DOI:10.15928/j.1674-3075.2016.04.003

光照强度对香溪河水华类型影响的模拟实验

陈 钊[1],刘德富[2,3],杨正健[3,4],崔玉洁[5]

(1. 三峡大学水利与环境学院,湖北 宜昌 443002; 2. 三峡库区生态环境教育部工程研究中心,湖北 宜昌 443002;
3. 河湖生态修复及藻类利用湖北省重点实验室,湖北 武汉 430068;
4. 湖北工业大学土木建筑与环境学院,湖北 武汉 430068; 5. 武汉大学水利水电学院,湖北 武汉 430072)

摘要:探究光照强度对小球藻生长的影响,为香溪河水华预测提供理论依据。小球藻藻种为香溪河河水中平板分裂后逐步纯化所得。培养箱为40 L的方形塑料箱,四周用遮光布严实包裹。培养液30 L。培养液为用放置24 h后的自来水稀释25倍后的*BG*-11标准培养基,磷浓度0.285 mg/L,氮浓度9.48 mg/L, pH值7.3~7.8。恒温加热棒控制水温24℃。以平行布置的8根日光灯管作为光源,开关不同数量的日光灯管设定光强梯度,光照梯度为0、800、1 500、2 400、3 200、4 500、6 000 lx。采用电磁式真空泵曝气,曝气比率设置为10%。设置2组平行实验,每个培养箱中加入处理后的藻液10 mL。实验过程为期12d,每天上午8:00取样,监测指标为光密度、叶绿素a、溶解性总磷、溶解性总氮。结果表明,光照强度在800~1 500 lx时易发生长周期的绿藻水华,绿藻水华转变为蓝藻水华的可能性低;3 200~4 500 lx时易发生短周期的绿藻水华;6 000 lx时发生蓝藻水华的风险很大。香溪河在光照强度小于3 200 lx时不必做蓝藻水华防御措施;光照强度大于4 500 lx时,需提前做适当的蓝藻水华防御措施。

关键词:小球藻;水华;光照强度;香溪河

中图分类号:Q682 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2016)04-0016-07

小球藻(*Chlorella vulgaris*)是单细胞藻类,分类学上属于绿藻门(Chlorophyta)、绿藻纲(Chlorophyceae)、绿球藻目(Chlorococcales)(胡鸿钧等, 2006)。它是一种重要的绿藻,在绿藻水华中扮演着重要角色;同时,小球藻在光照条件下与蓝藻竞争氮和磷,对蓝藻水华有一定的抑制作用(许倩倩等, 2010);另外,小球藻具备一定的抑菌功能(Makridis et al, 2006),对水华河流中的有害菌株有一定的抵御作用。绿藻水华对水体的危害远小于蓝藻水华,当水体中营养盐含量较高时,保持较大数量的小球藻反而可以减小蓝藻对水体的危害(许倩倩等, 2010)。因此研究小球藻的生长习性对预测库湾水华类型有着重要作用。在一定pH、温度和营养条件下,光照的强弱和照射时间的长短决定着单细胞藻类光合作用的效率,对藻类的生长速率起着至关重要的作用(严美姣等, 2007)。光照是影响藻类生长繁殖的最重要生态因子之一,也是其生长的主要能量来源,亦可推动河流水华的发生。本实验用稀释25倍的*BG*-11培养液模拟三峡库湾香溪河河水,设置光强梯度,探究光照强度对小球藻生长的影响,为香溪河水华预测提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 藻种纯化及扩大培养

小球藻藻种为香溪河河水中平板分裂后逐步纯化所得,并保存于克诺普(knop)液体培养基中(郑怡等, 2003),15℃,低光照,实验前需扩大培养。取培养后的高浓度藻液于离心机中,以3 000 r/min离心5 min,除去上层液,用浓度为15 mg/L的Na_2CO_3溶液清洗后再次离心,反复3次,用超纯水稀释后用于接种(黄莹莹等, 2008)。香溪河的氮、磷含量完全满足藻类生长的需求且已经达到富营养化暴发阈值(孔松等, 2012),营养盐不是香溪河藻类生长的限制因素(曾娟等, 2008);研究表明,磷是水体中藻类种群和密度的第一限制性营养元素(国家环保总局, 2002; 金相灿等, 1990; 易文利, 2005);香溪河流域磷矿储量巨大,河水中磷含量高,下游磷含量0.22~0.34 mg/L(方涛 等, 2006)。综合考虑以上原因,选择磷含量相似的培养液模拟香溪河河水是可行的,本实验采用*BG*-11标准培养基(Stanier et

