

· 调查与评价 ·

黄岛电厂温排水对大型底栖生物群落的影响

赵升^{1,2}, 刘旭东^{1,2}, 张爱君^{1,2}, 刘一霆^{1,2}, 冷宇^{1,2*}

(1. 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室, 山东 青岛 266033;

2. 国家海洋局北海环境监测中心, 山东 青岛 266033)

摘要: 以黄岛电厂温排水邻近海域为研究对象, 2010年9月调查了电厂温排水对该海域大型底栖生物群落结构的影响。在9个站点共采集到大型底栖生物76种, 平均生物量 5.79 g/m^2 , 平均密度 830 m^{-2} 。利用Bray-Curtis相似性聚类对各样本大型底栖生物分析得出, 调查区域可划分为4个群落。各样点Shannon-Wiener多样性指数在2.42~4.25之间, 平均指数为3.67, 其中靠近温排水区域站位的生物多样性呈现下降的趋势。丰度生物量比较(Abundance/biomass comparison, ABC)曲线分析结果显示, 靠近排水口处的大型底栖生物群落受到一定程度的干扰。冗余分析(RDA)结果表明, 水温是影响底栖生物群落变化的最主要因子, 对调查区域大型底栖生物群落变化的解释量达到60.5%, 影响范围为排水口附近温升在 3°C 以上的区域。

关键词: 大型底栖生物; 温排水; 冗余分析; 群落特征; 黄岛电厂

中图分类号: Q178.53 文献标识码: A 文章编号: 1006-2009(2013)04-0018-06

Effects of Thermal Water Discharged from Huangdao Power Plant on Structure of Macrozoobenthos

ZHAO Sheng^{1,2}, LIU Xu-dong^{1,2}, ZHANG Ai-jun^{1,2}, LIU Yi-ting^{1,2}, LENG Yu^{1,2*}

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Ecology and Environment & Disaster Prevention and Mitigation, Qingdao Shandong 266033, China; 2. North China Sea Environment Monitoring Center, SOA, Qingdao Shandong 266033, China)

Abstract: Community composition of the macrozoobenthos in sea area near Huangdao Power Plant and its relationship with environmental factors was studied during September in 2010. The results showed that there were 76 species in total. The average biomass was 5.79 g/m^2 and the average abundance was 830 m^{-2} . Bray-Curtis similarity clustering method analysis revealed the macrozoobenthos community could be divided into four groups. The range of Shannon-Wiener index of macrozoobenthos in the investigated area was 2.42~4.25, with an average of 3.67, which showed a downward trend near from the warm water drainage area. ABC (Abundance/biomass comparison) revealed that macrozoobenthos communities showed an interference near the outfall. The results indicate that temperature is the most important environment factor to affect the distribution of macrozoobenthos community which explaining 60.5% of the macrozoobenthos communities variation by RDA analysis and the influence is mainly limited within the area with 3°C temperature increase.

Key words: Macrozoobenthos; Discharged thermal water; RDA; Community characteristics; Huangdao Power Plant

栖息于底质中的底栖生物, 因其活动能力弱、生活相对稳定、对海洋环境反应敏感, 一直作为指示人为扰动造成对生态系统变化的主要研究对象, 目前国内对底栖动物的群落结构和多样性及其在

收稿日期: 2013-04-07; 修订日期: 2013-07-10

基金项目: 滨海电厂污染损害监测评估及生态补偿技术研究-胶州湾电厂生态影响监测与污染损害评估示范基金资助项目(200905010-5); 北海分局科技基金资助项目(2013B04)

作者简介: 赵升(1982-), 男, 山东青岛人, 工程师, 本科, 主要从事海洋生物生态研究。

* 通讯作者: 冷宇 E-mail: lengyuqd@163.com。

生态系统中的作用等做了很多研究工作^[1-4]。

滨海电厂温排水对受纳水体生态环境造成的影响,一直是电厂建设及海洋环境保护工作需要密切关注的问题,也是海洋管理者研究的一个重要内容。山东黄岛发电厂,始建于 1978 年,坐落在胶州湾西海岸,位于青岛经济开发区内,与现代化大型港口—青岛前湾港毗邻。黄岛电厂经过多期建设,目前总装机容量为 2 050 MW,采用海水作为冷却用水,排水量约为 80 m³/s,电厂运行后的温排水都将给附近海域的生态环境产生一定影响^[5-9]。

