水华蓝藻生物质对沉水植物五刺金鱼藻生长的影响

李敦海　李根保　王高鸿　陈　坤　陈武雄　刘永定
(中国科学院水生生物研究所,武汉　430072)

摘要:本文研究了蓝藻水华不同的生物质形式对金鱼藻生长和光合活性的影响,结果表明:蓝藻水华的不同生物质形式均不同程度地促进了金鱼藻的生长。在促进金鱼藻植株的长度增长方面,干燥蓝藻的作用最强,新鲜蓝藻次之,腐烂蓝藻作用最弱,但都比对照增长显著。而在促进金鱼藻植株鲜重增长上,干燥蓝藻和新鲜蓝藻的作用几乎相同,为最为明显的;腐烂蓝藻次之;而对照植株的鲜重先增加后下降。在促进金鱼藻分枝上,新鲜蓝藻的作用最强,干燥蓝藻和腐烂蓝藻次之,对照的分枝随时间也逐渐增加,但是要比经过蓝藻处理的试验组少。测定的叶绿素荧光参数表明,干燥蓝藻处理的金鱼藻的光合活性最高,新鲜蓝藻处理组次之,腐烂蓝藻和对照组最低。实验结果表明,不同水华蓝藻生物质在为金鱼藻提供生长所需的营养(或生长促进物质)之时,也产生了一些抑制因素,抑制了金鱼藻的生长。促进因素和抑制因素的协同作用,最终表现在不同生物质对金鱼藻的生长促进作用的差异性上。

关键词:水华蓝藻;生物质;沉水植物;五刺金鱼藻;生长
中图分类号:Q948　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-3207(2007)05-0689-04

沉水植物和浮游植物(包括水华蓝藻)是水生态系统中主要的初级生产者。许多湖泊恢复的研究案例证明,沉水植物能够把浑浊和浮游植物占优势的水体变成清澈和大型水生植物占优势的稳定状态[1,2]。大型沉水植物在中营养和富营养的浅水湖泊中对于清水状态的稳定至关重要[3,4]。但是在我国,由于水体富营养化加剧而使沉水植物逐渐出现消失的态势,而藻类水华在时间和空间上的暴发却越来越频繁。蓝藻是淡水水体藻类水华中的优势种类。水华蓝藻多因细胞内存在伪空胞而具有漂浮的习性,在水面上形成藻类的漂浮层(Algal scum)。这种漂浮层在太阳曝晒和高温下容易干燥或腐烂,从而形成不同的蓝藻生物质形式。不同生物质对沉水植物的生长产生了什么样的影响呢?本文以沉水植物五刺金鱼藻为材料,对这个问题进行了探讨。

1　材料与方法

实验用五刺金鱼藻(*Ceratophyllum oryzetorum* Kom.)采自野外,试验前在实验室内驯化培养约一个月。实验时,采用 80L 的塑料桶培养,每桶装 70L 自来水,各桶均放入相同形态、无分枝、无根、长度为 10cm 的金鱼藻顶端枝条 30 株。将放入金鱼藻后的试验桶分为四个实验组,第一组(标记为"Control")为对照,不加入任何蓝藻水华生物质。第二组(标记为"Freshalgae")加入 250 mL 的新鲜水华蓝藻(采自江苏省无锡市太湖鼋头渚公园内,水华中微囊藻属占绝对优势),第三组(标记为"Dryalgae")加入在阴凉处自然风干的蓝藻生物质 15 g(蓝藻来源同第一组);第四组(标记为"Decomposed")加入自然腐烂后的蓝藻浆 250 mL(蓝藻来源同第一组)。使用的水华蓝藻是以浮游植物网(25 #)采集于无锡太湖梅梁湾,采集时即滤去了水分,以藻浆的形式带回实验室。经过测定,藻浆含水量 94 %。藻浆密度与水的密度基本相同,250 mL 藻浆可得到干燥粉 = 250 % × 6 % = 15 g。实验中使用的所谓"腐烂蓝藻"是将藻浆在室内弱光处放置 48h,在室内高温下很快腐烂变臭,但体积变化不大,因此可以认为 250 mL 中含原始干藻物质为 15 g。