收稿日期:2015-07-20

基金项目:973计划前期研究课题(2014CB460601);国家国际合作项目(2014DFE70070);国家自然科学基金项目(51509086)。

作者简介:陈钊,1991年生,硕士研究生,研究方向为微藻资源化利用。E-mail: 784826019@qq.com

通信作者:刘德富。E-mail: dfliu@189.cn

al, 1971)稀释 25 倍后的营养液进行培养,其磷浓度为 0.285 mg/L,介于 0.22 ~ 0.34 mg/L;氮浓度为 9.48 mg/L,对藻类生长不产生抑制作用。

1.2　实验装置与器材

采用 40 L 的方形塑料培养箱,加入稀释培养液 30 L。香溪河水温维持在 20℃ 左右,pH 变幅为 6.82 ~ 9.32(李凤清等, 2007),而小球藻的适宜温度范围为 25 ~ 42.5℃(欧阳峥嵘等, 2010),适宜 pH 值为 5.5 ~ 8.0(罗瑶忠, 2009)。为加快小球藻生长,适当提高实验水温,水温设置为 24℃,恒温加热棒控制水温。实验均采用放置 24 h 后的自来水稀释培养基,pH 值为 7.3 ~ 7.8。以平行布置的 8 根日光灯管作为光源(张楠等, 2015),开关不同数量的日光灯管来设定光强梯度。采用电磁式真空泵曝气,曝气比率设置为 10%,可满足小球藻生长所需的通气量(万晓安等, 2014)。每个塑料培养箱四周都用遮光布严实包裹。实验装置见图 1。

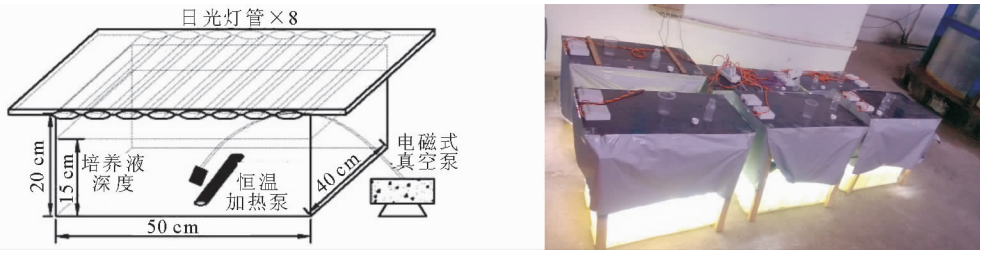


图 1　实验装置

Fig. 1　Experimental apparatus

1.3　实验设计

设置 2 组平行实验,在每个培养箱中加入处理后的藻液 10 mL。根据香溪河春季水华时段光强已有研究成果(徐耀阳等, 2006; 龙天渝等, 2011),结合实验室条件,设置光强梯度为 0、800、1 500、2 400、3 200、4 500、6 000 lx。

1.4　指标测定

实验过程为期 12 d,每天上午 8∶00 取样,同时用防水中心数字温度计测水温、用 JC07-testo 540 光照度测量仪测光照强度和用普希科 P4-036 防水型袖珍式 pH 测试笔测量 pH 值。每次取样 200 mL,取样对整个培养液的影响可忽略不计。主要监测指标为:光密度、叶绿素 a、溶解性总磷、溶解性总氮。光密度和叶绿素含量均是表征藻生物量的指标(王英娟等, 2012; Cai Zhou-ping et al, 2012; 吕旭阳等, 2009; Griffiths et al, 2011)且表征结果各有利弊(Clesceri et al, 1998; 费尊乐等, 1997),两者同时测定可提高实验可信度;磷、氮是藻生长的主要营养盐,从侧面反映藻生长情况。其中,OD 用紫外可见分光光度计测定小球藻活体细胞在 680 nm 处的吸光度(黄美玲 等, 2010);叶绿素 a 浓度采用丙酮萃取紫外分光光度法;DTP 采用过硫酸钾氧化紫外分光光度法;DTN 采用碱性过硫酸钾氧化紫外分光光度法。各指标测定参考《水和废水监测分析方法》(第四版)和《湖泊生态调查观测与分析》。

1.5　数据分析

运用 SPSS for Windows 21.0 软件对实验数据做差异显著性检验,判定造成差异的原因是由于误差或偶然因素或确实存在差异(张凤菊等, 2012)。小球藻生长适配曲线和回归分析通过 excel 表格完成,并利用 excel 表格中的趋势线功能拟合曲线公式。

