

涠洲岛附近海域一次红海束毛藻赤潮生消过程分析*

Studies of a *Trichodesmium erythraeum* Red Tide in Sea Area Near Weizhou Island Guangxi

李小敏^{1,2}, 张敬怀², 刘国强³

LI Xiao-min^{1,2}, ZHANG Jing-huai², LIU Guo-qiang³

(1. 中国海洋大学环境科学与工程学院, 山东青岛 266003; 2. 国家海洋局南海环境监测中心, 广东广州 510300; 3. 国家海洋局北海海洋环境监测中心站, 广西北海 536000)

(1. College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao, Shandong, 266003, China; 2. South China Sea Environmental Monitoring Center, Guangzhou, Guangdong, 510300, China; 3. Beihai Sea Environmental Monitoring Central Station, Beihai, Guangxi, 536000, China)

摘要: 红海束毛藻 (*Trichodesmium erythraeum*) 属蓝藻门, 颤藻科, 束毛藻属。2004年6月28日至7月1日涠洲岛附近海域发生了一次小规模的红海束毛藻赤潮, 这已是该海域近3年内的第3次红海束毛藻赤潮。赤潮生物的最高密度为 7.0×10^8 cell/L。在赤潮发生前涠洲岛附近海域海水中的营养盐含量变化较大, 海水硅酸盐和磷酸盐含量逐月降低, 赤潮发生前1天硅酸盐和磷酸盐降至最低。赤潮发生前海水温度持续升高。赤潮发生区与未发生赤潮海区相比, 赤潮发生区在赤潮发生前硅酸盐含量更低, 基本检不出; 赤潮发生区磷酸盐含量降低, 但是较对照区含量高。在赤潮形成期间, 赤潮发生区硅藻数量明显的降低。本次赤潮发生与海水的富营养化无关, 是一次非富营养化引发的赤潮, 赤潮的发生导致海区的COD升高。

关键词: 赤潮 红海束毛藻 环境因子

中图分类号: Q948.X835 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2009)02-0188-05

Abstract A *Trichodesmium erythraeum* red tide had occurred in sea area near Weizhou island Guangxi from June 28 to July 1, 2004. *T. erythraeum* had caused 3 red tide in the sea area in the past 3 year. The highest density of *T. erythraeum* was 7.0×10^8 cell/L in 2004. Nutrients changed obviously before red tide occurred. Contents of silicate and phosphate reduced month by month before red tide occurred. Contents of silicate and phosphate were the lowest in June 26, 2004. Temperature of sea water increased continuously before red tide occurred. Contents of silicate is no detected in which red tide occurred. Contents of silicate is lower than sea area in which had no red tide. Contents of phosphate were higher than sea area in which had no red tide. The relationships between the occurrences of red tides (HABs) and eutrophication were unconcerned. The red tide had made COD increase.

Key words red tide, *T. erythraeum*, environmental factors

红海束毛藻 (*Trichodesmium erythraeum*) 属蓝藻门, 颤藻科, 束毛藻属。束毛藻广泛分布于亚热带和热带海区, 在很多海区形成过赤潮^[1-5]。红海束毛藻可以产生类似于神经性毒素的藻毒素^[6,7], 对渔业产生危害。1996年澳大利亚西部的澳大利亚丹皮尔群岛发生束毛藻赤潮, 赤潮发生后珍珠贝大量死亡, 用

小白鼠法基本检不出毒素, 用高效液相色谱可以检出少量毒素^[7]。A. F. Post研究了红海亚喀吧湾束毛藻的时空与垂直分布情况^[8], 发现夏季硅藻数量减少但是束毛藻数量增多, 束毛藻替代硅藻成为海区的优势种, 丝状束毛藻主要分布在表层。束毛藻赤潮主要通过3种方式对其它生物产生危害: (1)使海水缺氧导致其它生物大量死亡; (2)对其它生物产生毒害, 关于束毛藻对于海洋生物有无毒性国内外都有报道, 可能与生物种类不同有关; (3)导致食用了束毛藻的海洋生物得不到足够的营养而被饿死。国内关于束毛藻赤潮也有一些报道^[5,9-11]。束毛藻赤潮主要发生在东南

