

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 10 期 Vol.32 No.10 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 10 期

2012 年 5 月 (半月刊)

目次

基于系统动力学的城市住区形态变迁对城市代谢效率的影响.....	李旋旗,花利忠 (2965)
居住-就业距离对交通碳排放的影响	童抗抗,马克明 (2975)
经济学视角下的流域生态补偿制度——基于一个污染赔偿的算例	刘涛,吴钢,付晓 (2985)
旅游开发对上海滨海湿地植被的影响.....	刘世栋,高峻 (2992)
汶川地震对大熊猫主食竹——拐棍竹竹笋生长发育的影响.....	廖丽欢,徐雨,冉江洪,等 (3001)
江西省森林碳蓄积过程及碳源/汇的时空格局.....	黄麟,邵全琴,刘纪远 (3010)
伊洛河流域草本植物群落物种多样性.....	陈杰,郭屹立,卢训令,等 (3021)
新疆绿洲农田不同连作年限棉花根际土壤微生物群落多样性.....	顾美英,徐万里,茆军,等 (3031)
荒漠柠条锦鸡儿 AM 真菌多样性.....	贺学礼,陈杰,郭辉娟,等 (3041)
彰武松、樟子松光合生产与蒸腾耗水特性	孟鹏,李玉灵,尤国春,等 (3050)
中亚热带常绿阔叶林粗木质残体呼吸季节动态及影响因素.....	刘强,杨智杰,贺旭东,等 (3061)
盐土和沙土对新疆常见一年生盐生植物生长和体内矿质组成的影响	张科,田长彦,李春俭 (3069)
长白山北坡林线灌木草本植物与岳桦的动态关系.....	王晓东,刘惠清 (3077)
不同生态条件对烤烟形态及相关生理指标的影响.....	颜侃,陈宗瑜 (3087)
基于因子分析的首蓿叶片叶绿素高光谱反演研究	肖艳芳,官辉力,周德民 (3098)
三峡库区消落带水淹初期土壤种子库月份动态.....	王晓荣,程瑞梅,唐万鹏,等 (3107)
三种利用方式对羊草草原土壤氨氧化细菌群落结构的影响.....	邹雨坤,张静妮,陈秀蓉,等 (3118)
西洋参根残体对自身生长的双重作用	焦晓林,杜静,高微微 (3128)
不同程度南方菟丝子寄生对入侵植物三叶鬼针草生长的影响	张静,闫明,李钧敏 (3136)
山东省部分水岸带土壤重金属含量及污染评价.....	张菊,陈诗越,邓焕广,等 (3144)
太湖蓝藻死亡腐烂产物对狐尾藻和水质的影响.....	刘丽贞,秦伯强,朱广伟,等 (3154)
不同生态恢复阶段无瓣海桑人工林湿地中大型底栖动物群落的演替.....	唐以杰,方展强,钟燕婷,等 (3160)
江西鄱阳湖流域中华秋沙鸭越冬期间的集群特征.....	邵明勤,曾宾宾,尚小龙,等 (3170)
秦岭森林鼠类对华山松种子捕食及其扩散的影响	常罡,王开锋,王智 (3177)
内蒙古草原小毛足鼠的活动性、代谢特征和体温的昼夜节律	王鲁平,周顺,孙国强 (3182)
温度和紫外辐射胁迫对西藏飞蝗抗氧化系统的影响.....	李庆,吴蕾,杨刚,等 (3189)
“双季稻-鸭”共生生态系统 C 循环	张帆,高旺盛,隋鹏,等 (3198)
水稻籽粒灌浆过程中蛋白质表达特性及其对氮肥运筹的响应.....	张志兴,陈军,李忠,等 (3209)
专论与综述	
海水富营养化对海洋细菌影响的研究进展	张瑜斌,章洁香,孙省利 (3225)
海洋酸化效应对海水鱼类的综合影响评述.....	刘洪军,张振东,官曙光,等 (3233)
入侵种薇甘菊防治措施及策略评估.....	李鸣光,鲁尔贝,郭强,等 (3240)
研究简报	
渭干河-库车河三角洲绿洲土地利用/覆被时空变化遥感研究	孙倩,塔西甫拉提·特依拜,张飞,等 (3252)
2009 年冬季东海浮游植物群集	郭术津,孙军,戴民汉,等 (3266)
新疆野生多伞阿魏生境土壤理化性质和土壤微生物.....	付勇,庄丽,王仲科,等 (3279)
塔里木盆地塔里木沙拐枣群落特征	古丽努尔·沙比尔哈孜,潘伯荣,段士民 (3288)
矿区生态产业共生系统的稳定性.....	孙博,王广成 (3296)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-05	



封面图说: 哈巴雪山和金沙江——“三江并流”自然景观位于青藏高原南延部分的横断山脉纵谷地区,由怒江、澜沧江、金沙江及其流域内的山脉组成。它地处东亚、南亚和青藏高原三大地理区域的交汇处,是世界上罕见的高山地貌及其演化的代表地区,也是世界上生物物种最丰富的地区之一。哈巴雪山在金沙江左岸,与玉龙雪山隔江相望。图片反映的是金沙江的云南香格里拉段,远处为哈巴雪山。哈巴雪山主峰海拔 5396 m,而最低江面海拔仅为 1550 m,山脚与山顶的气温差达 22.8℃,巨大的海拔差异形成了明显的高山垂直性气候。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201104240539

张瑜斌, 章洁香, 孙省利. 海水富营养化对海洋细菌影响的研究进展. 生态学报, 2012, 32(10): 3225-3232.

Zhang Y B, Zhang J X, Sun X L. Advances in influence of seawater eutrophication on marine bacteria. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(10): 3225-3232.