2　结果与分析

2.1　生物量

实验初期,小球藻增长缓慢,接着由缓慢生长变为快速生长;当各个样本达到一个峰值后,生物量逐渐降低(图 2)。各光照强度组生物量峰值:1 500 lx > 2 400 lx > 800 lx > 3 200 lx > 4 500 lx > 6 000 lx > 0 lx。各光照梯度下,生物量前期增长的速率不同,达到峰值的时间也不同。光照强度越大,前期生物量增长越快,越早达到峰值。除 0 lx 和 800 lx 外,所有光照梯度下生物量达到峰值后都在减小,小球藻开始消亡。800 lx 时,小球藻生长缓慢而稳定,生命周期最长,直到实验结束都没有出现消亡的迹象。0 lx时,生物量基本保持不变,既没有生长,也消亡很慢。

低光照强度(800、1 500、2 400、3 200 lx)下光密度与叶绿素浓度的变化趋势较为一致,但高光照强度(4 500、6 000 lx)下存在较大差异,表现为:光密度达到峰值后下降缓慢,而叶绿素浓度快速下降。叶绿素浓度与光密度之间的相关关系分析也表明:低光照强度(800、1 500、2 400、3 200 lx)下,叶绿素 a浓度与光密度的变化趋势拟合程度很高(图 3a),存在线性关系;高光照强度(4 500、

6 000 lx)下,两者拟合程度很低(R^2 =0.6601)(图3b)。

2.2 营养盐

各光照梯度下,小球藻对磷、氮吸收的时间、快慢以及多少与生物量增长的趋势基本吻合(图4)。光照强度为0时,培养基中2种营养元素含量基本不变;800 lx时,2种营养元素在整个实验周期中以恒定的速率减少;1 500 lx时,小球藻对2种元素的吸收量最大;2 400~6 000 lx时,随着光照强度的增加,小球藻对2种元素的初始吸收量越大,但吸收时间越短,利用率越低。在实验后期,各光照梯度下的磷、氮2种元素的含量均有所回升,且光照越强,回升的量越多。

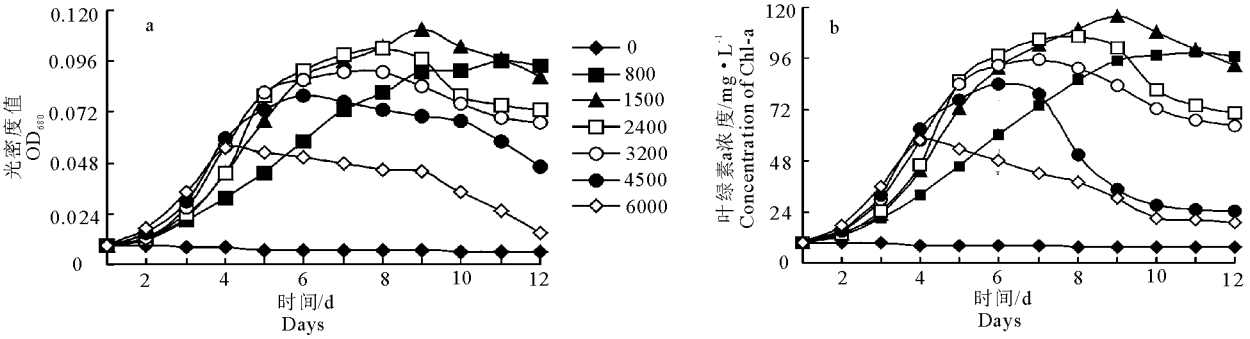
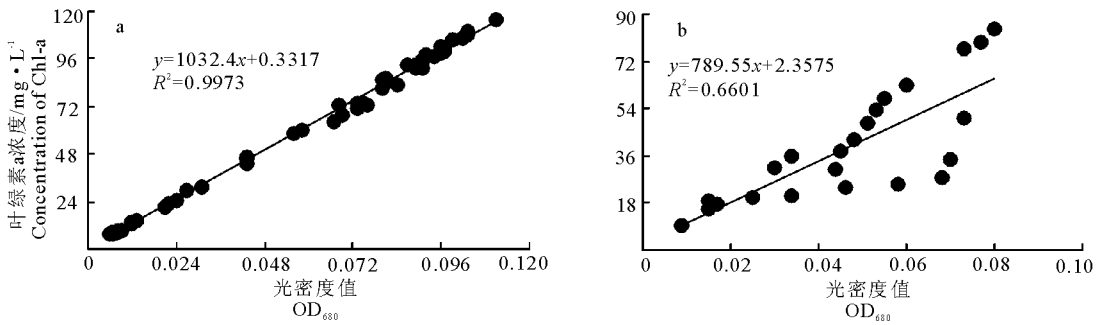