收稿日期: 2008-11-17

作者简介: 李小敏 (1978-), 女, 工程师, 工程硕士研究生, 主要从事海洋生态研究。

* 国家海洋局近岸海域生态环境重点实验室项目 (200509), 南海分局局长基金项目 (0534)资助

沿海

涠洲岛位于北部湾内,属亚热带外海岛屿,周围有大量的珊瑚礁。根据国家海洋局海洋公报统计,涠洲岛附近海域分别在 2002年、2003年和 2004年夏季各发生一次红海束毛藻赤潮。2004年发生赤潮的海域面积扩大,现场调查发现了一些死亡的小型鱼类和虾蛄。本文探讨 2004年赤潮发生前后海水中的赤潮生物和环境要素变化情况。

1 材料和方法

在涠洲岛的西南部、南部和东南部分别设一个监测区,如图 1中 A区、B区和 C区,其中 A区有 2个监测站点,B区有 3个监测站点,C区有 1个监测站点。A区附近生活着大量的珊瑚,B区位于浅海养殖区,C区位于涠洲渔港内,受人类的活动影响比较大。国家海洋局北海海洋环境监测中心站每个月的月初和月末在该区域进行 1次监测,在赤潮发生期间每天监测 1次。

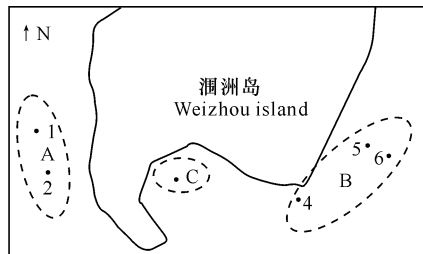


图 1 监测区域和站点

Fig. 1 The monitoring sea area and sites

A B C为监测区,1~ 6为监测站点。

A B C are the monitoring sea area, 1~ 6 are the monitoring sites.

浮游植物在赤潮发生期间以水采为主,其它时间使用浮游生物浅水III型网由底至表垂直拖集。浮游植物用 5%的福尔马林溶液固定。其它环境因子的采集及测量按照《海洋调查规范》进行,各区数据结果均为各站的平均值。

海水的富营养化评价方法采用单因子法和综合指数法^[12]。

$$E = \frac{C_{\text{COD}} \times C_N \times C_P}{4500} \times 10^6,$$

$E \geq 1$ 为富营养化,式中测项的单位是 mg/L。

单项指标选用 COD为 (1~ 3) mg/L,无机氮为 (0.2~ 0.3) mg/L,无机磷为 0.45mg/L,叶绿素 a为 (1~ 10) mg/L作海域富营养化的阈值。

2 结果与分析

2.1 赤潮生物

现场调查发现海区的主要赤潮生物种类为硅藻,

其中角毛藻 (*Chaetoceros* sp.) 和中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*) 数量较多,为海区的主要优势生物种类。红海束毛藻在春季开始出现,夏季数量最多,成为海区的主要优势种之一,秋季数量降低,冬季海区几乎采不到。

6月 27日 A区红海束毛藻密度为 2.5×10^3 cell/L; 6月 29日达到最高密度,为 7.0×10^8 cell/L; 6月 30日密度降低,为 2.3×10^8 cell/L; 7月 1日密度降低为 6.3×10^7 cell/L,随后赤潮消失。在赤潮发生过程中,A区硅藻的数量变化比较明显,赤潮发生前的硅藻数量较 6月初降低,赤潮高峰期几乎不能发现其它藻类,赤潮后期硅藻的数量明显升高。A区发生赤潮时,B区和 C区的红海束毛藻数量升高,但未形成赤潮。赤潮形成前后 A区、B区和 C区红海束毛藻和硅藻密度统计结果见表 1。

表 1 红海束毛藻和硅藻在 A区、B区和 C区的密度 (D)

Table 1 The density (D) of *T. erythraeum* and Diatom in area A area B and area C

