

栅藻 LX1 和雨生红球藻的胞外产物产生特性 及其对藻细胞生长的影响

贾胜兰¹, 马小凡¹, 于茵², 李鑫², 胡洪营^{2,3*}

1. 吉林大学环境与资源学院, 吉林 长春 130012; 2. 清华大学环境学院/环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084;

3. 清华大学深圳研究生院, 深圳 518055

摘要: 基于微藻在资源化大规模培养过程中, 其胞外产物对藻细胞生长影响的不确定性, 对比研究了两株高含油脂藻种, 栅藻 LX1(*Scenedesmus* sp. LX1)和雨生红球藻(*Haematococcus pluvislis*)的生长特征、胞外产物的产生特性, 以及胞外产物对藻细胞生长的影响。研究表明, 在相同培养条件下, 栅藻 LX1 与雨生红球藻的内禀生长速率基本相当, 分别为 0.16 和 0.17 d⁻¹。两株藻在不同生长期的胞外产物(以 DOC 值表征)产生速率不同, 其中栅藻 LX1 胞外产物的对数期产生速率(1.4 mg·L⁻¹·d⁻¹) > 稳定期后期产生速率(0.56 mg·L⁻¹·d⁻¹) > 稳定期产生速率(0.48 mg·L⁻¹·d⁻¹); 雨生红球藻胞外产物的稳定期后期产生速率(2.3 mg·L⁻¹·d⁻¹) > 稳定期产生速率(0.88 mg·L⁻¹·d⁻¹) > 对数期产生速率(0.66 mg·L⁻¹·d⁻¹)。栅藻 LX1 胞外产物对其整个生长过程都有明显抑制; 雨生红球藻胞外产物则在稳定期后期才对其生长产生明显抑制作用。

关键词: 栅藻; 雨生红球藻; 生长特征; 胞外产物; 产生特性

中图分类号: Q948.1; X173

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2011) 04-0635-05

近年来能源危机日趋严重, 微藻作为新型可再生能源, 引起了国内外研究者的广泛关注。与其它产油作物相比, 微藻具有生长周期短、光合作用效率高、在适宜条件下可全年培养等优势, 是目前所知可能替代化石能源的重要原料^[1]。

随着水资源危机日益加剧, 实现水资源的可持续利用迫在眉睫。常规污水处理工艺仅能去除其中大部分的污染物, 但对氮磷等富营养物质的去除率有限^[2-3]。而微藻在生长过程中能够大量高效吸收氮磷等营养物质。1958年Oswald等^[4-6]最早提出利用微藻这一特点处理污水的设想, 目前该技术已得到快速发展。

胡洪营等^[7-9]将上述关注点有机结合起来, 提出高含油微藻大规模培养与污水深度处理耦合工艺。该工艺在回收污水中氮磷、净化水质的同时, 还可获得高价值藻细胞生物质。此后, 李鑫^[10]分离出一株高产油、低营养生长的栅藻 LX1(*Scenedesmus* sp. LX1); 杨佳^[11]证实雨生红球藻(*Haematococcus pluvislis*)能够在城市二级出水中迅速生长并积累油脂。这两株藻均符合上述构想对藻种的要求。但实现上述系统从实验室研究向生产工艺的转化, 切实运用于污水处理系统中, 仍存在一些限制因素。尤其是微藻生长过程中产生的胞外产物对其生长的影响尚不确定^[12]。目前对微藻胞外产物的研究多集

中于饮用水处理工艺方面^[13-15], 而对藻细胞生长过程中胞外产物的产生规律及产生量的研究还十分缺乏, 胞外产物对藻细胞生长的影响也鲜有报道。

本文选取了两株典型的高含油脂藻: 栅藻 LX1(*Scenedesmus* sp. LX1) 和 雨 生 红 球 藻 (*Haematococcus pluvislis*), 对比研究两株藻的生长特征、溶解性胞外产物的产生特性及胞外产物对生长的影响, 以明确两株藻的生长和胞外产物产生规律, 及胞外产物对其生长的影响状况。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究采用的两株藻种分别为: 李鑫^[10]分离的栅藻 LX1(*Scenedesmus* sp. LX1); 以及购于中国科学院水生生物研究所淡水藻种库的雨生红球藻(*Haematococcus pluvislis*)。藻种均保存于稀释 50% 的 BG11 培养基中。藻的培养采用 BG11 培养基, 各组分及其质量浓度见表 1。