海水富营养化对海洋细菌影响的研究进展

张瑜斌*, 章洁香, 孙省利

(广东海洋大学海洋资源与环境监测中心, 湛江 524088)

摘要:综述了海水富营养化对海洋细菌影响的研究进展。随着海水富营养化程度的增加, 海洋细菌数量或生物量增加; 反硝化细菌、大肠菌群尤其是厌氧性的硫酸盐还原菌和产甲烷菌等典型细菌生理群数量增加; 浮游细菌群落结构随富营养化递增趋于简单, 物种多样性降低; 富营养化也明显导致细菌群落正常功能活性的紊乱。海水富营养化对细菌群落的结构和功能有着深远的影响。

关键词:海水富营养化; 细菌群落; 结构与功能; 影响

Advances in influence of seawater eutrophication on marine bacteria

ZHANG Yubin*, ZHANG Jiexiang, SUN Xingli

Monitoring Center for Marine Resources and Environments, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China

Abstract: Input of excessive macronutrients (e.g., nitrogen or phosphorus) and organic matter results in a change in the trophic status of a body of water, and leads to eutrophication in the coastal sea areas. In response to these changes, the biological community, particularly the microbial community, will alter. Microorganisms are sensitive and easily influenced by eco-factors such as temperature, organic matter, etc., in which marine heterotrophic bacteria are able to utilize dissoluble organic matter to perform a “second production” coupling with the classic grazing food chain, and causing a cycle of matter. Multiple measurement methods indicate that the abundance and biomass of bacterioplankton are greater in eutrophic coastal areas than in normal and clean sea areas. Furthermore, with the intensifying eutrophication of seawater, the concentration of chlorophyll *a* increases in the water body, enabling rapid growth and resulting in significant biomass of bacterioplankton. To date, the population density and biomass of bacterioplankton have not been found to decline with the eutrophication of seawater. Bacterial physiological groups include species that carry out the same function but exhibit different morphological characteristics and belong to different taxa; these groups are closely associated with eutrophication and include nitrifying bacteria, denitrifying bacteria, coliform bacteria, anaerobic sulfate-reducing bacteria, and methanogens and so on. The processes of nitrification and denitrification intensify in a manner that is not in proportion with increasing eutrophication in coastal areas or bays; therefore, nitrifying and denitrifying bacteria are more abundant in aquatic, in particular benthic, habitats. The presence of sulfate-reducing bacteria and methanogens indicates an anaerobic habitat; in addition, their population densities directly respond to an anaerobic status to some extent. Eutrophication of a water body easily leads to an anaerobic habitat and a lower oxidation-reduction potential, favoring the growth and reproduction of sulfate-reducing bacteria. The methanogen population will subsequently increase in extremely anaerobic habitats, especially benthic sediments. Coliform bacteria are microbial indicators of the marine environment, and their population indicates the extent of eutrophication on the basis of leading factors resulting from land input in coastal areas.

基金项目: 国家海洋公益性行业科研专项(200905005-05, 201105008-E)

收稿日期: 2011-04-24; 修订日期: 2011-10-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangyb@gdou.edu.cn

Therefore, almost all studies show that the population of coliform bacteria decreases from landward stations to seaward ones. Studies of bacterial community structure in seawater mesocosms differing in nutrient status reveal that the eutrophication of seawater decreases the diversity of bacterioplankton species, resulting in a simpler community structure, although the available organic and inorganic matter might greatly affect bacterial species in eutrophic sea areas, altering community structure on a spatial-temporal scale. Meanwhile, well-balanced bacterial function is also disturbed by seawater eutrophication. The production of bacterioplankton is higher in eutrophic sea areas than in oligotrophic ones. With the increasing eutrophication of sea water, the ratio of total dissolved organic carbon to microbial available organic carbon increases, the enzymatic decomposition potential of substrates and remineralization rates of matter rise, the ratio of protein to carbohydrate decomposing enzymes increases, and the ratio of oxygen to sulfate respiration and oxygen penetration depths in sediments decreases; on the other hand, nitrification and denitrification rates, fluxes of ammonia and phosphate, and emission of nitrous oxide and methane also increase. From these data, it is apparent that seawater eutrophication deeply influences bacterial community structure and function.

Key Words: seawater eutrophication; bacterial community; structure and function; influence

富营养化是在一定的水体范围内,随着营养物质的增加,从而导致水体营养状况发生改变的一个过程^[1]。海水富营养化主要由陆源营养物质的输入引起,所以富营养化一般出现在沿岸的浅海和海湾,尤其是河流入海的河口区。河口、海湾与沿岸海域的富营养化已成为世界范围内一个突出的生态环境问题^[2-5],由此引起海水水质恶化及生态系统衰退,局部海域出现藻华或赤潮等^[4-5]。在海洋生态系统中,海洋细菌是较为敏感且易受生存环境影响的微小生物类群,它们能产生分解有机物的各种酶,将复杂的有机物分解,并释放出无机物,从而促进了生态系统营养物质的循环过程;另外海洋异养细菌还能吸收利用可溶性有机营养物质进行二次生产,所形成的细胞颗粒通过浮游动物的摄食进入下一个营养级并与牧食食物链偶联,形成微型生物食物环。海洋中的细菌是海洋生态系统的重要组成成分之一,在一定条件下,海水中的细菌与其生存的环境之间互相联系、互相制约;当海水富营养化时,生存其中的细菌的种群数量、群落结构及其功能也会发生相应变化。本文综述了近年来海水富营养化对海洋细菌影响的若干研究进展。

1 近岸海域水体富营养化的形成与危害

近年来,近岸海域由于陆源输入大量的 N、P 和 Si 等营养物质和大量可供微生物分解利用的有机物(包括城市生活污水、工业废水、农业化肥过量使用等),从而改变了水体中的营养状态,虽在一定程度上可以提高浮游植物初级生产力,且次级生产力也相应有所增加,但由于陆源输入 N、P、Si 等营养物质不成比例,对浮游生物和底栖生物的群落结构及其季节变化产生影响^[6-7],由此改变了传统的牧食食物链(浮游植物→浮游动物)和微型生物食物环的能量负荷,引起了更高营养级的生物类群的变化。水体营养程度的增加,浮游植物大量繁殖,浮游动物生物量也相应增加;随后大量的浮游动植物死亡,水体表层有机物向底层转移,死亡的浮游动植物在腐解过程中消耗水体中大量的氧气,使得溶解氧含量下降、氧化还原势降低,水体生态环境恶化^[1],底层水体形成了厌氧环境^[1]。在此条件下,一些厌氧细菌通过消耗硫酸盐和硝酸盐进行代谢,从而在水体中产生 H_2S 、 NH_3 之类的有毒气体^[8],形成恶性循环,使得整个底栖生物群落遭到破坏,进而影响整个水域生物的生长发育,导致生态系统衰退。

2 海水富营养化对细菌数量或生物量的影响

富营养化对海洋营养物质(C、N、P、Si 等)循环、水体质量、生物多样性以及整个近岸海域生态系统健康都产生极大的影响^[8-9],而具有快速生长速率的细菌作为水生环境中重要的生物组分,能够通过其生产力和对物质循环的作用,对海洋环境的微弱变化(包括污染、理化性质和生物环境)产生敏感而快速的反应,从而起到指示效应^[9]。多年来,许多学者通过传统的培养计数法^[10-11]、荧光显微计数法^[12-13]和现代流式细胞仪计数^[14-15]等方法对全世界各个海域的细菌数量或生物量进行了大量的研究,其中不乏各种不同营养程度的海