图2 光密度(OD_{680})、叶绿素a浓度的变化规律

Fig.2 Variation of chlorophyll a concentration with time at different light intensities (OD_{680})



a 低光照强度(800、1500、2 400、3 200 lx);b 高光照强度(4 500、6 000 lx)

图3 不同光照强度下叶绿素a浓度和光密度(OD_{680})的相关分析

a. low light intensities(800,1 500,2 400,3 200 lx); b. high light intensities(4 500,6 000 lx)

Fig.3 Correlation between chlorophyll a concentration and OD_{680}

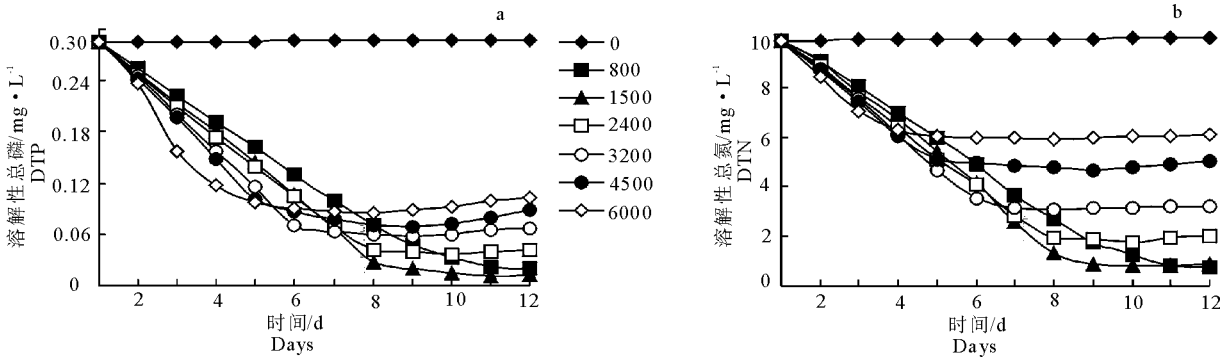


图4 溶解性总磷(DTP)、总氮(DTN)浓度变化

Fig.4 Variations of dissolved total phosphorous (DTP) concentration and dissolved total nitrogen (DTN) concentration for each test group

氮磷比变化曲线见图5。在实验初期随着小球藻的增殖,各光照梯度下氮磷比均有所增大,且光照强度越大,氮磷比增大的越快;实验末期,随着小球藻的死亡,氮磷比又有所下降。强光照条件下(4 500~6 000 lx),小球藻对磷的利用率要远大于对氮,使氮磷比迅速大于60以上;低光照条件下(0

~1 500 lx),氮磷比增大缓慢,一直保持在 30 ~40。

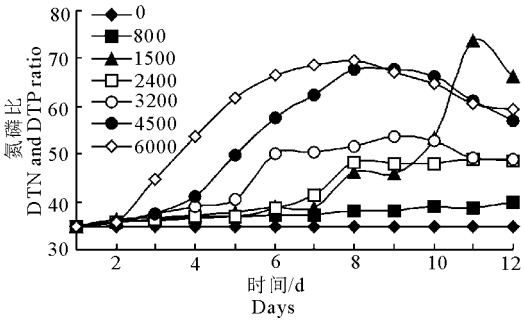


图 5　氮磷比的变化

Fig. 5　Variations of DTN and DTP ratio for each test group

2.3　光照强度

2.3.1　小球藻最适光照的确定　为寻找最适光照强度,统计各光照梯度的最大光密度值 OD_{max}、最大叶绿素浓度 C_{max}、总磷消耗量 $DTP_{耗}$ 和总氮消耗量 $DTN_{耗}$ 发现,不同光强梯度下小球藻的 OD_{max}、C_{max}、$DTP_{耗}$ 和 $DTN_{耗}$ 差异明显,但光照强度为 0 时各数据不变,统计无意义。

光密度和叶绿素最大值出现的时间一致,且光照强度越高,出现最大值的时间越早:800 lx 时在第 11 天才达到峰值;6 000 lx 时在第 4 天就达到峰值,随后呈负增长的趋势;3 200 lx 时可在较短的时间内产生较大的生物量。从光密度和叶绿素浓度最大值都可以看出,1 500 lx 时生物量最大,分别为 0.111 和 115.87 mg/L。以 OD_{max} 和 C_{max} 为评价指标,小球藻适合生长光照强度为 800 ~3 200 lx,最适光照强度为 1 500 lx。

