

极地环境污染物的微生物降解 及其生物修复研究进展

曾胤新^{1,2} 郑天凌¹

¹厦门大学生命科学学院应用与环境微生物研究所, 厦门 361005;

²中国极地研究中心国家海洋局极地科学重点实验室, 上海 200136)

提要 随着人类社会的发展及其对未知世界探索能力的提高, 环境污染目前已演变成为全球性问题, 即使是远离人类居住地的南北极地区也不能幸免。任何污染在极地这样一个生态系统组成单调、环境承载能力脆弱的地方都可能带来严重后果, 因此极地环境的污染治理尤为迫切。生物修复技术作为环境治理的重要方法与手段, 受到了普遍关注。本文简要介绍了极地环境的污染现状以及近年来应用微生物开展极地环境污染物降解与生物修复的主要进展, 并就研究中的一些潜在问题展开讨论。极地环境的污染治理与生物修复, 将是 21 世纪环境微生物学研究人员的一项重要使命。

关键词 极地 污染 微生物 降解 生物修复

随着人类活动范围的不断扩大, 人类的足迹与影响已遍布于世界各地, 包括远离文明世界的遥远大陆—南极。同时, 极地地区蕴藏着的丰富的自然资源, 包括煤炭、石油、天然气、贵重金属以及生物资源等, 也吸引了各国的广泛关注, 纷纷对其开展科学考察甚至资源开发活动。这些人类行为给极地的环境及生态系统带来了负面影响。近几年来不断升温的极地旅游观光热潮, 更是加剧了人类活动对极地脆弱的生态环境系统的影响与破坏。2008 年 1 月 11 日, 一架空客 A319 客机从澳大利亚霍巴特到达南极洲, 这是商用航班首次到达南极洲。

1 极地的环境污染及其对人类的影响

伴随着旅游业、航运业、资源开采等人类活动的日益频繁, 极地地区遭受人类污染的机会越来越多、受污染程度越来越大。2007 年 11 月 23 日, 著名游轮“探索者”号在南极设得兰群岛海域与冰山相撞而失事沉没, 船舱内的燃油外泄给南极海域造成了严重环境

[收稿日期] 2008 年 1 月收到来稿, 2008 年 2 月收到修改稿。

[基金项目] 国家自然科学基金项目 (40676002) 资助。

[作者简介] 曾胤新, 男, 1971 年出生。在职博士研究生, 副研究员, 研究方向为极地及海洋微生物学。

[通讯作者] 郑天凌, E-mail: wshwzh@xmu.edu.cn

污染。北极地区由于紧邻人类居住地,污染情况更为严重。环北极国家在北极地区进行的矿产资源开采与冶炼,已经对当地的植被、永久冻土等生态系统直接造成了巨大的污染与破坏。而石油泄漏事件的频繁发生,更是带来了灾难性的后果:1989年3月 Exxon 石油的 Valdez 油轮在美国阿拉斯加的触礁事件,导致约 1100 万加仑原油泄漏并污染了 1300 英里的海岸线,对当地生态系统几乎是毁灭性的打击。2006年3月,美国阿拉斯加北部又发生石油泄漏事件,约 26.7 万加仑原油从输油管中泄漏并污染了近 2 英亩的苔原地带。原油泄漏可能是极地地区发生最频繁、效果最直接、影响范围最广的污染事件。此外,因科学考察、旅游观光等产生的人类生活垃圾及废弃物对极地环境的污染也不容小觑。

持久性有机污染物 (POPs) 在全球范围内的广泛传播与污染,也给极地环境与生态系统带来潜在影响。POPs 从热带和亚热带挥发,一方面通过海洋生物地球化学过程进行全球迁移,另一方面通过大气全球蒸馏、冷凝效应、沉降到高纬高寒地区。这类有机化合物很容易在极地低温食物链中高富集^[1,2]。在遥远、孤立的南极地区,科研人员检测到了多氯联苯 (PCBs)、有机氯农药 (OCPs) 等 POPs 的存在^[3,4]。北极由于与人类的生活联系更紧密,挪威、丹麦等环北极国家已经对该地区 OCPs、PAHs (多环芳烃) 及 PCBs 等污染状况开展了大量的调查与研究^[5-7]。