以黄岛电厂温排水区域为研究对象,分析研究其大型底栖生物的种类组成、丰度以及群落组成与环境因子之间的关系,以期了解和掌握电厂的运行对周围海域大型底栖生物的影响,并为今后滨海电厂附近水域环境改变对底栖生物产生的影响提供资料。

1 采样与分析

1.1 采样时间与方法

2010 年 9 月 26 日对黄岛电厂温排水区域进行了调查。测站覆盖受温排水影响海域,参照点距出水口大于 2.5 km,共设置 13 个站位,其中底栖生物共设置 9 个站位(其中 HD1,HD2,HD8,HD9 仅进行水温测定),调查站位分布见图 1。

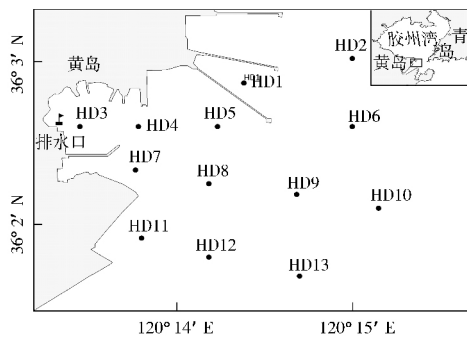


图 1 调查站位设置示意

Fig. 1 Sketch map of sampling stations

采样使用取样面积为 0.05 m² 的抓斗式采泥器,每站取样 2 次,用 0.5 mm 孔径的网筛分选样品。样品的处理、保存、计数等均按文献[10]操作,同时按照文献[11]的技术要求监测并分析各站位的水温及底质沉积物的 pH 值、有机碳、总氮、总磷、硫化物、总汞。

1.2 数据处理及分析

生物多样性指数分析:采用描述生物群落结构的 3 个参数——种类多样性(H')、种类均匀度(J)和种类丰富度指数(M),对大型底栖生物群落结构进行分析,计算公式为:Shannon-Wiener 多样性指数: $H' = - \sum P_i \log_2 P_i$; Pielou 均匀度指数: $J = H' / \log_2 S$; Margalef 丰富度指数: $M = (S - 1) / \ln N$ 。

其中: S 为总物种数; P_i 为种 i 的个体数占总个体数的比例; N 是全部物种的个体数。

物种优势度计算公式为: $Y = (ni/N) \times fi$

式中: ni 为第 i 种的个体数; fi 为该种在各站位出现的频率;当物种优势度 Y > 0.02 时,该种认为是调查海域的优势种。

聚类及 ABC 曲线分析:采用 PRIMER 5 软件根据物种生物密度(m⁻²)平方根转换计算 Bray-Curtis 相似性系数矩阵,采用软件包中等级聚类分析(CLUSRER)进行群落结构分析。同时通过丰度生物量法 ABC 曲线(Abundance & Biomass Comparison curves)对群落的稳定性和受扰动状况进行分析^[12]。

RDA(Redundancy Analysis ,RDA) 分析是利用 CANOCO 4. 5(Canonical Community Ordination) 软件对底栖群落和环境因子进行冗余分析,以研究底栖群落结构与环境因子的相关关系。能从统计学的角度来评价一个或一组变量与另一组多变量数据之间的关系,可以精确分析环境因子对物种分布的影响^[13-15]。

2 结果

2.1 群落组成情况

调查共采集到大型底栖生物 76 种,隶属于扁形、纽形、环节、软体、节肢和棘皮 6 个门类。以多毛类出现的种类数最多,共 39 种,占大型底栖生物种类组成的 51.32%;距离温排水口最远的 HD10 号站出现大型底栖生物种类数最多,为 33 种,位于前湾港进出港航道附近的 HD13 号站出现大型底栖生物种类最少,为 10 种。调查海域的优势种为中蚓虫(*Mediomastus sp.*)、钩毛虫(*Sigambra sp.*)、双栉虫科一种(*Ampharetidae*)、寡鳃卷吻齿沙蚕(*Nephtys oligobranchia*)、拟特须虫(*Paralacydonia paradoxa*)、长叶索沙蚕(*Lumbrineris longifolia*)、指节扇毛虫(*Ampharete anobothrusiformis*)。