光照强度(800 ~6 000 lx)越大,小球藻对氮、磷营养盐的利用率越低,实验结束时总共消耗的氮、磷营养盐越少。以 $DTP_{耗}$ 为评价指标,小球藻的适合生长光照强度为 800 ~3 200 lx,最适光照强度为 1 500 lx;以 $DTN_{耗}$ 为评价指标,小球藻的适合生长光照强度为 800 ~2 400 lx,最适光照强度为 800 lx。

2.3.2　光照强度与小球藻生长适配曲线的优化　光照强度与 OD_{max}、C_{max} 进行拟合,见图 6,均为 3 次抛物线拟合曲线,方差高。拟合所得的曲线均能较好地反映不同光照强度与小球藻生长之间的关系。

表 1　不同光照梯度下的 OD_{max}、C_{max}、$DTP_{耗}$ 和 $DTN_{耗}$

Tab. 1　Maximum value of OD, chlorophyll a, DTP and DTN consumption under different illumination intensities

指　标		光照强度/lx					
		800	1 500	2 400	3 200	4 500	6 000
OD_{max}	数值	0.096	0.111	0.102	0.091	0.080	0.055
	出现时间	第 11 天	第 9 天	第 8 天	第 7 天	第 6 天	第 4 天
C_{max}/mg · L^{-1}	数值	99.01	115.87	106.39	95.85	84.27	57.93
	出现时间	第 11 天	第 9 天	第 8 天	第 7 天	第 6 天	第 4 天
$DTP_{耗}$/mg · L^{-1}		0.266	0.272	0.243	0.219	0.197	0.182
$DTN_{耗}$/mg · L^{-1}		9.12	9.02	7.84	6.66	4.87	3.78

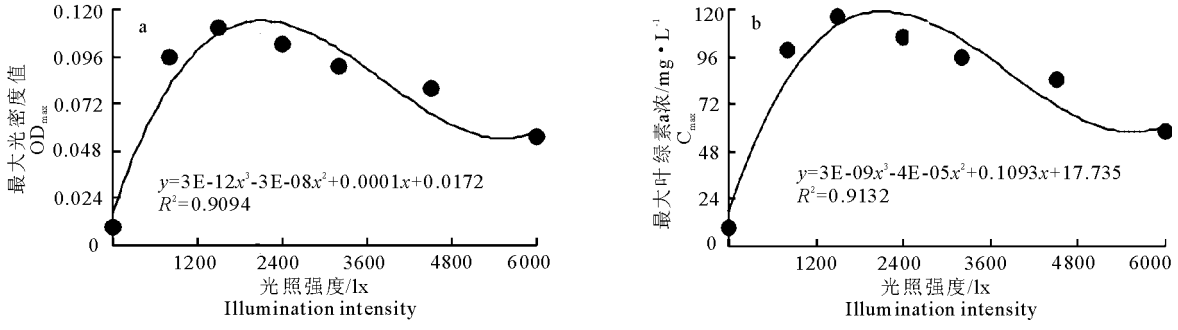


图 6　光照强度与 OD_{max}、C_{max} 的回归曲线

Fig. 6　Regression between illumination intensity and OD_{max} (a) or C_{max} (b)

光照强度在 0 ~4 500 lx 时,OD_{max} 先增加、后降低,峰值在 1 500 ~2 400 lx,说明光饱和点在此区间,最适光强也在此区间。饱和光照后继续增加光强会产生光抑制作用。整体的升高速度快于降低速度,说明光照对小球藻生长的促进作用远大于抑制作用。4 500 ~6 000 lx 再度出现上升趋势,但实验数据显示无回升现象,而继续呈现降低趋势,因此其关系式有待进一步验证。光强大于 6 000 lx 后的变化情况还有待进一步研究。在 0 ~4 500 lx,光照强度与 OD_{max} 关系式:$y = 3 \times 10^{-12} x^3 - 3 \times 10^{-8} x^2 +$

$0.0001x+0.0172$($R^2=0.9094$)。

C_{max}与OD_{max}有着完全相同的规律,光照强度与OD_{max}关系式为:$y=3\times10^{-9}x^3-4\times10^{-5}x^2+0.1093x+17.735$($R^2=0.9132$)。