每隔 4 天测定金鱼藻的长度、质量、分枝等指标。在实验的后期,测定了金鱼藻的叶绿素荧光参

收稿日期:2005-12-15;**修订日期**:2006-09-27
基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX2-YW-426);国家"十五"水专项课题(2002AA601013)资助
作者简介:李敦海(1971—),男,博士;副研究员;主要从事藻类环境生物学研究。E-mail:lidh@ihb.ac.cn
通讯作者:刘永定,E-mail:liuyd@ihb.ac.cn, Tel:027-68780731

数 Fv/ Fm ,该比值的大小代表了植物体光合活性的大小 ,同时也显示了植物体受胁迫的程度[5]。测定时用叶片夹夹住金鱼藻的叶片 ,暗适应 10min。然后用植物效率分析仪 (PEA , Hansatech® ,UK) 进行测定。

除金鱼藻的总分枝为 30 株金鱼藻的所有分枝之和外 ,其他数据均为 3 —30 个数据的平均值 ±标准误差(±SE) 。差异的显著性采用 one-way ANOVA 法进行分析。

2 结 果

很显然 ,加入不同的蓝藻生物质后 ,金鱼藻的生长速度都有不同程度的提高。在经过了半个月的培养后 ,各试验组的金鱼藻株 (包括对照组) 都显著增长($p < 0.01$) (图 1) 。对照组在经过前 4 天短暂的增长后 ,就停止了增长。干燥蓝藻生物体处理组金鱼藻生长最快 ,鲜藻处理组次之 ,腐烂蓝藻处理组增长较慢。干燥蓝藻处理组金鱼藻显著长于其他处理组($p < 0.01$) 。

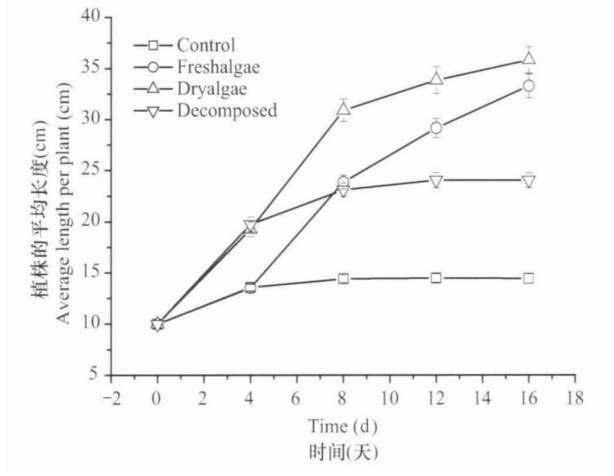


图 1 蓝藻生物质对金鱼藻植株长度的影响

Fig. 1 Influence of different cyanobacterial bio-substances on the plant length of *C. oryzetorum*

在不同蓝藻生物质的处理下 ,金鱼藻鲜重的增长也是很明显的(图 2) 。而对照组金鱼藻的鲜重则在初期增长 ,后期下降。干燥蓝藻和新鲜蓝藻水华处理的金鱼藻鲜重增长最大 ,腐烂蓝藻的处理效果次之。

所有处理组的金鱼藻在开始时都没有侧枝 ,在培养后随着培养时间的延长均出现分枝并逐渐增多。蓝藻生物质处理组的分枝都显著比对照组多($p < 0.01$) 。鲜藻处理组的金鱼藻在培养 16d 后 ,其每株侧枝的平均值要高于其他处理组 ,但差异不显著(图 3) 。

