashley C C. Free Ca²⁺ and cytoplasmic streaming in the alga *Chara*[J]. *Nature*, 1982, 296: 647 – 650.
- [17] 袁清昌, 许长成, 邹琦. 钙及钙和钙调素拮抗剂对小麦幼苗 LOX 活性的影响[J]. *植物生理学通讯*, 1997, 33(4): 266 – 268.
- [18] 周青, 黄晓华, 王东燕等. 钙对酸雨伤害甜瓜幼苗的影响[J]. *植物生态学报*, 1999, 23(3): 186 – 191.
- [19] 宴斌, 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[J]. *植物生理学报*, 1996, 22(4): 373 – 378.
- [20] Brown M R. The amino acids and sugar composition of 16 microalgae used in mariculture[J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1991, 145: 79 – 99.
- [21] Brown M R, Jeffrey S W. Biochemical composition of microalgae from the green algal classes Chlorophyceae and Prasinophyceae. 1. Amino acids, sugars and pigments[J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1992, 161: 91 – 113.
- [22] 赵福庚, 刘友良. 胁迫条件下高等植物体内脯氨酸代谢及调节的研究进展[J]. *植物学通报*, 1999, 16: 1 – 8.
- [23] Thompson G A. Membrane acclimation by unicellular organisms in response to temperature change[J]. *J Bioenergetics Biomembranes*, 1989, 21: 43 – 60.

Responses of bio – chemical compositions of four Antarctic ice microalgae to UV – B irradiation enhancement

MIAO Jin – lai¹, KAN Guang – feng², JIANG Ying – hui¹, ZHANG Bo – tao², LI Hao², HOU Xu – guang³, LI Guang – you²

(1. Key Laboratory of Marine Bio – active Substances, SOA, Qingdao 266061, China; 2. Marine Life College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 3. Life Science College, Shandong University, Jinan 250100, China)

Received: Aug., 11, 2003

Key words: Antarctic ice microalga; green alga; diatom alga; UV – B; responses

Abstract: UV – B irradiation environment in the Antarctic was setup to simulate in lab. changes in biochemical compositions in four algae. The results showed that after the treatment the contents of protein in four Antarctic ice microalga decreased obviously, and the compositions and contents of amino acids consisting of the protein also changed distinctly. Six amino acids, such as Pro and Pro – OH, increased markedly; seven amino acids, such as Glu and Val, decreased obviously. The contents of the total lipid of four Antarctic ice microalga increased obviously. Total lipid contents of two green algae increase by 30% percent, while two diatoms increase by 15%. Moreover, the contents of the unsaturated fatty acids increased while that of saturated fatty acids decreased, and some new compositions were synthesized in four algae. The elemental contents of Mg, Na and Al decreased while that of Fe, Ca, Zn and Mn increased. In all, the content of inorganic compositions decreased, but that of organic compositions increased. The results that main bio – chemical compositions in four algae changed markedly with UV – B enhancement showed that the Antarctic ice microalga responded to the enhancement of UV – B irradiation actively, and adapted themselves to the strong irradiation environment. Further study needs for be done on the adaptation of Antarctic ice microalga to the strong UV – B irradiation environment in Antarctic area.

(本文编辑 张培新)