2.4 差异显著性分析

差异显著性分析结果见表2。P值均小于0.05,说明监测数据具有良好的可信度,实验误差带来的影响甚小,监测值是小球藻生长繁殖的真实反映。

表2 检验统计量

Tab.2 Test statistics

	叶绿素a浓度	光密度	总磷浓度	总氮浓度	光照强度
d*f*	11	11	11	11	11
渐近显著性	0.028	0.005	0.000	0.000	0.013

3 讨论

强光照条件下,光密度达到峰值后下降缓慢,而叶绿素浓度会快速下降。经观察,实验中后期,强光照条件下的藻液会发黄,必然有新的色素产生,这种色素对光密度值有较大影响(王英娟等, 2012);而强光照条件下,小球藻生长周期短,叶绿素分解快。这是光密度值与叶绿素浓度变化曲线在强光照条件下存在较大差异的主要原因。故同时测量光密度和叶绿素浓度能提高实验的可信度。培养末期,各光照梯度的磷、氮浓度都有少量增长的现象,原因是小球藻死亡,细胞质中营养盐流回培养液中(任玲等, 2000)。适当的光照强度(800、1 500、2 400 lx)可以提高小球藻对营养盐的利用率,此条件下小球藻死亡的原因是营养盐不足,与光照强度无关。强光照条件下实验结束时营养盐浓度较高,小球藻死亡原因不是营养盐不足,而是因为过大的氮磷比,较高的营养盐浓度和较大的氮磷比不再适合小球藻的生长,反而有转化为蓝藻水华的潜在危险(刘莲等, 2014)。因此,强光照条件能改变小球藻对氮磷的利用率而使小球藻生长受阻。

对营光合自养生活的小球藻而言,光是其生长的重要限制因素。当温度和营养盐不限制其生长时,光就成为影响小球藻自养生长的主要因素,即藻的生物量是光照的函数。一般情况下,在一定的光照强度范围内小球藻的光合作用效率会随光照强度的增加而增加;但光照强度达到一定值时,光合作用效率几乎保持在一定水平,不再增加,这种现象为光饱和现象。光照强度在光饱和点以下,微藻的光合作用随着光照强度的提高而加强,从而促进生长(邓光等, 2004; 张宝玉等, 2003; 殷大聪等, 2008)。如果光照强度超过饱和点一定程度后,藻的光合作用效率将会下降,导致细胞生长缓慢甚至死亡,即抑制现象。说明并非光照强度越强越有利于小球藻的生长,而是有一个限度(王翠等, 2010)。适当的光照强度对小球藻的生长尤为重要,在光饱和点以下的光照强度是小球藻生长的一个限制性因子(俞俊棠等, 1999)。因此,不同的光照强度对小球藻生长机制的影响不同,必定存在最适宜的光照强度,进一步说明研究小球藻最适光照强度是很有现实意义的。

实验中,光强越大,小球藻生物量前期增长越快,对环境的适应越快,越早达到峰值。1 500 lx时可获得最大生物量,随着光强的升高或降低,其生长都会受到限制,可预测1 500 lx时易发生绿藻水华,其消耗营养盐彻底,绿藻水华转变为蓝藻水华的可能性低。3 200~4 500 lx时,小球藻能更快适应新环境,培养周期较短,生物量较大,可预测3 200~4 500 lx时易发生短周期的绿藻水华。6 000 lx时小球藻对营养盐的利用率低,且容易产生很大的氮磷比,较高的营养盐浓度和较大的氮磷比有使转化为蓝藻水华的潜在危险。800 lx时,小球藻生长最稳定,生长周期最长,死亡最缓慢,营养盐利用率高,可预测800 lx时易发生长周期的绿藻水华,转化为蓝藻水华的风险低。

相对于蓝藻水华的危害,以小球藻为主体的绿藻水华的危害是很小的。当春季来临,气温逐渐回升,光照逐渐增强,藻类水华也会渐渐发生。根据以上预测结果,可制定不同的蓝藻水华防御方案:当香溪河实测光照强度小于3 200 lx时,小球藻可能会大量增殖形成绿藻水华。小球藻对水中氮、磷营养盐的消耗大大降低了蓝藻水华形成的可能性。此时不必做任何防御措施,随着营养盐的消耗和鱼类的捕食,小球藻的生物量最后也会得到控制,对水体污染小,对水中其他动植物的危害也小。当光照强度大于4 500 lx时,小球藻生长受阻,同时会产生较大的氮磷比,这有利于蓝藻水华的发生。蓝藻会向水中释放毒素,严重污染生活和农业用水,并可以杀死鱼类使水体变得恶臭。此时可以提前做一些针对蓝藻水华的防御措施,以降低蓝藻水华发生的可能性。

参考文献

邓 光, 李夜光, 胡鸿钧, 等,2004. 温度、光照和 pH 值对锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻光合作用的影响及光暗周期对其生长速率和生物量的影响[J]. 武汉植物学研究, 22(2): 129 – 135.