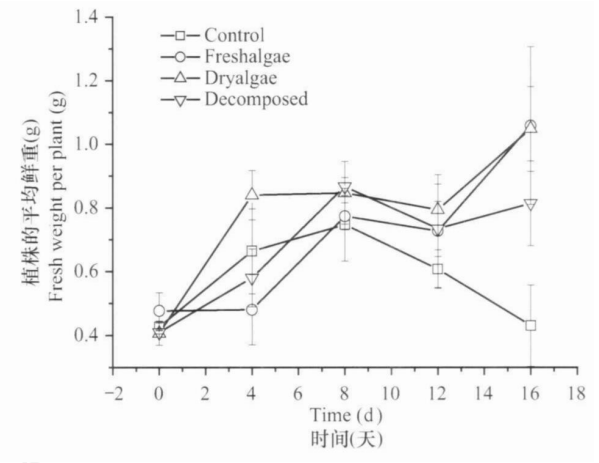


图 2 蓝藻生物质对金鱼藻鲜重的影响

Fig. 2 Influence of different cyanobacterial bio-substances on the fresh weight of *C. oryzetorum*

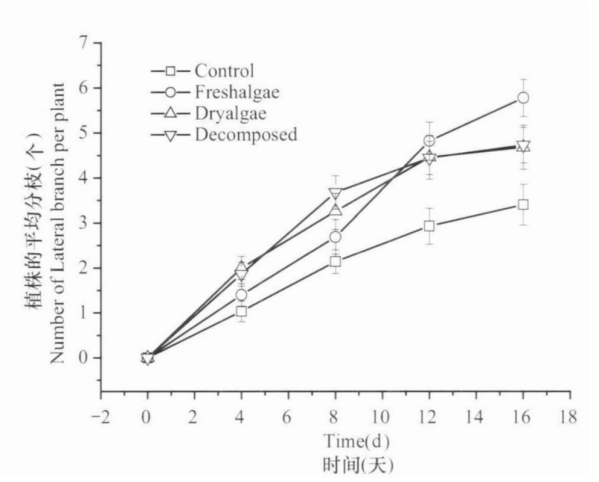


图 3 蓝藻生物质对金鱼藻植株分枝的影响

Fig. 3 Influence of different cyanobacterial bio-substances on the number of branches of *C. oryzetorum*

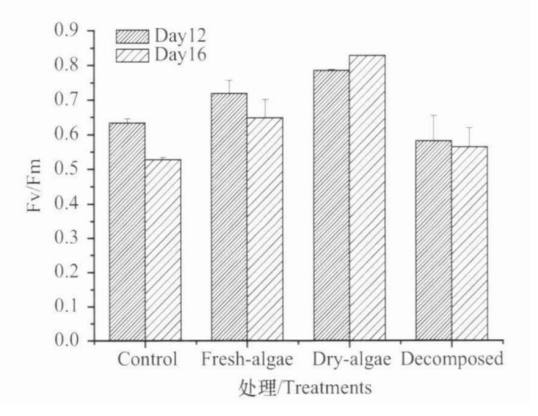


图 4 蓝藻水华生物质对金鱼藻光合活性 Fv/ Fm 的影响

Fig. 4 Influence of different cyanobacterial bio-substances on the photosynthetic activity (Fv/ Fm) of *C. oryzetorum*

在处理的第 16 天除干燥蓝藻处理组的金鱼藻其叶绿素荧光比值 Fv/ Fm 比第 12 天上升外,其他处理组金鱼藻的 Fv/ Fm 比值均比第 12 天时下降(图 4)。但只有对照组显著下降($p < 0.01$),其他组下降不明显。干燥蓝藻处理组金鱼藻的 Fv/ Fm 值最高,新鲜蓝藻处理组次之,对照组和腐烂蓝藻处理组较低。

3　讨　论

本研究培养金鱼藻时使用的是自来水,因此金鱼藻从自来水中获得营养盐进行生长的量就受到了限制。蓝藻水华不同形式生物质的加入,一方面可能会带来营养物质促进金鱼藻生长;另一方面也可能带来抑制物质,抑制其生长。这种现象从所有形式的生物质均促进了金鱼藻的生长,同时其促进作用又存在差异可以得到反映。