日期 Date	红海束毛藻密度 <i>D</i> of <i>T. erythraeum</i>			硅藻密度 <i>D</i> of diatom		
	A	B	C	A	B	C
05-26	+	+	+	+	+	+
06-12	+	+	+	+++	++	+++
06-27	++	+	+	++	++	++
06-29	++++			+		
06-30	+++	+++	++	+	+	+
07-01	+++			+		
07-08	++	+	+++	+++	++	++
07-27	++	+	+	+++	++	++
08-11	+	+	+	++	++	++

+ : $D < 10^2$ cell/L, ++: 10^2 cell/L $\leq D < 10^4$ cell/L, +++: 10^4 cell/L $\leq D < 10^6$ cell/L, ++++: 10^6 cell/L $\leq D < 10^8$ cell/L, +++++: $D \geq 10^8$ cell/L。

2.2 赤潮发生区营养盐变化

赤潮发生区营养盐及 N/P值的变化情况见图 2 和图 3。海水无机氮含量 5月底到 8月初的变化范围为 1.78~ 5.40 μ mol/L。在赤潮发生期间,海水无机氮含量变化较大。以铵盐和硝酸盐形式存在的无机氮含量随时间的变化趋势与海水总无机氮含量的变化规律较为一致,以亚硝酸盐形式存在的无机氮含量与海水总无机氮含量的变化不太一致。海水亚硝酸盐含量在赤潮发生初期明显升高。在赤潮发生的前期,海水铵盐含量较高,随着赤潮的形成,海水铵盐和硝酸盐含量明显地降低,赤潮后期海水中铵盐和硝酸盐含量逐渐升高。海水中无机氮的主要存在形式为铵盐和硝酸盐。

海水磷酸盐含量的变化范围为 0.04~ 2.12 μ mol/L。赤潮生物数量最高时,磷酸盐含量最高。赤潮发生前一天磷酸盐含量最低,赤潮发生前后磷酸盐含量变化较大。

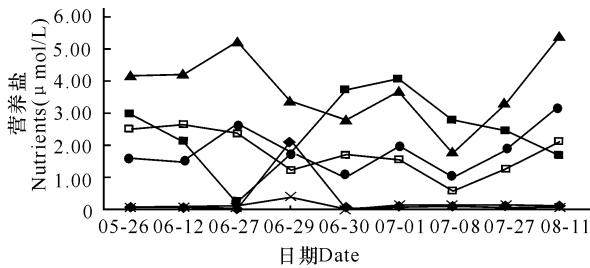


图 2 赤潮发生区营养盐随时间的变化

Fig. 2 The change of Nutrients with time in which red tide occurred

◆: 磷酸盐; ■: 硅酸盐; ▲: 无机氮; ×: 亚硝酸盐; □: 硝酸盐; ●: 铵盐

◆: Phosphate; ■: Silicate; ▲: Inorganic nitrogen; ×: Nitrite; □: Nitrate; ●: Ammonium.

海水硅酸盐含量的变化范围为 0.25~4.05^μmol/L 赤潮发生前几个月,海水硅酸盐含量逐月降低,赤潮发生前达到最低值,随后海水硅酸盐含量升高。海水硅酸盐含量一般在 2.0^μmol/L 以上。

N/P 值变化范围为 1.60~141.82 赤潮发生前一天 N/P 值最高,赤潮生物数量高峰期 N/P 值最低。未发生赤潮期间 N/P 值均高于 16,海区赤潮生物的生长繁殖受磷限制。赤潮发生后,赤潮生物的快速繁殖消耗了海区大量的无机氮(主要是以铵盐和硝酸盐形式存在的无机氮),N/P 值降低为 1.60,赤潮生物的生长繁殖受到了氮限制。