大型底栖生物量变化范围为 1.00 g/m² ~

52.33 g/m², 平均为 13.12 g/m²。以靠近南排水口附近的 HD11 站最高, HD13 站最低。该海域大型底栖生物生物量组成以棘皮动物占优势, 其平均生物量为 5.79 g/m², 占底栖生物量组成的 44.2%。其次, 多毛类生物量较高, 平均为 3.12 g/m², 占 23.8%。甲壳类居第三位, 平均为 2.73g/m², 占 20.8%; 软体动物平均生物量为 1.36 g/m², 占 10.4%。生物量平面分布比较均匀, 高值区位于电厂南部排水口邻近海域。大型底栖生物栖息密度变化范围为 110 m⁻² ~ 2 820 m⁻², 平均为 830 m⁻², 大型底栖生物密度组成以多毛类占明显优势, 其平均分布密度为 696.7 m⁻², 占总密度的 83.9%; 软体动物平均分布密度为 31.1 m⁻², 占密度组成的 3.7%; 甲壳类平均分布密度为 81.1 m⁻², 占密度组成 9.8%; 棘皮动物平均分布密度为 11.1 m⁻², 占 1.3%。以靠近北排水口的 HD3 站最高, HD13 站最低。密度高值区出现在排水口邻近海域, 并由此向外递减。

2.2 群落结构分析

电厂附近海域大型底栖动物样品多样性指数值如表 1 所示, Shannon-Wiener 多样性指数为 2.42 ~ 4.25, 平均指数为 3.67。丰富度指数为 1.91 ~ 4.43, 平均指数为 3.20。均匀度指数为 0.49 ~ 0.99, 平均指数为 0.85。大型底栖生物多样性指数显示为自近岸向远岸递增的分布趋势。

聚类分析表明, 电厂温排水附近区域大型底栖动物依据 40% 的相似性可划分为 4 个群落(图 2)。HD3、HD11、HD13 各组成一个群落, 其余站位大型底栖生物形成群落 IV, 其中 HD3 站位的大型底栖生物组成与其余站位相似性较低。One-way ANO-SIM 检验表明各群落间差异极为显著(*R* = 0.797, *P* = 0.012)。

表 1 大型底栖生物多样性指数

Table 1 The diversity indices of macrozoobenthos

站点	种类 (S)	丰富度指数 (M)	均匀度指数 (J)	多样性指数 (H')
HD2	22	3.43	0.92	4.11
HD3	31	3.78	0.49	2.42
HD4	23	3.41	0.87	3.93
HD5	23	3.34	0.90	4.06
HD7	25	3.66	0.85	3.95
HD10	33	4.43	0.84	4.25
HD11	13	2.14	0.89	3.30
HD12	17	2.73	0.91	3.71
HD13	10	1.91	0.99	3.28
平均值	21.89	3.20	0.85	3.67

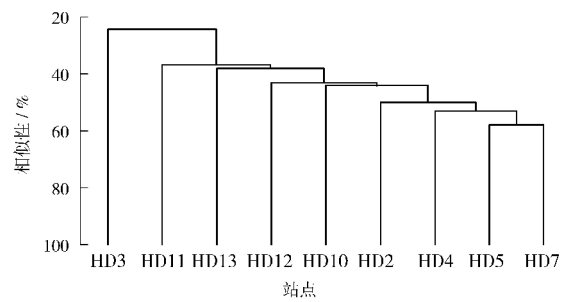
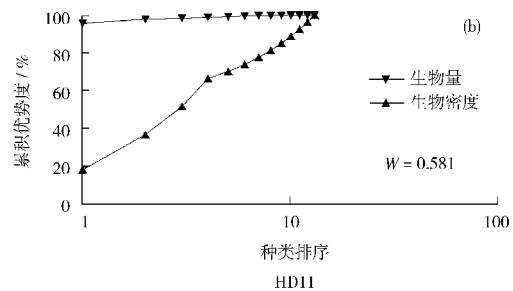
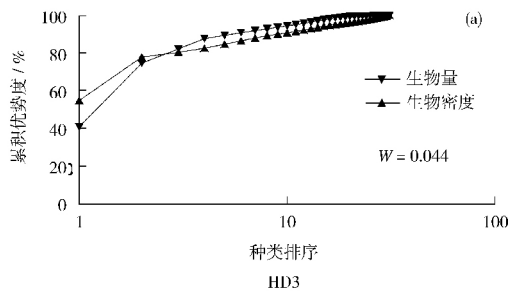