区以及同一个海区中不同营养梯度下的细菌数量和生物量的研究报道。在叶绿素 a 含量偏低的贫营养化海区,浮游细菌丰度较低,如贫营养的白令海^[16],表层浮游细菌丰度为 0.7×10^5 — 10.1×10^5 个/mL,平均为 5.1×10^5 个/mL,其相应的细菌生物量为 1.5—20.2 $\mu\text{g C/L}$,平均为 10.1 $\mu\text{g C/L}$,且浮游细菌丰度与叶绿素 a 浓度有着相同的空间分布格局。而在中营养化的印度西海岸 Donna Paula 湾,浮游细菌数有所上升,为 6×10^5 — 35×10^5 个/mL^[17],相应的细菌生物量为 12.0—70.1 $\mu\text{g C/L}$ 。在水体营养程度较高的渤海湾天津海域,荧光显微计数显示浮游细菌丰度为 5.3×10^5 — 192×10^5 个/mL,平均丰度为 31.7×10^5 个/mL,相应的生物量变化范围为 10.6—384 $\mu\text{g C/L}$,平均生物量为 63.4 $\mu\text{g C/L}$ ^[10]。在不同营养程度的海域,细菌数量或生物量随营养程度的递增而增加。在同一海湾,细菌种群数量或生物量也会随着营养梯度变化而变化。在我国海南三亚湾^[18],受陆源输入影响,水体营养程度由湾内向湾外、近岸向离岸递减,而浮游细菌数量和生物量也呈现由湾内向湾外、近岸向离岸递减的空间分布格局。在德国的 Pomeranian 湾进行不同营养梯度的微生物学研究也发现^[19],高度富营养化海域细菌生物量比中度富营养化海域高,在高度富营养化海域的浮游细菌生物量高达 163 $\mu\text{g C/L}$,而中度富营养化海域的浮游细菌生物量波动范围为 27—134 $\mu\text{g C/L}$ 。而在日本 Seto 内陆海的研究中也有相似的结果^[20],该海域浮游细菌的丰度与作为评价水体营养程度指标的叶绿素 a 的含量有较好的正相关关系,且各调查站位的浮游细菌丰度随着海区的不同富营养化程度而变化,富营养化程度较高的站位,其浮游细菌丰度也相应较高^[20]。在我国富营养化的渤海湾海区,春季的浮游细菌丰度高达 106.72×10^9 个/mL,浮游细菌丰度也是随着营养梯度变化,呈现营养程度较高的近岸海区数量较多(在黄河口附近形成高值区),向着营养程度较低的离岸海区数量逐渐降低的分布格局,且海湾中部的丰度普遍低于海湾沿岸区^[21]。总之,在各个富营养化程度高的海区,浮游细菌丰度和生物量都远大于其他自然的海区,且随着营养程度的上升,浮游细菌数量或生物量增大。迄今为止,尚未见有随着富营养化程度的增加而浮游细菌数量或生物量减少的文献报道。

3 富营养化对细菌生理群的影响

细菌生理群是相同或不同形态执行着同一种功能的一类细菌^[22]。如反硝化细菌(包括硝酸盐还原菌)、大肠菌群、产甲烷菌、硫酸盐还原菌等。在海洋微生物的研究中,这些与水体富营养化关系密切的特殊细菌生理群也受到学者们的重视。王亚南等对海水养殖区沉积物中各种细菌生理群数量的研究发现,氨化细菌和硝酸盐还原菌成为富营养化海区沉积物中的优势细菌生理群^[23]。对我国胶州湾不同富营养化梯度的沉积物中硝酸盐还原菌的 *NirS* 功能基因的研究发现^[24],胶州湾中大部分的 *NirS* 基因序列与最初在河口、海洋沉积物发现的基因序列最为相似,表明尽管属于地理远源类型,但硝酸盐还原细菌群落在相似的沿海环境中还是相似的;多元数据统计表明,编码 Fe 类型酶的硝酸盐还原细菌的时空分布与环境因子显著相关,编码 Fe 类型酶硝酸盐还原细菌属在富营养化的站位比在营养程度不高的海区则比较容易纯化区别^[24]。沉积物中反硝化细菌的群落结构与分布同时也受地理沉积学影响,Reil 和 Köster 认为随水体富营养化的增加^[1],硝化作用不呈比例的相应增加,表明硝化细菌种群数量也随富营养化程度相应增加;反硝化作用和反硝化细菌也是如此,但反硝化作用强度不与外源氮的输入成比例,而依赖于供给的硝酸盐的多少(部分来自硝化过程、部分来自外源输入)^[1]。但在海水富营养化进程中,对硝化细菌和反硝化细菌(或硝酸盐还原菌)生理群的响应研究还较为少见。

硫酸盐还原菌是以硫酸盐作为有机物氧化时的最终电子受体,最终产物形成 H_2S 或者 S^{2-} 的一类细菌生理群^[25-26],广泛分布于从低纬度到高纬度各个海域的厌氧沉积环境中。硫酸盐还原菌的存在代表了厌氧环境的发生,其种群数量的多少一定程度上反映了厌氧程度的高低,而水体富营养化极易导致厌氧环境的发生,因此硫酸盐还原菌种群数量多少在一定程度上能指示水体营养程度的高低。已有的研究表明,一般情况下,硫酸盐还原菌数量与溶解氧含量成负相关,而与水体营养程度呈正相关^[27];陈皓文等用最大可能数字法(MPN)研究北部湾东侧沉积物的硫酸盐还原菌时发现^[28],其种群数量与 pH 值、氧化还原电位、温度呈现负相关关系,氧化还原电位低的富营养化生境,有利于硫酸盐还原菌种群的生长繁殖。在对受污染的黑海的研

究中发现^[29],在硫酸盐带,硫酸盐还原菌为优势种,硫酸盐还原菌也出现在产甲烷带;在硫酸盐和产甲烷过度带,硫酸盐还原菌相对比例最大,达到 30%,在硫酸盐带和产甲烷带,同样高达 5%—10%,硫酸盐和产甲烷过度带,dsrAB 克隆文库显示绝大多数序列与 Desulfobacteraceae 菌一致,在其他的垂直带也有同样的结果^[29]。在南波罗的海,海水的富营养化导致沉积物硫酸盐还原菌种群数量繁多,优势明显^[1]。