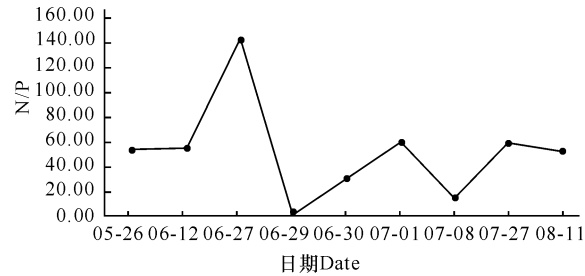


图 3 赤潮发生区 N/P 随时间的变化

Fig. 3 The change of N/P with time in which red tide occurred

2.3 赤潮发生区及邻近海区的富营养状况

涠洲岛附近 A 区、B 区和 C 区无机氮、无机磷和叶绿素 a 含量均未超过单项富营养化的阈值。A 区 COD 在赤潮发生高峰期为 3.0 mg/L,其它时刻均小于 3.0 mg/L。海水富营养化综合指数分析结果认为,涠洲岛附近 A 区、B 区和 C 区的综合指数均小于 1。A 区赤潮高峰期,综合质量指数明显升高,与赤潮发生导致 COD 升高有关。

结合富营养化的单项质量指数和综合指数的分析结果,在调查期间涠洲岛附近海域海水富营养化状况几乎不存在,这与涠洲岛海水交换较好,岛上人口相对较少和工业不发达有关。说明本次红海束毛藻赤

潮的发生与富营养化关系不明显,与近岸其它赤潮生物引发的赤潮调查结果不太相符。2004 年北海市北部海域发生赤潮^[13],该海域海水严重富营养化,与本次赤潮不同。

2.4 赤潮生物与环境因子的关系

赤潮发生区与对照区海水部分环境因子随时间的变化见图 4 和图 5。赤潮发生前一天 A 区的硅酸盐含量极低,海水硅酸盐含量未检出。A 区位于珊瑚礁区,在赤潮发生前海区水温上升,有利于珊瑚虫及共生微藻的生长,可能导致海区硅酸盐含量的降低。硅酸盐是硅藻生长的必需环境因子,硅缺乏可能限制了

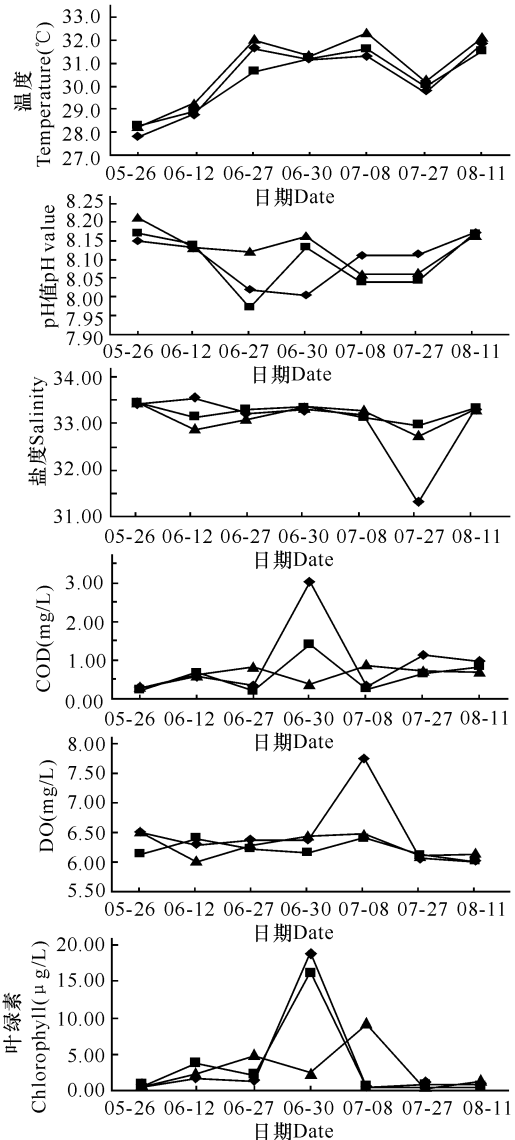


图 4 赤潮发生前后监测区温度、盐度、pH 值、COD、DO 和叶绿素浓度随时间的变化情况

Fig. 4 The change of temperature salinity pH value COD DO and chlorophyll a concentration with time in the monitoring sea area