方 涛, 付长营, 敖鸿毅, 等,2006. 三峡水库蓄水前后香溪河氮磷污染状况研究[J]. 水生生物学报, 30(1): 26 – 30.

费尊乐, Trees CC, 李宝华, 1997. 利用叶绿素资料计算初级生产力[J]. 黄渤海海洋, 15(1): 35 – 47.

国家环保总局,2002. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社.

黄美玲, 何 庆, 黄建荣, 等, 2010. 小球藻生物量的快速测定技术研究[J]. 河北渔业, (4): 1 – 3.

黄莹莹, 陈雪初, 孔海南, 等,2008. 曝气对遮光条件下藻类消亡的影响[J]. 环境污染与防治, 30(10): 44 – 47.

胡鸿钧, 魏印心, 2006. 中国淡水藻类——系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社: 602 – 605.

金相灿, 屠清英,1990. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社.

孔 松, 刘德富, 纪道斌, 等,2012. 香溪河库湾春季藻华生长的影响因子分析[J]. 三峡大学学报, 34(1):23 – 28.

李凤清, 叶 麟, 刘瑞秋, 等,2007. 香溪河流域水体环境因子研究[J]. 生态科学, 26(3):199 – 207.

刘 莲, 周小玉, 赵良杰, 等, 2014. 氮磷比率对两种蓝藻和两种绿藻生长的影响[J]. 上海海洋大学学报, 23(4): 573 – 581.

龙天渝, 周鹏瑞, 吴 磊, 2011. 环境因子对香溪河春季藻类生长影响的模拟实验[J]. 中国环境科学, 31(2):327 – 331.

吕旭阳, 张 雯, 杨 阳, 等,2009. 分光光度计法测定小球藻数量的方法研究[J]. 安徽农业科学, 37(23): 11104 – 11105.

罗瑶忠, 2009. 小球藻的培养及研究进展[J]. 科技资讯, (11): 117.

欧阳峥嵘, 温小斌, 耿亚红, 等, 2010. 光照强度、温度、pH、盐度对小球藻(*Chlorella*)光合作用的影响[J]. 武汉植物学研究, 28(1): 49 ~ 55.

任 玲, 杨 军,2000. 海洋中氮营养盐循环及其模型研究[J]. 地球科学进展, 15(1): 58 – 64.

万晓安, 刘德富, 杨正建, 等,2014. 不同曝气比率对小球藻生长的影响[J]. 水生态学杂志, 35(4): 48 – 54.

王 翠, 李 环, 韦 萍,2010. 沼液培养小球藻产生油脂的研究[J]. 环境工程学报, 4(8): 1753 – 1758.

王英娟, 贺 敬, 李 壮, 等,2012. 光密度法测定蛋白核小球藻生物量[J]. 生命科学与医药学, 42(1): 60 – 63.

许倩倩, 吕 乐, 陈 建, 等, 2010. 利用小球藻 USTB-01 控制蓝藻水华污染研究[J]. 现代化工, 30(4): 334 – 337.

徐耀阳, 叶 麟, 韩新芹, 等, 2006. 香溪河库湾春季水华期间水体光学特征及相关分析[J]. 水生生物学报, 30(1): 84 – 88.

严美姣, 王银东, 胡贤江,2007. 光照对小球藻、斜生栅藻生长速率及叶绿素含量的影响[J]. 安徽农学通报, 13(23): 27 – 29.

易文利,2005. 不同营养盐对铜绿微囊藻生长的室内模拟研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学.

殷大聪, 耿亚红, 梅 红, 等, 2008. 几种主要环境因子对布朗葡萄藻(*Botryococcus braunii*)光合作用的影响[J]. 武汉植物学研究, 26(1): 64 – 69.

俞俊棠, 唐孝宣, 邬行彦,1999. 新编生物工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社: 320 – 321.

曾 娟, 刘德富,2008. 磷营养盐对库湾暴发蓝藻水华的实验研究[J]. 三峡大学学报, 30(5): 22 – 24.

张宝玉, 李夜光, 李忠奎, 等,2003. 温度、光照强度和 pH 对雨生红球藻光合作用和生长速率的影响[J]. 海洋与沼泽, 34(5): 558 – 565.

张凤菊, 刘晓娟, 赵丽平, 等,2012. 数据差异显著性检验[J]. 农机使用与维修, (4):51 – 52.