在多数研究中,报道的是水生植物对藻类的影响作用[6,7],而忽视了浮游植物对水生植物的影响。水生植物与浮游植物间存在的它感作用是相互的,即它们可以相互影响。藻类,尤其是水华蓝藻,可以通过释放藻类毒素,影响水生植物的生长和发育[8]。微囊藻毒素一般是在细胞破裂后才释放到水体[9],因此,从实验结果可以看到,破碎藻体对金鱼藻无论是在增长、鲜重,还是产生侧枝和光合作用的影响上(图 1—4),与藻类的干物质和鲜物质相比都是促进作用最低的。当然,这固然与破碎藻体释放有毒物质相关,与藻体腐烂后使水体溶解氧降低和细菌活动也有很大的相关性。

藻类还可以产生植物生长促进物质[10],促进高等植物的生长。由实验结果看到,所有形式的藻类生物质,均促进了沉水植物金鱼藻的生长,这种促进作用是与对照相比才显现出来的。假如对照水体使用的是营养丰富的富营养水,也许某些生物质形式对金鱼藻生长的促进作用就不那么明显。因此,这种促进是因为各类形式的生物质均可以向水体中释放营养物质。排除营养物质的促进作用,藻类释放的植物生长促进物质对金鱼藻的生长促进作用表现最明显的是藻类干物质,其次是鲜藻体。这是因为干物质很好地保存了植物生长促进物质,并在湿润后释放到水体,并且避免了藻体由于生长而产生生长抑制物质。而鲜藻体一方面可以释放植物生长促进物质,另一方面又产生植物生长抑制物质,因此对沉水植物金鱼藻的生长促进作用不如藻类干物质明显。正如上面分析,腐烂的藻类物质由于释放有毒物质并降低水体溶氧,但又释放营养物质[11],因此相对于对照而言,对金鱼藻生长有促进作用,但比起其他的生物质形式,对金鱼藻的生长促进作用就显得不是很明显。另外,由于腐烂藻类、新鲜藻类和藻类干燥体所释放的植物促长物质和植物抑制物质的量和类型也可能不同,因此对水生植物的促长作用也表现出了差异性。当然,蓝藻的遮光作用对水生植物的影响,也不可忽视。

在自然界中,这三种形式的藻类生物质都可以发生。在浮游植物旺盛的生长时期,藻类主要以鲜物质形式存在,此时它们与水生植物间的关系即有相互促进也有相互抑制作用。当藻类大量产生并堆积在一起时,由于阳光的暴晒,在藻类水华形成的漂浮层表面,产生藻类的干物质,而在地层,藻类由于厌氧作用而腐烂。因此,在这种情况下,这些物质协调作用,并且由于水体本身的营养物质远高于本实验使用的自来水,可以预见,这些终将对水生植物,尤其是沉水植物的生长甚至生存产生威胁。

参考文献:

[1] Scheffer M, Bakema A H, Wortelboer F G. Megaplant—a simulation model of the dynamics of submerged plants [J]. *Aquat. Bot.*, 1993, **45**: 341—356

[2] Hansson L A, Annadotter H, Bergman E, *et al*. Biomanipulation as an application of food-chain theory: constraints, synthesis, and recommendations for temperate lakes [J]. *Ecosystems*, 1998, **1**: 558—574

[3] Scheffer M. Ecology of shallow lakes [M]. London: Chapman & Hall. 1998, 357

[4] Perrow M R, Meijer M L, Dawidowicz P, *et al*. Biomanipulation in shallow lakes: state of the art [J]. *Hydrobiologia*, 1997, **342/ 343**: 355—365

[5] Li D H, Liu Y D, Song L R. The effect of salt stress on some physiological and biochemical characteristics of *Nostoc sphaeroides* Kütz. (cyanobacterium) [J]. *Acta Hydrobiologia Sinica*, 1999, **23**(5): 414—419 [李敦海,刘永定,宋立荣. 盐胁迫对念珠藻葛仙米生理生化特性的影响. 水生生物学报, 1999, **23**(5): 414—419]