产甲烷菌是一类能够将无机或者是有机物质通过厌氧发酵转化成为甲烷和二氧化碳的细菌,可生活在各种自然环境条件下,甚至在一些极端环境中,是参与厌氧发酵的最后一个成员,是自然界碳循环的关键环节^[30]。对巴西富营养化的瓜纳巴拉湾(Guanabara Bay)的研究发现,基于 PCR-DGGE 分析的基因文库显示产甲烷菌种系型(phylogroup)与受污染的水体营养环境梯度一致,在厌氧的污染水体和多数未受损的水体中发现的产甲烷菌种系型与已在这些环境中发现的已知类型密切相关,表明水污染引起的富营养化因子调控着产甲烷菌群落^[31]。Reil 和 Köster^[1]也认为,富营养化生境导致硫酸盐还原菌种群数量增加的同时,高度厌氧的条件也有利于产甲烷菌的生长繁殖,产甲烷菌种群数量增长。由此可见,由水体富营养化引起的生境氧化还原电位降低,硫酸盐还原菌数量增多,高度厌氧条件下产甲烷菌数量也相应增加。

在环境监测中,可选用大肠菌群等作为指示菌,以表示水体受粪便污染的程度,还可作为水体污染指示生物,来判断水体总有机物污染程度^[22]。海湾和近岸海域的大肠菌群主要来自陆源输入,因此,在以陆源输入为主导因子的富营养化海域中,大肠菌群数量多少可以用来指示海水富营养化程度的高低。在我国的渤海湾,大肠菌群的数量与距离排污口的距离和距离岸边的距离成负相关,靠近排污河口及离岸近的站位数量明显高于离排污口和海岸较远的站位^[27]。在以陆源输入为主导因子的富营养化海域中,大肠菌群数量一定程度上反映了水体的富营养化程度。对杭州湾北岸海域的研究也发现大肠菌群呈现近陆断面高于远陆断面的分布特征^[32],且大肠菌群与表征富营养化的叶绿素 a 含量有显著的正相关性;对海南省三亚湾和榆林湾的研究发现^[33],其大肠杆菌丰度达 11000 个/L,表明三亚河口和榆林湾内湾水体已呈现富营养化,且在多数站位大肠杆菌丰度达 24000 个/L,而由于三亚湾和榆林湾面对开阔的南海北部海域,水体交换好,更新快,自净能力强的缘故,其他区域未受大肠杆菌污染。

4 富营养化对微生物群落组成和结构的影响

在世界各个海区,对海域中细菌群落结构的变化研究较为少见^[34],而对不同营养状态水体下的细菌群落组成和结构的变化研究则更为稀少。根据 Furrman 和 Steele 的研究^[35],细菌多样性在大洋尺度的地理分布模式上主要受到纬度和温度的影响,且随着时间的变化,海洋细菌群落结构发生周年性变化;在小尺度地理分布的海域中,温度和浮游植物生产力是控制细菌种系型(phylogroup)分布的主导因子^[34],因为这两个因子影响到细菌的代谢过程。而在近海富营养化区域,可利用的有机物质和无机物质对细菌种类产生重要的影响,导致细菌原先的群落结构在时间和空间上发生改变^[36]。Schäfer 等通过中型模拟实验生态系研究不同梯度营养物质对地中海细菌群落结构组成、物种多样性、种群数量的变化^[37],结果发现在营养加富的实验生态系和自然海水状态下,细菌的群落结构差别较大,通过对 DNA 来源的 DGGE 指纹进行多维尺度分析(Multidimensional scaling analysis of the DNA-derived DGGE fingerprints),发现在实验过程的不同阶段,细菌群落组成与结构有所不同,对 DGGE 的主要条带分析显示,细菌菌群为 α -变型菌纲, γ -变型菌纲, δ -变型菌纲,以及噬细胞菌属(*Cytophaga*)、拟杆菌属(*Bacteroides*)、黄质菌属(*Flavobacterium*),而随着整个实验过程的推进,噬细胞菌属、拟杆菌属、黄质菌属等 3 个属的细菌逐渐成为优势种群^[37]。Lebaron 等采集地中海水样用筛绢过滤以后,亦是采用中型模拟实验生态系进行高、中、低 3 个不同的营养梯度的营养加富实验^[14],对从中型模拟实验生态系中分离得到的菌株进行分子鉴定,发现在低营养梯度中获得的菌株,经鉴定, α -变型菌纲、变型菌亚纲、放线菌纲、梭菌纲以及黄质菌属分别有 4 个菌株、6 个菌株、3 个菌株、2 个菌株、2 个菌株;在中营养梯度中获得的菌株,经鉴定, α -变型菌纲、变型菌亚纲、放线菌纲以及黄质菌属分别有 4 个菌株、7 个菌株、3 个菌株和 1 个菌株;在高营养梯度中获得的菌株^[14],经鉴定,变型菌亚纲、放线菌纲以及梭菌纲分别有 2 个菌株、1 个菌株和 1 个菌株。总之,随着海水营养状态的改变,浮游细菌群落结构产生较大的变化,且随着营养程度的