1.2 试验与分析方法

1.2.1 藻细胞培养

向 500 mL 锥形瓶中加入 200 mL BG11 培养基, 高温高压灭菌(121 °C, 20 min)。在无菌操作条件下取 5 mL 藻种液接种至上述培养基中, 置于光照培养箱中培养。培养条件: 光照强度约 1 400 lx, 光暗比 14 : 10, 温度 25 °C^[16]。

基金项目: 国家杰出青年科学基金项目 (50825801); 国家“十一五”科技支撑计划项目 (2007BAC22B02)

作者简介: 贾胜兰 (1986 年生), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境生物技术。E-mail: jiashenglan1986@163.com

*通讯作者: 胡洪营 (1963 年生), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为环境生物技术。E-mail: hyhu@tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2011-04-08

表 1 BG11 培养基成分
Table 1 The components of BG11 medium

化学成分	ρ (化学成分) / (mg·L ⁻¹)	化学成分	ρ (化学成分) / (mg·L ⁻¹)
NaNO ₃	1 500	H ₃ BO ₄	2.86
K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O	40	MnCl ₂ ·H ₂ O	1.81
MgSO ₄ ·7H ₂ O	75	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.22
CaCl ₂ ·2H ₂ O	36	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.079
EDTA	1	Co(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	0.049
Na ₂ CO ₃	20	Citric acid	6
C ₆ H ₁₀ FeNO ₈	6	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.39

1.2.2 藻细胞密度和干质量的测定

定期测定藻细胞培养液在 650 nm 下的吸光度值 OD₆₅₀,根据前期研究结果^[11, 17]得出的藻细胞密度 $N(\text{mL}^{-1})$ 、藻细胞干质量 $DW(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$ 与吸光度值的相关关系 (表 2), 计算出藻细胞密度和细胞干质量。

表 2 藻细胞密度 (N, mL^{-1})、藻细胞干质量 ($DW, \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)
与吸光度的相关关系

Table 2 The correlation between OD₆₅₀ and cell density
(N, mL^{-1}) or dry weight ($DW, \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)

藻种	藻细胞密度与吸光度 的相关关系	藻细胞干质量与吸光度 的相关关系
栅藻 LX1	$N=9.68 \times 10^6 \text{ OD}_{650}, R=0.997$	$DW=0.526 \times \text{OD}_{650}, R=0.989$
雨生红球藻	$N=16\ 036 \times \text{OD}_{650}, R=0.984$	$DW=0.587 \times \text{OD}_{650}, R=0.983$

1.2.3 藻细胞生长模型

利用 Logistic 模型对藻细胞的生长特性进行分析。Logistic 模型描述了限制性环境下种群生长量增长速率具密度制约特点的经典种群增长规律^[18]。

$$N = \frac{K}{1 + e^{a-rt}} \tag{1}$$

$$\frac{dN}{dt} = rN \left[\frac{K - N}{K} \right] \tag{2}$$

其中 t 为培养时间(d); N 表示 t 时刻的种群密度(mL^{-1}); K 表示种群最大密度(mL^{-1}); a 是描述初始偏移量的常数; $r(\text{d}^{-1})$ 为种群的内禀生长速率,即单个个体潜在的最大生长速率; $\frac{dN}{dt}$ 即种群生物量增长速率($\text{mL}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)。

藻细胞干质量作为表征种群生长量的重要参数,可利用 Logistic 模型描述细胞干质量增长的规律^[9]: 式中用 DW 代替 N ; $DW_{\max}$ 代替 K ; $\frac{dDW}{dt}$ 代替 $\frac{dN}{dt}$ 。其中, DW 为 t 时刻的干质量($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); $DW_{\max}$ 为最大干质量($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); $\frac{dDW}{dt}$ 为藻细胞干质量的增长速率($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)。