◆: A, ■: B, ▲: C

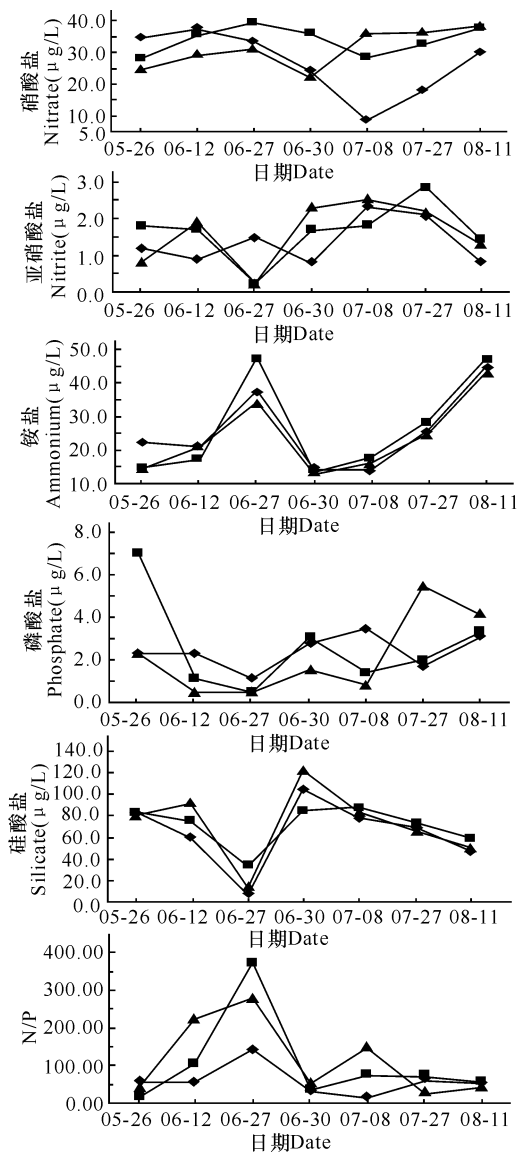


图 5 赤潮发生前后监测区营养盐和 N/P 随时间的变化情况

Fig. 5 The change of Nutrients and N/P with time in the monitoring sea area

◆: A, ■: B, ▲: C

硅藻的生长 赤潮发生前硅藻数量开始降低,红海束毛藻的数量开始升高。红海束毛藻数量最高时,硅藻在赤潮发生区未发现。赤潮后期,随着红海束毛藻数量的降低,硅藻数量升高,海区的硅酸盐含量趋于正常。硅酸盐含量降低,可能限制了硅藻的生长,影响赤潮生物间的竞争。

赤潮发生区与对照区相比较,赤潮发生过程中 B 区和 C 区红海束毛藻数量增加,但是未形成赤潮。赤潮发生前 B 区和 C 区海水硅酸盐含量也明显降低,但是较 A 区高。赤潮发生的前一天 B 区和 C 区磷酸盐含量明显的降低,海水磷酸盐含量检不出,与 A 区不同。N/P 值说明赤潮发生区和对照区赤潮生物生长繁殖长期受到磷的限制。海区赤潮发生前一天 N/P 值最高, B 区和 C 区 N/P 值较 A 区高, B 区和 C 区

赤潮生物受磷的限制更严重。赤潮发生后,海水铵盐和硝酸盐含量均降低, A 区赤潮生物的生长繁殖受氮的限制。虽然红海束毛藻具有一定的生物固氮效应,但是赤潮生物的快速生长繁殖主要以吸收海水中的铵盐和硝酸盐为主。赤潮生物数量变化与海水叶绿素 a 含量变化规律较为一致, A 区在赤潮发生期叶绿素 a 含量最高。A 区、B 区和 C 区海水温度、pH 值、盐度、COD 和 DO 在赤潮前后变化规律基本相同。赤潮发生浅海区海水的温度持续升高, pH 值降低。