上升,浮游细菌群落结构趋于简单,物种多样性降低。迄今为止,未见有针对随自然原位海洋水体富营养化程度的增加,细菌群落结构变化和细菌物种多样性变化的研究报道。

5 富营养化对细菌功能活性的影响

海洋细菌利用有机物进行二次生产,将溶解性有机物转化为自身的颗粒有机物并释放出无机盐,而后细菌被原生动物摄食与经典的牧食食物链偶联,浮游细菌在全球的碳循环中有着非常重要的作用,成为海洋微生物研究的活跃领域之一^[38]。细菌生产力(BP)、比生长率和酶活性等可以表征其功能活性。一些学者对世界各海区细菌功能活性进行了研究^[17, 36],发现不同营养状态的海域,其功能活性存在一定差异。Bhaskar 等对印度 Dona Paula 湾的水体细菌功能活性的研究发现^[17],处于贫营养化或中营养化的 Dona Paula 湾(叶绿素 a 平均浓度小于 4.0 mg/m^3),各研究站位的水体中细菌 α -葡萄糖苷酶总活性为 $2.28\text{—}127.5 \text{ } \mu\text{mol/L C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$, β -葡萄糖苷酶总活性为 $3.03\text{—}62.43 \text{ } \mu\text{mol/L C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$,而附着细菌的 α -葡萄糖苷酶的平均活性为 $19.2 \text{ } \mu\text{mol/L C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$,占总数的 81.5%, β -葡萄糖苷酶平均活性为 $13.8 \text{ } \mu\text{mol/L C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$,占总数的 81%;该海域的细菌生产力为 $6.48\text{—}86.4 \text{ } \mu\text{g C} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,而附着细菌生产力(平均为 $30.48 \text{ } \mu\text{g C} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)占了总细菌生产力的 82%。同样在贫营养化的南极海附近^[11],浮游细菌生产力仅有 $0.58\text{—}3.74 \text{ } \mu\text{g C} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。而在日本富营养化严重的内海 Seto,细菌的比生长率为 $0.037\text{—}174 \text{ h}^{-1}$,细菌生产力则为 $24\text{—}172 \text{ } \mu\text{g C} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,在该海域,细菌的二次生产力与浮游植物的初级生产力相当,甚至在该海域的某些站位,细菌二次生产力大于浮游植物的初级生产力^[20]。由此可见,随着海水营养程度的增加,细菌生产力提高。Feuerpfeil 等对德国的 Pomeranian 湾进行两个不同营养梯度中的微生物学研究发现^[19],在中营养化海区,细菌生产力为 $0.26\text{—}36.42 \text{ } \mu\text{g C} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,而在高度富营养化的海区,细菌生产力则为 $1.2\text{—}106 \text{ } \mu\text{g C} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,而细菌的比生长率在中营养化海区为 $0.003\text{—}0.41 \text{ d}^{-1}$,在高度富营养化海区则为 $0.21\text{—}2.26$,表明即使在同一海湾不同海域,随着水体营养程度的升高,细菌生产力和比生长率均相应提高^[19]。我国自 20 世纪 90 年代中期开始也开展了海洋异养细菌生产力的相关研究,目前,已经报道的主要海区有东海^[39]、黄海的胶州湾^[40]、台湾海峡^[41]、大亚湾^[42]、南海北部以及珠江口^[43],粤东柘林湾^[44]等。在富营养化的柘林湾,最高的河口区细菌生产力全年平均值为 $50.24 \text{ } \mu\text{g C} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,最低的湾外区(富营养化程度相对较低)细菌生产力平均值是 $22.96 \text{ } \mu\text{g C} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,该湾的全年平均细菌生产力为 $30.26 \text{ } \mu\text{g C} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ^[44];而营养程度稍低的珠江口,冬季表层海水细菌平均生产力为 $8.88 \text{ } \mu\text{g C} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ^[43]。在已报道的大多数浮游水域系统中^[45],细菌生产力变化范围为 $0.4\text{—}140 \text{ } \mu\text{g C} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。由此可见,富营养化海区的浮游细菌生产力远高于贫营养化海区。Reil 和 Köster 的研究结果显示^[1],随着海域富营养化的推进,浮游初级生产力与底栖初级生产力的比率增加;可溶性总有机碳与微生物可利用的有机碳的比率增加;酶对基质的分解潜能上升,而蛋白质分解酶活性与碳水化合物分解酶的活性相应上升,再矿化速率加快;氧在沉积物中的渗透深度下降,导致有氧呼吸与硫酸盐呼吸的比率降低,硝化和反硝化速率相应加快,氮氧化物和甲烷释放加速,而氨和磷酸盐的通量增加。由此可见,海水富营养化会明显导致微生物系统正常功能活性的紊乱。

6 结语

作为海洋生态系统有机质的分解者以及重要的二次生产者,细菌随着水体营养程度的改变,其群落结构与功能也随之发生明显的改变。细菌数量或生物量随着海水营养程度的递增而增加;即使在同一海湾,细菌数量或生物量也会随着水体营养梯度的上升而有所增加,典型细菌生理群尤其是厌氧类型随着富营养化程度的加深,其种群数量相应的增加;而群落结构是随着营养程度的上升,浮游细菌群落物种多样性降低且结构趋于简单;同样,细菌在生态系统中的功能也对海水的富营养化产生了响应,浮游细菌生产力随着富营养化的增加而升高,酶的分解潜能上升,厌氧性的呼吸和功能作用同时加强,富营养化明显导致微生物正常的功能活性的紊乱。

海水富营养化对细菌的影响研究,各个国家的学者做出了重要的贡献。基于海洋生态系统对影响因子反应的时滞性和长期性,各个海区富营养化的微生物学响应需要长期的观测和更加透彻、系统的研究,尤其是对

微生物群落的组成、结构和功能的研究。而在研究手段上,我们应考虑运用新兴的技术,如在群落结构研究上采用克隆文库法、荧光原位杂交、限制性酶切片段长度多态性、变性和温度梯度凝胶电泳法等不依赖于纯培养的分子生物学方法;在群落组成上采用生物标志物法;在微生物的功能上综合运用放射性同位素、生物和化学的方法,力争寻求一条更为客观实际的海洋微生物学研究之路。水体富营养化对细菌影响的研究中,我国的研究离世界水平尚存一定距离,且大多数的研究集中于淡水生态系统以及近岸海域的细菌生物量和生产力的研究上。随着经济和社会的发展,我国沿海富营养化趋势仍较严重(如渤海湾、长江口和珠江口),因此,需在沿海富营养化的重点海区,建立定位观测站进行长期的深入研究,为富营养化海域的环境治理和生态恢复提供基础依据。

References:

- [1] Meyer-Reil L A, Köster M. Eutrophication of marine waters: effects on benthic microbial communities. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, 41(1/6): 255-263.
- [2] Håkanson L, Bryhn A C. Controlling eutrophication in the Baltic Sea and the Kattegat// Ansari A A, Gill S S, Lanza G R, Rast W, eds. *Eutrophication: Causes, Consequences and Control*. Bryhn: Palgrave, 2011: 17-67.
- [3] Claussen U, Zevenboom W, Brockmann U, Topcu D, Bot P. Assessment of the eutrophication status of transitional, coastal and marine waters within OSPAR. *Hydrobiologia*, 2009, 629(1): 49-58.
- [4] Józwiak T, Mazur-Marzec H, Pliński M. Cyanobacterial blooms in the Gulf of Gdansk (southern Baltic): the main effect of eutrophication. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 2008, 37(4): 115-121.
- [5] Kosenius A K. Heterogeneous preferences for water quality attributes: the case of eutrophication in the Gulf of Finland, the Baltic Sea. *Ecological Economics*, 2010, 69(3): 528-538.
- [6] Nilsson P, Jönsson B, Swanberg I L, Sundbäck K. Response of a marine shallow-water sediment system to an increased load of inorganic nutrients. *Marine Ecology Progress Series*, 1991, 71(3): 275-290.
- [7] Mclelland J W, Valiela I. Changes in food web structure under the influence of increased anthropogenic nitrogen inputs to estuaries. *Marine Ecology Progress Series*, 1998, 168(6): 259-271.
- [8] Chen S, Zhu M Y, Ma Y, Li R X, Li B H, Lü R H. Study of the effects of eutrophication on marine ecosystem by mesocosm experiments. *Advance in Earth Sciences*, 1999, 14(6): 571-576.
- [9] Paerl H W, Dyble J, Moisander P H, Noble R T, Piehler M F, Pinckney J L, Steppe T F, Twomey L, Valdes L M. Microbial indicators of aquatic ecosystem change: current applications to eutrophication studies. *FEMS Microbiology Ecology*, 2003, 46(3): 233-246.
- [10] Qiao X D. *Studies on Bacteriology of Tianjin Coastal Water in Bohai Bay [D]*. Qingdao: China Ocean University, 2005.
- [11] Delille D, Gleizon F, Delille B. Spatial and temporal variation of bacterioplankton in a sub-Antarctic coastal area (Kerguelen Archipelago). *Journal of Marine Systems*, 2007, 68(3/4): 366-380.
- [12] Andersson A, Samuelsson K, Haecky P, Albertsson J. Changes in the pelagic microbial food web due to artificial eutrophication. *Aquatic Ecology*, 2006, 40(3): 299-313.
- [13] Tammert H, Ollia K, Sturluson M, Hodal H. Bacterial biomass and activity in the marginal ice zone of the northern Barents Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2008, 55(20/21): 2199-2209.
- [14] Lebaron P, Servais P, Troussellier M, Courties C, Vives-Rego J, Muyzer G, Bernard L, Guindulain T, Schäfer H, Stackebrandt E. Changes in bacterial community structure in seawater mesocosms differing in their nutrient status. *Aquatic Microbial Ecology*, 1999, 19(3): 255-267.
- [15] Lucas R, Courties C, Herbland A, Goulletquer P, Marteau A L, Lemonnier H. Eutrophication in a tropical pond: understanding the bacterioplankton and phytoplankton dynamics during a vibriosis outbreak using flow cytometric analyses. *Aquaculture*, 2010, 310(1/2): 112-121.
- [16] He J F, Chen B, Zeng Y X, Kangs H, Wang G Z. Biomass and distribution characteristics of bacteria and protozoa in the Bering Sea in summer. *Acta Oceanologica Sinica*, 2005, 27(4): 127-134.
- [17] Bhaskar P V, Bhosle N B. Bacterial production, glucosidase activity and particle-associated carbohydrates in Dona Paula bay, west coast of India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008, 80(3): 413-424.
- [18] Zhou W H, Li T, Cai C H, Huang L M, Wang H K, Xu J R, Dong J D, Zhang S. Spatial and temporal dynamics of phytoplankton and bacterioplankton biomass in Sanya Bay, northern South China Sea. *Journal of Environmental Sciences*, 2009, 21(5): 595-603.
- [19] Feuerpfel P, Rieling T, Estrum-Youse S R, Dehmlow J, Papenfuß T, Schoor A, Schiewer U, Schubert H. Carbon budget and pelagic community compositions at two coastal areas that differ in their degree of eutrophication, in the Southern Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*,