1.2.4 藻的胞外产物质量浓度测定

定期在无菌操作条件下取出适量藻培养液,离

心 10 min (4 °C, 15 000 r·min⁻¹), 取上清液, 用 0.45 μm 微孔滤膜过滤, 测定所得滤液中可溶解性有机碳 (Dissolved Organic Carbon, DOC) 值, 即藻的胞外产物质量浓度。

1.2.5 藻的胞外产物对自身生长的影响

取稳定期后期栅藻 LX1 培养液, 按 1.2.4 方法离心、过滤后, 向滤液添加相应营养盐成分, 调整到与 BG11 培养基中质量浓度一致。取 200 mL 该溶液作为试验组培养基, 以 200 mL BG11 作为对照组培养基, 分别接种 5 mL 栅藻 LX1 藻种液。每组试验设 3 个平行样。

雨生红球藻试验方法同上。藻细胞密度测定方法同 1.2.2。

1.2.6 胞外产物产生速率计算

藻类在不同生长时期胞外产物的产生速率用以下公式 (3) 计算。其中 t 为培养时间(d), DOC 为 t 时刻藻液中胞外产物总质量浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)。

$$(3) \quad \frac{\Delta \text{DOC}}{\Delta t} = \frac{\text{DOC}_2 - \text{DOC}_1}{t_2 - t_1} \tag{3}$$

2 结果与结论

2.1 栅藻 LX1 和雨生红球藻的生长特征

相同培养条件下栅藻 LX1 和雨生红球藻的生长曲线如图 1 所示。可以看出, 栅藻 LX1 在 0~9 d 处于对数期, 9~27 d 处于稳定期, 27 d 后进入稳定期后期, 最大藻密度可达 $2.0 \times 10^7 \text{ mL}^{-1}$ 。雨生红球藻同样在 0~9 d 处于对数期, 9~30 d 处于稳定期, 30 d 后进入稳定期后期, 最大藻密度为 $1.1 \times 10^4 \text{ mL}^{-1}$ 。雨生红球藻藻细胞密度通常比栅藻低 2~3 个数量级, 这可能与两株藻的藻细胞体积差异 (雨生红球藻直径范围 10~30 μm^[19], 栅藻体积范围 (3~9) μm×(10~21) μm^[20]) 有关。

利用 Logistic 模型得出的两株藻生长特征参数如表 3 所示, 可以看出: 栅藻 LX1 的最大干质量达 1 095 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 雨生红球藻的最大干质量达 408.8

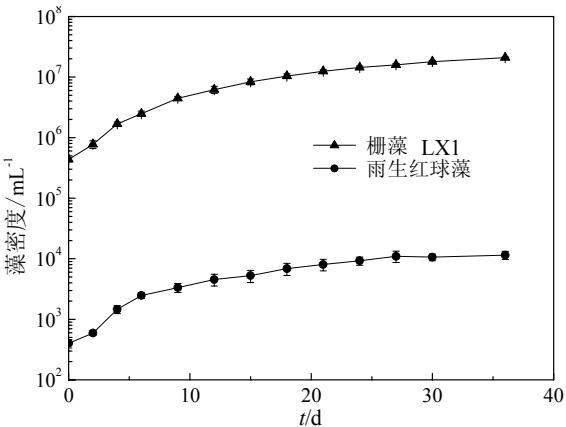


图 1 栅藻 LX1 和雨生红球藻的生长曲线

Fig.1 Growth curves of *Scenedesmus* sp. LX1 and *Haematococcus pluvialis*

表 3 两株藻生长特征参数

Table 3 Growth parameters of *Scenedesmus* sp. LX1 and *Haematococcus pluvislis*

藻种	最大干质量 $G_{max}/(mg \cdot L^{-1})$	内禀生长速率 $r/(d^{-1})$	最大干质量增长速率 $R_{max}/(mg \cdot L^{-1} \cdot d^{-1})$
栅藻 LX1	1095	0.16	45.0
雨生红球藻	408.8	0.17	17.5