红海束毛藻在海区的季节性变化可能与北部湾的水文特征有关。北部湾春夏季为顺时针环流^[14],受南方热带暖流的影响较大。冬季为逆时针环流,受琼州海峡南海北部海水的影响较大。北部湾的环流方向的变化规律与红海束毛藻数量在涠洲岛的数量变化规律相吻合。红海束毛藻是外源性的热带生物种类,在热带海区分布范围较广。红海束毛藻可能在春夏由越南暖流从南海的南部带入北部湾海域。

3 结束语

本次红海束毛藻赤潮是一次非富营养化的赤潮,赤潮发生前海水营养盐的含量变化较大, A 区硅酸盐含量极度降低可能限制了硅藻的生长, B 区和 C 区磷酸盐含量未检出,海水中低含量的磷酸盐阻碍了赤潮的形成。赤潮发生前一天营养盐的不规则变化及北部湾水文特征的季节性变化,可能与本次赤潮的形成有关系。

涠洲岛附近海域的红海束毛藻引发的赤潮与海水的富营养化无关,可能与海洋水文特征变化和海水营养盐的不规则变化有关。夏季为涠洲岛海域红海束毛藻赤潮高发季节,该生物引发的赤潮在夏季已发生 3 次。涠洲岛红海束毛藻发生后,对海区的养殖贝类进行了死亡数量调查并进行腹泻性贝毒和麻痹性贝毒检测。海区的养殖贝类并未发现死亡数量增加,赤潮发生后在海区发现了一些死亡的小鱼小虾。腹泻性贝毒和麻痹性贝毒处于未检出状态。

赤潮的发生是一种自然现象。涠洲岛附近海域属开阔海域,海水交换较好,赤潮的持续时间不会太长,但是小规模赤潮也会影响到珊瑚的生长和养殖业的发展。根据红海束毛藻主要生活在海水表层的生理特点,可以对养殖网具进行适当的处理。在赤潮监测的过程中,如果海水营养盐发生了明显的变化,应加强监测的频率。在赤潮的高发期,如红海束毛藻引发的赤潮在涠洲岛海域多发生在夏季,在这种高发季节应加强监测的频率。由于红海束毛藻可能产生贝毒,如果条件允许,将养殖生物暂时拖离赤潮发生现场,

是保证养殖生物质量的最佳办法。在赤潮发生后,应尽快对海区生物产品进行贝毒检测,特别是神经性贝毒

参考文献:

[1] Devassy V P, Bhattathiri P M A, Qasim S Z. *Trichodesmium phenomenon* [J]. Indian J Mar Sci, 1979, 7: 168-186

[2] Dupouy C, Petit M, Dandonneau Y. Satellite detected cyanobacteria bloom in the southwestern tropical pacific implication for oceanic nitrogen fixation[J]. Int J Remote Sens, 1988, 9: 389-396.

[3] Sivapepun S. Occurrences of red tide in the Gulf of Thailand [R]//Okaichi T, Anderson D M, Nemoto T, (Eds). International Symposium on Red Tides, Takamatsu (Japan), 10-14, 1987, Red Tides Biology, Environmental Science and Toxicology. Elsevier, New York, 1987 41-44.

[4] Carpenter E J, Montoya J P, Burns J, et al. Extensive bloom of a N-2-fixing diatom/cyanobacterial association in the tropical Atlantic ocean [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1999, 185: 273-283

[5] Chang J, Chiang K P, Gong G C, et al. Seasonal variation and cross-shelf distribution of the nitrogen-fixing cyanobacterium, *Trichodesmium*, in southern east China

sea [J]. Cont Shelf Res, 2000, 20: 479-492

[6] Hahn S T, Capra M F. The cyanobacterium *oscillatoria erythraea*-a potential source of toxin in the ciguatera food-chain [J]. Food Addit Contam, 1992, 9: 351-355.

[7] Andrew P Negri, Owen Bunter, Brian Jones, et al. Effects of the bloom-forming alga *Trichodesmium erythraeum* on the pearl oyster *Pinctada maxima* [J]. Aquaculture, 2004, 232: 91-102.