图 2 群落结构聚类分析

Fig. 2 Cluster of macrozoobenthos in seaarea near Huangdao Power Plant based on BC index

2.3 各群落稳定性

如图 3(a) (b) (c) (d) 所示, HD3 站位的丰度生物量的 ABC 曲线出现交叉的现象, 表明调查海域中此站位大型底栖生物受到一定程度的扰动, 群落的稳定性较差。其余的站位大型底栖生物群落结构比较稳定。



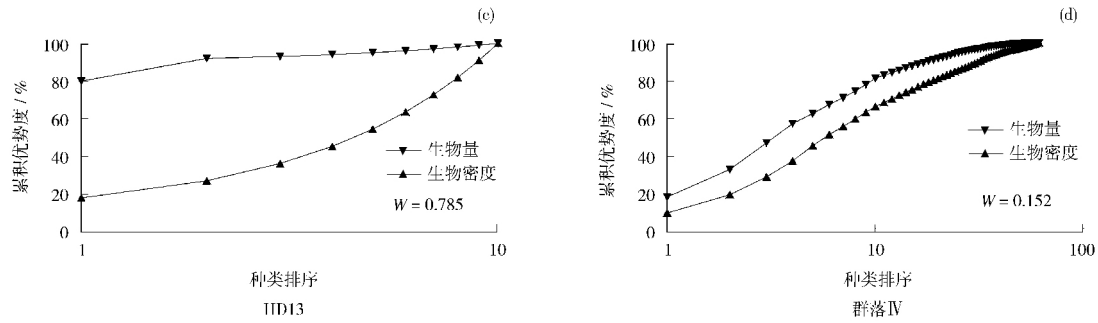


图 3 电厂附近海域各站位大型底栖动物 ABC 曲线

Fig. 3 ABC curves of macrobenthic groups in seaarea near Huangdao Power Plant

2.4 主要温升区域及与环境因子的关系

电厂附近海域表层海水水温的变化范围在 23.73 °C ~ 27.67 °C 之间, 平均为 24.68 °C, 其表层水温平面分布呈自近岸向远海递减的趋势(图 4), 电厂温排水口处形成明显的高温区, 表层水温 1 °C 温升等值线位于湾口外, 距温排水口 1 km 左右。其中 HD3 站位水温最高为 27.67 °C。表 2 则显示了 HD3 站位环境因子与总体均值的比较, 可以发现只有温度明显高于调查区域平均范围。

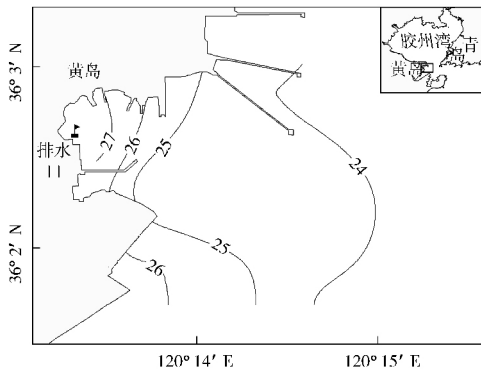


图 4 电厂附近海域水温分布特征(°C)

Fig. 4 The Temperature distribution in surveyed sea(°C)

表 2 HD3 站位各项环境因子值与总均值比较

Table 2 Compared with the total average HD3 each environmental factor value

因子	范围	平均	标准差	HD3
温度/°C	23.74 ~ 27.67	24.7	1.24	27.67
盐度/‰	29.52 ~ 29.89	29.79	0.11	29.77
w(总汞) (mg · kg ⁻¹)	0.02 ~ 0.03	0.03	0	0.02
w(硫化物) (mg · kg ⁻¹)	27.50 ~ 49.40	36.16	7.04	36.8
w(有机碳) (mg · kg ⁻¹)	0.60 ~ 0.89	0.75	0.12	0.69
w(总磷) (mg · kg ⁻¹)	0.51 ~ 0.80	0.64	0.09	0.63
w(总氮) (mg · kg ⁻¹)	0.20 ~ 0.32	0.26	0.04	0.32