$mg \cdot L^{-1}$ 。两株藻的最大干质量生长速率近似, 其中栅藻 LX1 为 $18 mg \cdot L^{-1} \cdot d^{-1}$, 雨生红球藻为 $17.5 mg \cdot L^{-1} \cdot d^{-1}$ 。栅藻 LX1 的内禀生长速率($0.16 d^{-1}$)也与雨生红球藻($0.17 d^{-1}$)基本相当。

2.2 两株藻的胞外产物产生特性

栅藻 LX1 和雨生红球藻胞外产物的产生总量曲线如图 2 所示, 不同生长期栅藻 LX1 和雨生红球藻胞外产物产生速率如图 3 所示。可以看出, 栅藻 LX1 的胞外产物总量随培养时间成明显递增趋势, 但不同生长期栅藻 LX1 胞外产物产生速率不同。其中, 对数期产生速率($1.4 mg \cdot L^{-1} \cdot d^{-1}$)>稳定期后期产生速率($0.56 mg \cdot L^{-1} \cdot d^{-1}$)>稳定期产生速率($0.48 mg \cdot L^{-1} \cdot d^{-1}$)。

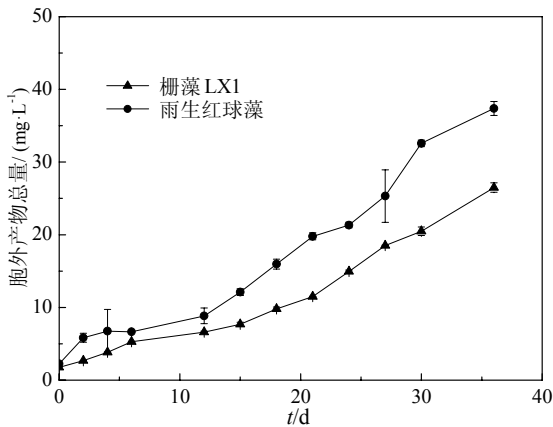


图 2 栅藻 LX1 和雨生红球藻胞外产物的产生总量曲线
Fig.2 Total extracellular algal product curves of *Scenedesmus* sp. LX1 and *Haematococcus pluvislis*

从图 2 和图 3 可以看出, 雨生红球藻胞外产物总量在对数生长期随生长时间缓慢增加, 进入稳定期后开始迅速递增。不同生长期雨生红球藻胞外产物产生速率也不同, 表现为稳定期后期产生速率($2.3 mg \cdot L^{-1} \cdot d^{-1}$)>稳定期产生速率($0.88 mg \cdot L^{-1} \cdot d^{-1}$)>对数期产生速率($0.66 mg \cdot L^{-1} \cdot d^{-1}$)。

综上, 不同藻种胞外产物的产生规律不同。Huang 等^[21]在研究藻细胞及其胞外有机物的消毒副产物时, 发现大部分藻类在对数期胞外分泌物的释放速率高于稳定期。栅藻 LX1 的胞外产物产生速率和该结论相一致。而雨生红球藻胞外产物产生速率则与该结论相反。

Flynn 等^[22]的研究表明浮游植物在生长过程中

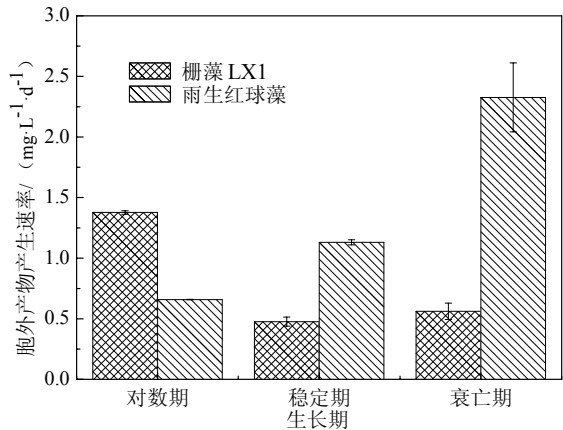


图 3 不同生长期栅藻 LX1 和雨生红球藻胞外产物产生速率
Fig.3 The production rate of *Scenedesmus* sp. LX1 and *Haematococcus pluvislis* in different growth periods