张 楠, 陈 蓉, 王永忠, 等, 2015. 光照条件对跑道池光生物反应器内蛋白核小球藻生长特性的影响[J]. 环境工程报, 9(3): 1497 – 1500.

郑 怡, 余 萍, 刘艳如, 2003. 蛋白核小球藻凝集素的分离纯化及部分性质研究[J]. 水生生物学报, 27(1): 36 – 40.

Cai Zhou-ping, Duan Shun-shan, Zhu Hong-hui, 2012. Optical density method and cell count method for determining the growth of three energy microalgae and their correlation and verification[J]. Journal of Southern Agriculture, 43(10): 1480 – 1484.

Clesceri LS, Greenberg AE, Eaton AD,1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater[M]. Washington DC: American Public Health Association: 2 – 3.

Griffiths MJ, Garcin C, Hille RP, et al,2011. Interference by pigment in the estimation of microalgal biomass concentration by optical density[J]. Journal of Microbiological Methods, 85(2): 119 – 123.

Makridis P, Costa RA, Dinis MT,2006. Microbial conditions and anti-microbial activity in cultures of two microalgae species, *Tetraselmis chuii* and *Chlorellaminutissima*, and effect on bacterial load of enriched *Artemia metanauplii*[J]. Aquaculture, 255: 76 – 81.

Stanier RY, Kunisawa R, Mandel M, et al, 1971. Purification and properties of unicellular blue-green algae(Order Chroococcales)[J]. Bacteriological Reviews, 35(2): 171 – 205.

(责任编辑　张俊友)

Effect of Light Intensity on Algal Blooms in the Lower Xiangxi River

CHEN Zhao[1], LIU De-fu[2,3], YANG Zheng-jian[3,4], CUI Yu-jie[5]

(1. College of Hydraulic & Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, P. R. China;
2. Engineering Research Center of Eco-environment in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, China Three Gorges University, Yichang 443002, P. R. China;
3. Hubei Key Laboratory of Ecological Restoration for River-Lakes and Algal Utilization, Wuhan 430068, P. R. China;
4. Wooden Architecture and Environmental Sciences, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, P. R. China;
5. School of Water Resources & Hydropower Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, P. R. China)

Abstract: *Chlorella vulgaris* is a common single-celled green algae, and accounts for a large portion of green algae blooms. Under the same light conditions, *Chlorella vulgaris* competes with blue-green algae for nitrogen and phosphorous and, to some degree, inhibits the growth of blue-green algae. Thus, studying the growth characteristic of *Chlorella vulgaris* can help predict the type of algae bloom most likely to occur. This study investigated the effects of varying light intensity on the growth of *Chlorella* to provide a theoretical basis for predicting algal blooms in the Xiangxi River near its outlet to Three Gorges Reservoir. *Chlorella vulgaris* was obtained from the Xiangxi River, incubated in a 40 L square plastic container after purification and 10 ml of this solution was added to each incubator. The culture solution was *BG*-11, diluted 25 times with water to give 0.285 mgP/L, 9.48 mgN/L and pH = 7.3 – 7.8, conditions similar to the lower Xiangxi River. The incubator was maintained at 24℃, covered by a cloth for shade, and fresh nutrient solution was added every 24 hours. A vacuum pump was used for aeration and the aeration rate was 10%. Seven light intensities (0 lx, 800 lx, 1 500 lx, 2 400 lx, 3 200 lx, 4 500 lx, 6 000 lx) were used and the experiment was run in duplicate. The experiment lasted for 12 days and samples were collected at 8 a. m. each day to determine the optical density (OD), chlorophyll a, dissolved total phosphorous (DTP) and dissolved total nitrogen (DTN). Results show: A long period green algal bloom tends to develop at a light intensity of 800 – 1 500 lx and the chance of transforming to a blue-green algae bloom is low; a short period green algal bloom tends to occur at a light intensity of 3 200 – 4 500 lx and a blue-green algae bloom is likely at 6 000 lx. When the light intensity is <3 200 lx, there is no need to take measures to control blue-green algae; when the light intensity is >4 500 lx, it is necessary to take action to prevent and control cyanobacteria blooms. We also found that *Chlorella vulgaris* biomass, under high light intensity, is estimated more accurately by measuring chlorophyll a rather than optical density. This experiment was run under specific nutrient conditions and should be used for algal bloom prediction only in water bodies similar to Xiangxi River.

Key words: *Chlorella vulgaris*; algal bloom; illumination intensity; the Xiangxi River