[6] Tang P, Wu G R, Lu C M, *et al*. Allelopathic effects of several higher aquatic plants in Taihu Lake on *Scenedesmus arcuatus* Lemm. [J]. *Rural Eco-Environment*, 2001, **17**(3): 42—44 [唐萍,吴国荣,陆长梅, 等. 太湖水域几种高等水生植物的克藻效应. 农村生态环境, 2001, **17**(3): 42—44]

[7] Qiu D R, Wu Z B, Kuang Q J, *et al*. Effects of aquatic macrophytes of various life form on phytoplankton [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, **17**(6): 22—27 [邱东茹,吴振斌,况琪军, 等. 不同生活型大型植物对浮游植物群落的影响. 生态学杂志, 1998, **17**(6): 22—27]

[8] Yin L Y, Huang J Q, Li D H, *et al*. Microcystin-RR uptake and its

effects on the growth of submerged macrophyte *Vallisneria natans* (lour.) hara [J]. *Environmental Toxicology*, 2005, **20**(3): 308—313

[9] Kenefick S L, Hrudey S E, Peterson H G, *et al*. Toxin release from *Microcystis aeruginosa* after chemical treatment [J]. *Wat. Sci. Tech.*, 1993, **27**(3—4): 433—440

[10] Huang Z B, Shen Y W, Liu Y D, *et al*. Promoting effect of *Anabaena* spp. extract on growth, development and yield of rice [J]. *Acta Hydrobiologia Sinica*, 1998, **22**(3): 229—235 [黄泽波,沈银武,刘永定,等. 鱼腥藻提取液对水稻生长发育和产量的促进作用. 水生生物学报,1998, **22**(3): 229—235]

[11] Chen S Y, Wu Z M, Yu W B. Formation, harmfulness, prevention, control and treatment of waters eutrophication [J]. *Environmental Science and Technology*. 1999, (2): 11—15 [陈水勇,吴振明,俞伟波. 水体富营养化的形成、危害和防治. 环境科学与技术, 1999, (2): 11—15]

EFFECT OF WATER BLOOM-FORMING CYANOBACTERIAL BIO-SUBSTANCES ON THE GROWTH OF SUBMERGED MACROPHYTE *CERATOPHYLLUM ORYZETORUM KOM.*

LI Dun-Hai, LI Gen-Bao, WANG Gao-Hong, CHEN Kun, CHEN Wu-Xiong and LIU Yong-Ding

(Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072)

Abstract: The different forms of cyanobacterial bio-substances on the growth and photosynthetic activity of submerged macrophyte *Ceratophyllum oryzetorum* Kom was investigated in present study. Results showed that all kinds of cyanobacterial bio-substances ould enhance the growth of *C. oryzetorum* Kom. differently. Compared with the control, the plant length of *C. oryzetorum* could be increased by all forms of bio-substances, in which the dry algal material has the strongest effect, while the decomposed material has the lowest. The fresh weight of *C. oryzetorum* also could be promoted by all kinds of algal bio-substances, in which the dry algal material and the fresh algal material almost have the same obvious effect, and the decomposed algal material has the lowest, while in control, the fresh weight firstly increased, and then decreased. All forms of cyanobacerial material could promote the increase of branches in *C. oryzetorum*, in which the fresh algal material has the strongest effect and the dry and decomposed materials lower, while in control, the branches increased also less than the algal material treated groups. The photosynthetic activity expressed by chlorophyll fluorescence suggested that the dry algal material treated *C. oryzetorum* had the highest activity, and the fresh algae treated one lower, and the decomposed algae and the control treated ones were the lowest. In conclusion, the different forms of cyanobacterial bio-substances could supply nutrients or growth promoters for *C. oryzetorum* to grow, and at the same time, other growth inhibiters might exist to inhibit the growth of *C. oryzetorum*. Factors of promoting and inhibiting worked together, thus resulted in the different promoting effects by different forms of cyanobacterial bio-substances to the growth in *C. oryzetorum*.

Key words: Bloom-forming cyanobacteria; Bio-substances; Submerged macrophyte; *Ceratophyllum oryzetorum* Kom.; Growth