通过分泌糖类、溶解性氨基酸等胞外物质来控制种群数量。故推测栅藻 LX1 和雨生红球藻在稳定期后期胞外产物产生速率均高于稳定期, 和该时期细胞密度达到最大有关。即, 稳定期后期两株藻可能通过加速胞外产物的释放来控制该时期种群数量。

2.3 藻类溶解性胞外产物对生长的影响

栅藻 LX1 胞外产物对其生长的影响如图 4 所示, 加入胞外产物的栅藻 LX1 生长受到明显的抑制, 最大藻密度仅为 $1.5 \times 10^6 mL^{-1}$, 远低于对照组最大藻密度 $2.3 \times 10^7 mL^{-1}$ 。

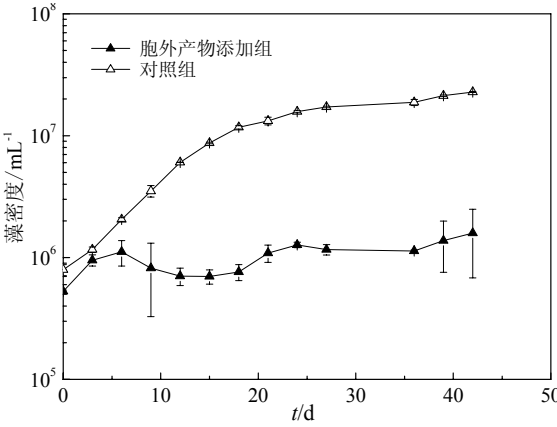


图 4 栅藻 LX1 胞外产物对其生长影响
Fig.4 Growth curves of *Scenedesmus* sp. LX1 with/without addition of extracellular algal products

雨生红球藻胞外产物对其生长的影响如图 5 所示, 加入胞外产物后, 雨生红球藻在对数期及稳定期前期并未表现出对生长的明显抑制。然而, 随着稳定期胞外产物的不断增加积累, 在稳定期后期, 对生长产生明显抑制作用。最大藻密度仅为 $1.3 \times 10^3 mL^{-1}$, 低于对照组最大藻密度 $3.6 \times 10^3 mL^{-1}$ 。

孙艳妮等^[23]发现, 雨生红球藻培养过程中产生抑制其生长的信号物质, 该抑制物产生量与培养时间有一定关系, 在培养的中、后期逐渐形成并积累

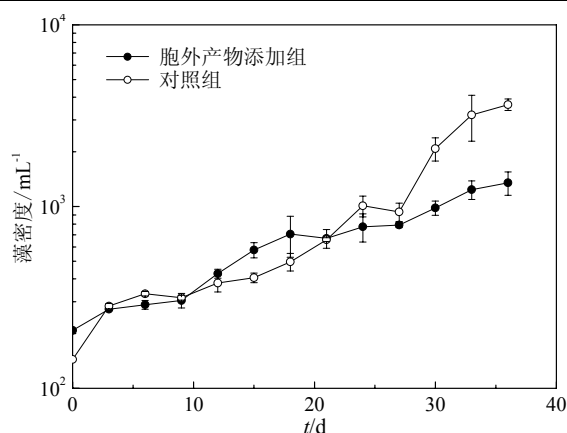


图5 雨生红球藻胞外产物对其生长的影响

Fig.5 Growth curves of *Haematococcus pluvisilis* with/without addition of extracellular algal products

在培养液中。本研究进一步验证了这一结论。Liu等^[24]也发现雪藻(*Parietochloris incisa*)在高密度培养的后期会产生大量抑制其细胞生长的物质,这种物质对叶绿素、胡萝卜素、脂肪酸和蛋白质等的生物合成过程都有较强的抑制作用。胞外产物对藻细胞生长的抑制机理,可能与其阻断了藻细胞内生物质的正常合成有关。

3 结论

(1)在BG11培养基条件下对比两株藻的生长特性,栅藻LX1的最大藻密度和最大干质量大于雨生红球藻的最大藻密度和最大干质量;栅藻LX1和雨生红球藻的最大干质量增长速率和比生长速率基本相当。