- 2004, 61(1): 89-100.
- [20] Naganuma T, Miura S. Abundance, production and viability of bacterioplankton in the Seto Inland Sea, Japan. *Journal of Oceanography*, 1997, 53(5): 435-442.
- [21] Bai J, Li K R, Li Z Y, Sun J, Wei H, Liu S M, Wu Z M. Relationship between the environmental factors and distribution of bacterioplankton in the Bohai Sea. *Journal of Ocean University of Qingdao: Natural Sciences*, 2003, 33(6): 841-846.
- [22] Wang G H, Yu L J. The study and its ecological significance on physiological groups of bacteria. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(1): 128-133.
- [23] Wang Y N, Wang B J, Dai X, Jiao N Z, Peng Z Y, Liu S J. Analysis of nitrate reducing community in a near-shore marine-cultural Sediments. *Microbiology*, 2004, 31(6): 73-76.
- [24] Dang H Y, Wang C Y, Li J, Li T G, Tian F, Jin W, Ding Y S, Zhang Z N. Diversity and distribution of sediment *NirS*-Encoding bacterial assemblages in response to environmental gradients in the eutrophied Jiaozhou Bay, China. *Microbial Ecology*, 2009, 58(1): 161-169.
- [25] Singh R, Kumar A, Kirrolia A, Kumar R, Yadav N, Bishnoi N R, Lohchab R K. Removal of sulphate, COD and Cr (VI) in simulated and real wastewater by sulphate reducing bacteria enrichment in small bioreactor and FTIR study. *Bioresource Technology*, 2011, 102(2): 677-682.
- [26] Gao A G, Chen H W, Lin X Z. Sulphate reducing bacteria in core sediments from the Canada Basin and the Chukchi Sea. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(5): 1014-1020.
- [27] Xiao H. Studies on Bacteriology of Coastal Water in Bohai Bay and the Application of Bacteria on Assessment of the Quality of Coastal Environment [D]. Qingdao: China Ocean University, 2005.
- [28] Chen H W, Xu J S. Content of sulphate-reducing bacteria in the sediment on the east side of Beibu Gulf and its significance. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 1999, 15(3): 103-107.
- [29] Leloup J, Loy A, Knab N J, Borowski C, Wagner M, Jørgensen B B. Diversity and abundance of sulfate-reducing microorganisms in the sulfate and methane zones of a marine sediment, Black Sea. *Environmental Microbiology*, 2007, 9(1): 131-142.
- [30] Hao X J, Hong J P, Gao W J. Research advances in methanotrops. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2007, 35(1): 111-113.
- [31] Vieira R P, Clementino M M, Cardoso A M, Oliveira D N, Albano R M, Gonzalez A M, Paranhos R, Martins O B. Archaeal communities in a tropical estuarine ecosystem: Guanabara Bay, Brazil. *Microbial Ecology*, 2007, 54(3): 460-468.
- [32] Shen X S, Chen Y Q, Chen Q. Distribution characteristic of coliform and heterotrophic bacteria in Fengxian of Hangzhou Bay in summer. *Marine Environmental Science*, 2006, 25(1): 20-23.
- [33] Ning X R, Chen J Z, Liu Z L. Distributions of chlorophyll a concentration and abundances of total bacteria and coliform in the waters of Sanya Bay and Yulin Bay, Hainan. *Donghai Marine Science*, 1999, 17(4): 51-56.
- [34] Kataoka T, Hodoki Y, Suzuki K, Saito H, Higashi S. Tempo-spatial patterns of bacterial community composition in the western North Pacific Ocean. *Journal of Marine Systems*, 2009, 77(1/2): 197-207.
- [35] Furrman J A, Steele J A. Community structure of marine bacterioplankton: patterns, networks, and relationships to function. *Aquatic Microbial Ecology*, 2008, 53(1): 69-81.
- [36] Tanakaa T, Zohary T, Krom M D, Law C S, Pitta P, Psarra S, Rassoulzadegan F, Thingstad T F, Tselepidis A, Woodward E M S, Flaten G A F, Skjoldal E F, Zodiatis G. Microbial community structure and function in the Levantine Basin of the eastern Mediterranean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2007, 54(10): 1721-1743.
- [37] Schäfer H, Bernard L, Courties C, Lebaron P, Servais P, Pukall R, Stackebrandt E, Troussellier M, Guindulain T, Vives-Rego J, Muyzer G. Microbial community dynamics in Mediterranean nutrient-enriched seawater mesocosms: changes in the genetic diversity of bacterial populations. *FEMS Microbiology Ecology*, 2001, 34(3): 243-253.
- [38] Xiao T, Li H B, Zhao S J, Yue H D. The role of marine bacterioplankton in the carbon cycle. *Marine Sciences*, 2004, 28(9): 46-49.
- [39] Xiao T, Wang R. Distribution of heterotrophic bacterial production in the East China Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, 31(6): 664-670.
- [40] Jiao N Z, Xiao T. The secondary production of microbes in Jiaozhou Bay. *Chinese Science Bulletin*, 1995, 40(9): 829-832.
- [41] Zheng T L, Wang F, Xu M Z, Hong H S. Bacterial production, bioamass and role in microbial loop in Taiwan strait. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 33(4): 415-423.
- [42] Peng G A, Huang Y P, Liu G S, Zheng T L, Chen M, Wang Z D, Lian J S, Zheng A R. Study on bacterial production in the Daya Bay. *Acta Oceanologica Sinica*, 2003, 25(4): 83-90.
- [43] Liu C G, Ning X R, Cai X M, Hao Q, Le F F. Bacterioplankton production in the Zhujiang River Estuary and the adjacent northern South China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 2007, 29(2): 112-122.
- [44] Xie L M. Study of Bacterial Productivity and the Spatial and Temporal Distribution of Bacteria, *Vibrio* and Heterotrophic Bacteria in Zhelin Bay [D]. Guangzhou: Jinan University, 2004.

- [45] Cole J J, Findlay S, Pace M L. Bacteria production in fresh and saltwater ecosystems; a cross-system overview. *Marine Ecology Progress Series*, 1988, 43(1/2): 1-10.

参考文献:

- [8] 陈尚, 朱明远, 马艳, 李瑞香, 李宝华, 吕瑞华. 富营养化对海洋生态系统的影响及其围隔实验研究. *地球科学进展*, 1999, 14(6): 571-576.
- [10] 乔旭东. 渤海湾天津海域的细菌学研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- [16] 何剑锋, 陈波, 曾胤新, Kangs H, 王桂忠. 白令海夏季浮游细菌和原生动物生物量及分布特征. *海洋学报*, 2005, 27(4): 127-134.
- [21] 白洁, 李岢然, 李正炎, 孙军, 魏皓, 刘素美, 吴增茂. 渤海春季浮游细菌分布与生态环境因子的关系. *青岛海洋大学学报: 自然科学版*, 2003, 33(6): 841-846.
- [22] 王国惠, 于鲁冀. 细菌生理群的研究及其生态学意义. *生态学报*, 1999, 19(1): 128-133.
- [23] 王亚南, 王保军, 戴欣, 焦念志, 彭志英, 刘双江. 海水养殖场沉积物中硝酸盐还原菌种群分析. *微生物学通报*, 2004, 31(6): 73-76.
- [26] 高爱国, 陈皓文, 林学政. 加拿大海盆与楚科奇海柱状沉积物中硫酸盐还原菌的分布状况. *环境科学学报*, 2008, 28(5): 1014-1020.
- [27] 肖惠. 渤海湾近岸海域的细菌学研究及其在海岸带环境质量评价中的应用 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- [28] 陈皓文, 徐家声. 北部湾东侧沉积物硫酸盐还原菌含量及其意义. *广西科学院学报*, 1999, 15(3): 103-107.
- [30] 郝鲜俊, 洪坚平, 高文俊. 产甲烷菌的研究进展. *贵州农业科学*, 2007, 35(1): 111-113.
- [32] 沈晓盛, 陈亚瞿, 陈琼. 杭州湾北岸奉贤水域大肠菌群和异养细菌的生态分布. *海洋环境科学*, 2006, 25(1): 20-23.
- [33] 宁修仁, 陈介中, 刘子琳. 海南省三亚湾和榆林湾海水中叶绿素 a 浓度、总细菌和大肠杆菌的丰度与分布. *东海海洋*, 1999, 17(4): 51-56.
- [38] 肖天, 李洪波, 赵三军, 岳海东. 海洋浮游细菌在碳循环中的作用. *海洋科学*, 2004, 28(9): 46-49.
- [39] 肖天, 王荣. 东海异养细菌生产力的时空分布. *海洋与湖沼*, 2000, 31(6): 664-670.
- [40] 焦念志, 肖天. 胶州湾的微生物二次生产力. *科学通报*, 1995, 40(9): 829-832.
- [41] 郑天凌, 王斐, 徐美珠, 洪华生. 台湾海峡海域细菌产量、生物量及其在微食物环中的作用. *海洋与湖沼*, 2002, 33(4): 415-423.
- [42] 彭安国, 黄奕普, 刘广山, 郑天凌, 陈敏, 王肇鼎, 练健生, 郑爱榕. 大亚湾细菌生产力研究. *海洋学报*, 2003, 25(4): 83-90.
- [43] 刘诚刚, 宁修仁, 蔡昱明, 郝锵, 乐凤凤. 南海北部及珠江口细菌生产力研究. *海洋学报*, 2007, 29(2): 112-122.
- [44] 谢立民. 柘林湾细菌、弧菌和异养菌数量的时空分布和细菌生产力研究 [D]. 广州: 暨南大学, 2004.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 10 May, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Landscape aesthetic assessment based on experiential paradigm assessment technology	LI Xuanqi, HUA Lizhong (2965)
Significant impact of job-housing distance on carbon emissions from transport: a scenario analysis	TONG Kangkang, MA Keming (2975)
The watershed eco-compensation system from the perspective of economics: the cases of pollution compensation	LIU Tao, WU Gang, FU Xiao (2985)
The tourism development impact on Shanghai coastal wetland vegetation	LIU Shidong, GAO Jun (2992)
Effects of the Wenchuan Earthquake on shoot growth and development of the umbrella bamboo (<i>Fargesia robusta</i>), one of the giant panda's staple bamboos	LIAO Lihuan, XU Yu, RAN Jianghong, et al (3001)
Forest carbon sequestration and carbon sink/source in Jiangxi Province	HUANG Lin, SHAO Quanqin, LIU Jiyuan (3010)
Species diversity of herbaceous communities in the Yiluo River Basin	CHEN Jie, GUO Yili, LU Xunling, et al (3021)
Microbial community diversity of rhizosphere soil in continuous cotton cropping system in Xinjiang	GU Meiying, XU Wanli, MAO Jun, et al (3031)
Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. in desert zone	HE Xueli, CHEN Zheng, GUO Huijuan, et al (3041)
Characteristics of photosynthetic productivity and water-consumption for transpiration in <i>Pinus densiflora</i> var. <i>zhangwuensis</i> and <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	MENG Peng, LI Yuling, YOU Guochun, et al (3050)
Seasonal dynamic and influencing factors of coarse woody debris respiration in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest	LIU Qiang, YANG Zhijie, HE Xudong, et al (3061)
Influence of saline soil and sandy soil on growth and mineral constituents of common annual halophytes in Xinjiang	ZHANG Ke, TIAN Changyan, LI Chunjian (3069)
Dynamics change of <i>Betula ermanii</i> population related to shrub and grass on treeline of northern slope of Changbai Mountains	WANG Xiaodong, LIU Huiqing (3077)
Effects of ecological conditions on morphological and physiological characters of tobacco	YAN Kan, CHEN Zongyu (3087)
A study on the hyperspectral inversion for estimating leaf chlorophyll content of clover based on factor analysis	XIAO Yanfang, GONG Huili, ZHOU Demin (3098)
Monthly dynamic variation of soil seed bank in water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir at the beginning after charging water	WANG Xiaorong, CHENG Ruimei, TANG Wanpeng, et al (3107)
Effects of three land use patterns on diversity and community structure of soil ammonia-oxidizing bacteria in <i>Leymus chinensis</i> steppe	ZOU Yukun, ZHANG Jingni, CHEN Xiurong, et al (3118)
Autotoxicity and promoting: dual effects of root litter on American ginseng growth	JIAO Xiaolin, DU Jing, GAO Weiwei (3128)
Effect of differing levels parasitism from native <i>Cuscuta australis</i> on invasive <i>Bidens pilosa</i> growth	ZHANG Jing, YAN Ming, LI Junmin (3136)
Heavy metal concentrations and pollution assessment of riparian soils in Shandong Province	ZHANG Ju, CHEN Shiyue, DENG Huanguang, et al (3144)
Effect of decomposition products of cyanobacteria on <i>Myriophyllum spicatum</i> and water quality in Lake Taihu, China	LIU Lizhen, QIN Boqiang, ZHU Guangwei, et al (3154)
Succession of macrofauna communities in wetlands of <i>Sonneratia apetala</i> artificial mangroves during different ecological restoration stages	TANG Yijie, FANG Zhanqiang, ZHONG Yanting, et al (3160)
Group characteristics of Chinese Merganser (<i>Mergus squamatus</i>) during the wintering period in Poyang Lake watershed, Jiangxi Province	SHAO Mingqin, ZENG Binbin, SHANG Xiaolong, et al (3170)
Effect of forest rodents on predation and dispersal of <i>Pinus armandii</i> seeds in Qinling Mountains	CHANG Gang, WANG Kaifeng, WANG Zhi (3177)
Circadian rhythms of activity, metabolic rate and body temperature in desert hamsters (<i>Phodopus roborovskii</i>)	WANG Luping, ZHOU Shun, SUN Guoqiang (3182)
Effects of temperature stress and ultraviolet radiation stress on antioxidant systems of <i>Locusta migratoria tibetensis</i> Chen	LI Qing, WU Lei, YANG Gang, et al (3189)
Carbon cycling from rice-duck mutual ecosystem during double cropping rice growth season	ZHANG Fan, GAO Wangsheng, SUI Peng, et al (3198)
Protein expression characteristics and their response to nitrogen application during grain-filling stage of rice (<i>Oryza Sativa</i> L.)	ZHANG Zhixing, CHENG Jun, LI Zhong, et al (3209)
Review and Monograph	
Advances in influence of seawater eutrophication on marine bacteria	ZHANG Yubin, ZHANG Jiexiang, SUN Xingli (3225)
A review of comprehensive effect of ocean acidification on marine fishes	LIU Hongjun, ZHANG Zhendong, GUAN Shuguang, et al (3233)
Evaluation of the controlling methods and strategies for <i>Mikania micrantha</i> H. B. K.	LI Mingguang, LU Erbei, GUO Qiang, et al (3240)
Scientific Note	
Dynamics of land use/cover changes in the Weigan and Kuqa rivers delta oasis based on Remote Sensing	SUN Qian, TASHPOLAT. Tiyp, ZHANG Fei, et al (3252)
Phytoplankton assemblages in East China Sea in winter 2009	GUO Shujin, SUN Jun, DAI Minhan, et al (3266)
On the physical chemical and soil microbial properties of soils in the habitat of wild Ferula in Xinjiang	FU Yong, ZHUANG Li, WANG Zhongke, et al (3279)
The community characteristics of <i>Calligonum roborowskii</i> A. Los in Tarim Basin	Gulnur Sabirhazi, PAN Borong, DAUN Shimin (3288)
Stability analysis of mine ecological industrial symbiotic system	SUN Bo, WANG Guangcheng (3296)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 10 期 (2012 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 10 (May, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元