以底栖动物优势种密度平方根为变量, 采用去趋势对应分析(Detrended Correspondence analysis, DCA)对采集的 9 个站位大型底栖动物进行排序。结果表明, 第 1 轴特征值最大为 0.471, 体现了最多的生态信息, 从排序轴上看第一轴长度(Lengths of gradient)最长为 1.620, 据此采用基于线性模型的排序方法冗余分析(RDA)分析群落与环境的关系。

以 9 个站位出现的底栖动物优势种密度平方根为响应变量, 以水温及底质沉积物的 pH 值、有机碳、总氮、总磷、硫化物、总汞 7 个环境因子测量值作为解释变量, 进行 RDA 分析, 并对分析结果进行 499 次变换的蒙特卡罗置换检验(Monte Carlo permutation tests)结果见表 3。温度能显著地对群落数据进行解释(P < 0.05), 其解释了 60.5% 的群落变化; 其次为总氮含量, 解释了 25.8% 的群落变化(P > 0.05), 将水温(TEM)作为唯一环境因子进行 RDA 分析, 结果如图 5 所示, 拟特须虫是受温度影响最大的大型底栖生物, 且与温度呈负相关关系。与温度成正相关关系的中蚓虫、长叶索沙蚕的密度变化是造成 HD3 站位大型底栖生物群落结构

表 3 环境因子的显著性分析结果

Table 3 importance and significance of environmental factors

因子	解释率/%	显著性
温度	61	0.028
总氮	26	0.302
总汞	8	0.46
盐度	4	0.43
有机碳	3	0.122
硫化物	2	0.58
总磷	1	0.68

形成独立一支的主要原因;寡鳃卷吻齿沙蚕、双栉虫的密度变化是造成 HD11、HD13 站位大型底栖生物群落结构形成独立一支的主要原因。

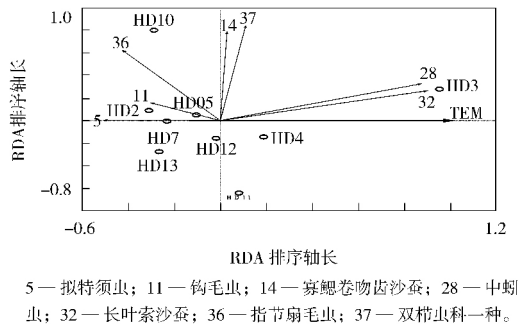


图 5 RDA 分析浮游植物群落随水温梯度变化分布
Fig. 5 Species-environment biplot from RDA summarizing differences in macrozoobenthos communities along the temperature gradient

3 讨论

3.1 群落结构及稳定性

根据黄岛电厂温排水区域调查数据资料总体分析,调查海域大型底栖生物种类比较丰富,生物多样性指数总体较高。李新正等^[16]与于海燕等^[17]曾报道 1998 年胶州湾底栖动物物种多样性指数平均约在 3.50;而这次调查海域外围部分与当年调查的 8 号(其秋季 H' 值为 4.32, M 值为 3.35, J 值为 0.94) 站位接近,相比生物多样性指数变化不大。这也与 2000 年—2009 年胶州湾底栖生物的种类数量变化研究结果一致^[18-19]。其中只有邻近排水口的 HD3 站位的大型底栖生物种类、数量及其优势种的特征与邻近站位有较大的差别,且群落结构的各参数值呈明显下降趋势。长叶索沙蚕在此站位处于明显优势地位,优势度达 55%,均表明该站位大型底栖生物的生境已受损,温排水有可能对大型底栖生物产生了不利影响,这与以往的研究结果也相一致^[20-22]。

丰度生物量比较法(ABC 方法)是利用大型底栖生物群落结构特征监测海洋环境污染状况,该方法因具有原理简单、统计计算简便、结果易于分析等优点,在国际国内得到了广泛的应用,取得了良好的效果^[23-24]。比较表明,HD3 站位大型底栖生物群落稳定性受到一定程度的扰动,区域内以小个体的长叶索沙蚕和中蚓虫占明显优势,群落稳定性较差。