(2)在BG11培养基条件下对比两株藻的胞外产物产生特性,结果表明:不同藻种胞外产物产生规律不同;同一藻种在不同生长期,胞外产物产生速率亦不同。其中栅藻LX1胞外产物总量随培养时间成明显递增趋势;且胞外产物在对数期的产生速率最大,稳定期产生速率最小。而雨生红球藻胞外产物总量呈现在对数生长期随着生长时间缓慢增加,在稳定期及后期迅速递增的趋势;不同生长期的产生速率表现为,稳定期后期产生速率最大,对数期产生速率最小。

(3)栅藻LX1胞外产物对其整个生长期都有明显的抑制作用。雨生红球藻胞外产物的加入对该藻对数期的生长没有明显抑制作用,但对稳定期后期的生长抑制明显。

(4)栅藻LX1和雨生红球藻在实际大规模培养中,需考虑胞外产物对其生长的抑制作用。该结论为培养过程中水资源循环使用的可行性研究提供了一定的理论依据。

参考文献:

- [1] VASUDEVAN P T, BRIGGS M. Biodiesel production-current state of the art and challenges[J]. Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology, 2008, 35(5): 421-430.
- [2] URRUTIA I, SERRA J L, LLAMA M J. Nitrate removal from water by *scenedesmus obliquus* immobilized in polymeric foams[J]. Enzyme and Microbial Technology, 1995, 17(3): 200-205.
- [3] Vilchez C, GARBAYO I, LOBATO M V. Microalgae-mediated chemicals production and wastes removal. Enzyme and Microbial Technology, 1997, 20(8): 562-572.
- [4] GONZALEZ L E, CANIZARES R O, BAENA S. Efficiency of ammonia and phosphorus removal from a colombian agroindustrial wastewater by the microalgae *chlorella vulgaris* and *scenedesmus dimorphus*[J]. Bioresource Technology, 1997, 60(3): 259-262.
- [5] OSWALD W J, GOTAAS H B, GOLUEKE C G, et al. Algae in waste treatment[J]. Sewage and Industrial Wastes, 1957, 29(4): 437-455.
- [6] MALLICK N. Biotechnological potential of immobilized algae for wastewater N, P and metal removal: A review[J]. Biometals, 2002, 15(4): 377-390.
- [7] 胡洪营, 李鑫, 杨佳. 基于微藻细胞培养的水质深度净化与高价值生物质生产耦合技术[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 1122-1127.
- [8] 胡洪营, 李鑫, 杨佳. 基于藻细胞培养的水质深度净化与高价值生物质生产系统[C]// 中国环境科学学会水环境分会. 中国水环境污染控制与生态修复技术高级研讨会论文集, 2008: 121-122.
- [9] LI X, HU H Y, YANG J. Lipid accumulation and nutrient removal properties of a newly isolated freshwater microalga, *Scenedesmus* sp.LX1, growing in secondary effluent[J]. New Biotechnology, 2010, 27(1): 59-63.
- [10] 胡洪营, 李鑫, 杨佳. 一株低营养栅藻 LX1 及其在污水深度处理中的应用, 中国专利, C12N1/12; C02F3/32; C12R1/89[P]. 2009-10-28.
- [11] 杨佳. 高油脂微藻的筛选及其在再生水中的产油特性研究[D]. 北京: 清华大学, 2009: 43.
- [12] BURKIEWICZ K, SYNAK R. Biological activity of the media after algal cultures can result from extracellular carbohydrates[J]. Journal of Plant Physiology, 1996, 148(6): 662-666.
- [13] BERNHARDT H, HOYER O, SCHELL H, et al. Reaction-mechanisms involved in the influence of algogenic organic-matter on flocculation[J]. Zeitschrift Fur Wasser Und Abwasser Forschung-Journal for Water and Wastewater Research, 1985, 18(1): 18-30.
- [14] LIU Z, BERNHARDT H. Effects of chlorination of algogenic organic-matter on flocculation[J]. Zeitschrift Fur Wasser Und Abwasser Forschung-Journal for Water and Wastewater Research, 1991, 24(2): 70-75.
- [15] CHANDRAKANTH M S, KRISHNAN S, AMY G L. Interactions between ozone, AOM, and particles in water treatment[J]. Journal of