[8] Post A F, Dedej Z, Gottlebl R, et al. Spatial and temporal distribution of *Trichodesmium* spp in the stratified Gulf of Aqaba Red Sea [J]. Mar Ecol Prog Ser, 2002, 239: 241-250.

[9] 周贞英. 平潭岛的东洋水束毛藻 [J]. 福建师范学院学报, 1962, 4: 75-79.

[10] 陈亚瞿. 东海 1972年一次毛藻赤潮的分析 [J]. 水产学报, 1982, 6(2): 181-189.

[11] 陈继梅, 陈典金. 束毛藻引起赤潮水危害坛紫菜的观察 [J]. 海洋科学, 1982, 4: 232-234.

[12] 邹景忠, 董丽萍, 秦保平. 渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨 [J]. 海洋环境科学, 1983, 2(2): 41-55.

[13] 李凤华, 赖春苗. 广西海域赤潮调查及对策建议 [J]. 环境科学与管理, 2007, 32(9): 76-109.

[14] 冯士箴, 李凤岐, 李少菁. 海洋科学导论 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1999: 479-484.

(责任编辑: 邓大玉)

(上接第 179页 Continue from page 179)

间的影响最大,活化温度的影响次之,而活化剂配比、料液比的影响较小,随着活化剂配比的增大,其亚甲基蓝吸附值先增加后下降

(2)其他工艺因素一定时,混合碱活化法制备的甘蔗渣活性炭的亚甲基蓝吸附值随着活化温度的升高或活化时间的延长而呈先增后降的变化规律

(3)混合碱活化法制备甘蔗渣活性炭的最佳工艺条件为:活化剂配比 7.4: 1,活化温度 923K,活化时间 0.42h,料液比 1.18: 1 经优化工艺条件制得的甘蔗渣活性炭的亚甲基蓝吸附值为 12.7 ml/0.1g,为活性炭国家标准 (GB/T13803.4-1999)中一级品的 1.4倍。

参考文献:

[1] Chinnara S, Venkoba R G. Implementation of an UASB anaerobic digester at bagasse-based pulp and paper industry [J]. Biomass and Bioenergy, 2006, 30: 273-277.

[2] Membrillo I, Sánchez C, Meneses M, et al. Effect of substrate particle size and additional nitrogen source on production of lignocellulolytic enzymes by *pleurotus ostreatus* strains [J]. Bioresource Technology, 2008, 99: 7842-7847.

[3] Beukes N, Chan H, Doi R H, et al. Synergistic associa-

tions between *Clostridium cellulovorans* enzymes XynA, ManA and EngE against sugarcane bagasse [J]. Enzyme and Microbial Technology, 2008, 42: 492-498.

[4] Janvijitsakul K, Kuprianov V I. Similarity and modeling of axial CO and NO concentration profiles in a fluidized-bed combustor (co-) firing biomass fuels [J]. Fuel, 2008, 87: 1574-1584.

[5] Dimitrios K, Sophia B, Panagiota P, et al. Production of activated carbon from bagasse and rice husk by a single-stage chemical activation method at low retention times [J]. Bioresource Technology, 2008, 99: 6809-6816.

[6] 蒋卉, 蒋文举, 金燕, 等. ZnCl₂ 微波法制甘蔗渣活性炭工艺条件研究 [J]. 资源开发与市场, 2005, 21(2): 93-94.

[7] 彭金辉, 张世敏, 张利波. 微波辐照甘蔗渣制造活性炭 [J]. 云南化工, 2000, 27(1): 6-7.

[8] 蒙冕武, 蒋治良. 微波法制备甘蔗渣活性炭及表征 [J]. 林产化学与工业, 2000, 20(3): 22-26.

[9] 陈魁. 试验设计与分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1996: 94.

[10] 立本英机, 安部郁夫. 活性炭的应用技术: 其维持管理及存在问题 [M]. 高尚愚, 译. 南京: 东南大学出版社, 2002: 39-40.

(责任编辑: 邓大玉)