3.2 温升对大型底栖动物的影响

温度能够影响生物的生长、发育和繁殖,从而影响生物的种类数量、生物量和分布范围。温度对大型底栖生物的影响虽然不及对海洋表层浮游生物和游泳生物的影响剧烈,但对栖息在温度有明显变化海底的大型底栖生物也有较大的影响^[25]。RDA 分析结果表明,水体温度是影响电厂附近海域大型底栖生物结构变化的主要因素,并且是决定 HD3 站位种类组成与其他站位种类组成不同的主要原因。在调查海域的增温水体中:当水体适度增温时($\Delta T \leq 3^\circ\text{C}$),其底栖生物群落结构尚属稳定,但在水体强增温($\Delta T > 3^\circ\text{C}$)的 HD3 站位由于邻近温排口,与其他测站的温差较大,同时受进、排水口之间隔离坝的影响,使得区域内的水流较急,该区域底栖生物群落受到温排水的持续影响。上述两方面的共同作用,导致该区域底栖生物群落以底埋性小个体的种类为主,底上生物和大个体动物种类出现极少,表现出样品的丰富度和多样性指数值较低,优势度较高,群落稳定性较差。分析发现,该区域的优势种——拟特须虫、中蚓虫、长叶索沙蚕等物种密度值受温度影响较大。

研究结果表明,温排水口附近较高的温度使不同种类的大型底栖生物分布产生了差别,进而使其群落产生了一定的变化,在靠近热源的 HD3 站位受其影响大型底栖生物的多样性降低,群落稳定性较差,需要加强关注,进行更进一步的连续跟踪生态学调查。

[参考文献]

- [1] 袁兴中,陆健健,刘红. 长江口新生沙洲底栖动物群落组成及多样性特征[J]. 海洋学报, 2002, 24(2): 133-139.
- [2] 何雪宝,刘学勤,崔永德,等. 贝加尔湖沿岸带不同生境底栖动物群落研究[J]. 水生生物学报, 2011, 35(3): 516-522.
- [3] 周晓,王天厚,葛振鸣,等. 长江口九段沙湿地不同生境中大型底栖动物群落结构特征分析[J]. 生物多样性, 2006, 14(2): 165-171.
- [4] 杜飞雁,林钦,贾晓平,等. 大亚湾西北部春季大型底栖动物群落特征[J]. 生态学报, 2011, 31(23): 7075-7085.
- [5] 杨耀芳,蔡燕红,魏永杰,等. 象山港国华宁海电厂附近海域底栖生物的调查研究[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(A01): 79-82.
- [6] 刘莲,任敏,陈丹琴,等. 象山港乌沙山电厂附近海域的底栖生物状况[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(A01): 19-22.
- [7] 徐晓群,曾江宁,曾淦宁,等. 滨海电厂温排水对浮游动物分布的影响[J]. 生态学杂志, 2008, 27(6): 933-939.