- Environmental Engineering-Asce, 1996, 122(6): 459-468.
- [16] HER N, AMY G, PARK H R, et al. Characterizing algogenic organic matter (AOM) and evaluating associated NF membrane fouling[J]. Water Research, 2004, 38(6): 1427-1438.
- [17] LI Xi, HU H Y, GAN K, et al. Effects of different nitrogen and phosphorus concentrations on the growth, nutrient uptake, and lipid accumulation of a freshwater microalga *Scenedesmus* sp[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(14): 5494-5500.
- [18] 种云霄. 浮萍氮磷转化能力的研究[D]. 北京: 清华大学, 2004: 51-52.
- CHONG Yunxiao. Study on the Nitrogen and Phosphorus Transformation Ability of Duckweed[D]. Beijing: Tsinghua University, 2004: 51-52.
- [19] 张展. 雨生红球藻生物学特性的高密度效应[D]. 山东: 中国科学院海洋研究所, 2003: 9.
- ZHANG Zhan. Biological Characteristics of *Haematococcus pluvislis* in High Cell Density System[D]. Shandong: Institute of Oceanology Chinese Academy of Sciences, 2003: 9.
- [20] 韩宏英. 禾对斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)生长发育及光合作用的影响[J]. 环境科学学报, 1984, 4(2).
- HAN Hongying. Effect of Mercury on Growth, Development and Photosynthesis of *Scenedesmus obliquus*[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1984, 4(2).
- [21] HUANG J, GRAHAM N, TEMPLETON M R, et al. A comparison of the role of two blue-green algae in THM and HAA formation[J]. Water Research, 2009, 43(12): 3009-3018.
- [22] FLYNN K J, CLARK D R, XUE Yao. Modeling the release of dissolved organic matter by phytoplankton[J]. Journal of Phycology, 2008, 44(5): 1171-1187.
- [23] 孙艳妮. 雨生红球藻信号物质的研究[D]. 山东: 中国科学院海洋研究所, 2001: 3.
- SUN Yangni. Research on Signal Material Secreted by *Haematococcus pluvislis*[D]. Shandong: Institute of Oceanology Chinese Academy of Sciences, 2001: 3.
- [24] LIU Ji G, ZHANG C W, ZHI C H, et al. Physiological Inhibitory Effect of OCS in *Arachidonia Acid-Rich Parietochloris Incisa* (*Trebouxiophyceae, Chlorophyta*)[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2002, 20(3): 248-255.

The growth characteristic and the extracellular products of *Scenedesmus* sp. LX1 and *Haematococcus pluvislis*

JIA Shenglan¹, MA Xiaofan¹, YU Yin², HU Hongying^{2,3*}

1. College of Environment and Resource, Jilin University; Changchun 130012, China;

2. State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control//School of Environment, Tsinghua University; Beijing 100084, China;

3. Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen 518055, China

Abstract: *Scenedesmus* sp. LX1 and *Haematococcus pluvislis* were chosen to study the growth characteristic and the production rate of extracellular products. We also cared about the influence of extracellular products on alga growth. The results indicated that: *Haematococcus pluvislis* had the similar specific growth rate (0.17 d^{-1}) as *Scenedesmus* sp. LX1 (0.16 d^{-1}). In different growth period, algae secreted extracellular products in different production rate. For *Scenedesmus* sp. LX1, the production rate at the later stationary phase ($0.56\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) was greater than that at stationary phase ($0.48\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$), and less than that at logarithmic phase ($1.4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$). Referring to *Haematococcus pluvislis*, the production rate at stationary phase ($0.88\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) was greater than that at logarithmic phase ($0.66\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$), and less than that at later stationary phase ($2.3\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$). Extracellular products secreted by *Scenedesmus* sp. LX1 could inhibit cell growth through all the growth period. However, for the one of *Haematococcus pluvislis*, no inhibition was observed until latter stationary phase.

Key words: *Scenedesmus* sp; *Haematococcus pluvislis*; growth characteristic; extracellular products