- [8] SNOEIJIS P J M, PRENTICE I C. Effects of cooling water discharge on the structure and dynamics of epilithic algal communities in the northern Baltic [J]. *Hydrobiologia*, 1989, 184: 99 - 123.
- [9] POORNIMAA E H, RAJADURAI M, RAOB T S, et al. Impact of thermal discharge from a tropical coastal power plant on phytoplankton [J]. *Journal of Thermal Biology*, 2005, 30(4): 307 - 316.
- [10] 国家海洋局. GB/T 12763 - 2007 海洋调查规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [11] 国家标准化管理委员会. GB 17378 - 2007 海洋监测规范 海水分析 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [12] 周红, 张志南. 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用 [J]. *青岛海洋大学学报(自然科学版)* 33(1): 58 - 64.
- [13] 董旭辉, 羊向东, 刘恩峰, 等. 冗余分析(RDA)在简化湖泊沉积指标体系中的应用——以太白湖为例 [J]. *地理研究*, 2007 26(3): 477 - 484.
- [14] BORCARD D, LEGENDRE P, DRAPEAU P. Partialling out the spatial component of ecological variation [J]. *Ecology*, 1992, 73: 1045 - 1055.
- [15] SANDRA D, MARCELO G, FERNADO G. Plant functional traits and environmental filters at a regional scale [J]. *Journal of Vegetation Science*, 1998, 9: 113 - 122.
- [16] 李新正, 于海燕, 王永强, 等. 胶州湾大型底栖动物的物种多样性现状 [J]. *生物多样性* 2001 09(1): 80 - 84.
- [17] 于海燕, 李新正, 李宝泉, 等. 胶州湾大型底栖动物生物多样性现状 [J]. *生态学报* 2006 26(02): 416 - 422.
- [18] 王金宝, 李新正, 王洪法, 等. 2005 - 2009 年胶州湾大型底栖动物生态学研究 [J]. *海洋与湖沼* 2011, 42(5): 728 - 737.
- [19] 王洪法, 李新正, 王金宝. 2000 - 2009 年胶州湾大型底栖动物的种类组成及变化 [J]. *海洋与湖沼* 2011, 42(5): 738 - 752.
- [20] 杨俊毅, 高爱根, 陈全震, 等. 拟建宁海电厂附近潮间带底栖生物群落生态 [J]. *东海海洋* 2004 22(3): 48 - 55.
- [21] 金腊华, 黄报远, 刘惠旋, 等. 湛江电厂对周围水域生态的影响分析 [J]. *生态科学* 2003 22(2): 165 - 167.
- [22] 郑琳, 张爱君, 曲亮, 等. 青岛滨海电厂温排水对海洋生态环境影响研究现状 [J]. *海洋开发与管理* 2012, 29(9): 94 - 97.
- [23] 田胜艳, 于子山. 丰度/生物量比较曲线法监测大型底栖动物群落受污染扰动的研究 [J]. *海洋通报* 2006 25(1): 92 - 96.
- [24] 杨俊毅, 高爱根, 王春生, 等. 坎门排污工程邻近海域大型底栖生物生态特征 [J]. *海洋环境科学* 2003 22(3): 52 - 55.
- [25] 李宝泉, 李新正, 于海燕, 等. 胶州湾底栖软体动物与环境因子的关系 [J]. *海洋与湖沼* 2005 36(3): 193 - 198.

• 简讯 •

欧盟批准 2020 年汽车尾气排放新标

人民网消息 欧盟日前就汽车 CO₂ 排放标准达成一致,到 2020 年欧盟范围内新车 CO₂ 排放必须控制在 95 g/km 以内。

欧盟轮值主席国爱尔兰表示,协议在环境保护与经济发展之间采取了平衡。爱尔兰环境部长菲尔·霍根(Phil Hogan)说“这项协议对于改善气候、造福消费者、鼓励创新、提供就业机会以及创建低碳社会等,能达到多赢的效果。”

根据协议,欧盟汽车制造商将根据其自身的性质以及过去的削减量,分配单独的指标任务。然而,路透社表示,生产低污染汽车花费巨大,且将缩小利润空间,德国为保护其宝马和戴姆勒等豪华汽车制造商的权益,允许他们继续生产高污染、高排放的汽车,此举给新标准的达成造成了一定的困难。

事实上,欧盟成员国没有采纳德国“超级信用”的提议,即 2020 年排放新规颁布之前,如果制造商生产电动汽车等低排放车辆,可用于抵消 2020 年之后的 CO₂ 排放量。此后,德国又对提议进行了修改,再次努力为汽车制造商赢取时间。

但欧盟委员会则表示,妥协太多意味着生产者可以继续生产高排放汽车,排放水平将无法达到 2020 年的 95 g/km 的目标。

根据国际清洁交通委员会数据,2011 年德国新车平均排放水平为 147 g/km,在欧盟各国中偏高。欧盟的平均水平是 132 g/km 左右,所以德国须在 2015 年前达到 130 g/km 的阶段性目标。

环境主义者就本次协议的达成表示欢迎,称协议颁布表明朝着正确的方向在走。交通与环境部成员格雷格·阿彻(Greg Archer)说“如果决策者把重点放在高效汽车的长期规划,而不是短期、狭隘的汽车制造商利益上,那么对于欧盟未来的经济发展、就业以及消费者来说更加有利。”

摘自 www.jshb.gov.cn 2013 - 07 - 03