人类污染物不但影响极地环境与生态系统,而且也威胁到人类自身的健康与安全。英国《泰晤士报》2007年9月12日以“pollution blamed for fall in Arctic baby boys”为标题报道了北欧科学家的研究结果。该研究显示,在俄罗斯东部、丹麦格陵兰岛等北极地区出生的女婴数量远多于男婴,而来自工业化国家的污染是造成新生儿男女比例失衡的罪魁祸首。科学家在北极地区女性的血液中发现了一些人造化学物质,其中包括 PCBs,这是一类会导致动物患上癌症并影响它们神经、生殖和免疫系统的有毒物质。让人震惊的是,这些化学物质能够在婴儿出生之前改变胎儿的性别。研究显示,当母亲血液中 PCBs 含量达到每升 2 到 4 微克时,她们生女孩的几率会大大增多。这些化学物质对当地因纽特人的生存造成了严重威胁,因为污染物大量残留在鲸脂里,而鲸脂是因纽特人的重要食物。该调查还发现,在俄罗斯一些地方出生的男婴重量不足、体质差,科学家怀疑这也与污染物质有关。

保护环境与资源、走可持续发展道路,这已经在全球范围内引起了共鸣。除了注意控制和减少污染物的排放,对污染环境的治理与生态修复始终是环境科学工作者的一项重要任务。

2 微生物在极地环境污染物降解与生物修复中的作用

生物修复技术作为一种高效、经济且生态可接受的清洁技术,通过环境因素的最优化而加速自然生物降解速率从而达到降解污染物、恢复生态环境的目标,在目前的环境污染治理与生态修复中越来越受到人们的青睐^[8-10]。而微生物技术正是其核心之一。由于微生物对环境有害离子及物质非凡的吸收与分解能力,使其成为了环境监测与修复的重要指标之一。

低温是极地地区最主要、普遍的特征之一^[11]。以往利用常温或高温微生物进行环境治理的技术并不适用于极地低温环境。事实上,在极地生存着丰富而多样的微生物。这些占生态优势的嗜冷、耐冷土著微生物群落,在极地自然生态环境中的物质循环与能量流动、生物地球化学过程中扮演着重要的角色,同时在极地环境的污染物降解与生态修复中发挥着重要作用。近年来,极地低温环境下的污染净化与生态修复已引起了人们的广泛关注,关于极地区域陆地、海洋低温生态系统生物修复油污染的研究已有陆续报道。现就应用微生物开展极地环境污染降解及生物修复的主要研究状况作一简要介绍。

2.1 原油降解

如上所述,原油泄漏在极地可以算是发生频率最高、生态影响最直接的环境污染事件。同时,原油组分复杂,包括各种烷烃、环烷烃、芳香烃(如甲苯、萘)等,治理起来非常麻烦。相比脂链烃,芳香烃对土壤微生物生长的抑制作用更大,它可以抑制或停止真菌菌丝的延伸^[12]。因此,大量的极地环境污染降解与生物修复研究都集中在治理原油污染上,其中关于海洋石油污染的内容占据了很大部分^[13]。20世纪80年代末美国利用生物修复技术成功清除了 Exxon 石油公司 Valdez 油轮在阿拉斯加海域漏油造成的大面积污染,开创了生物修复治理极地海洋环境污染的范例^[14]。

极地地区原油污染的生物修复主要依靠低温微生物对石油烃的降解而实现。无论是在极地海洋还是土壤中,均存在着大量能够降解原油的土著微生物^[15-18]。泄漏的原油刺激了这类微生物的生长并改变了原来的微生物群落结构,使得石油降解菌大量增殖成为优势菌群并加速了石油的分解,最终达到清除原油污染的目的^[13]。印度科研人员对阿根廷附近次南极水域的细菌多样性调查显示,原油污染影响到了海水中的细菌群落结构^[19]: *Psychromonas*, *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Cytophaga* 及 *Mariibacter* 只在未受原油污染的海水中被检测到,而与 *Psychrobacter*, *Acrobacter*, *Fomosa algae*, *Polaribacter*, *Ulvibacter* 及 *Tenacibaculum* 等相关的克隆只在受污染的水域被检测到。此外,受污染海水中 *Roseobacter*, *Sulfitobacter* 及 *Glaciecola* 的克隆子比例下降。挪威学者^[16]也发现,原油污染的北海海水在 13 培养 7 d 后,原油降解微生物出现了生长高峰,但随后下降,2—3 周后,菌群多样性降低,同时出现了几种优势菌群。

土著微生物对极地环境的适应性强并在污染过程中已经历了一段时间的自然驯化期,因此成为极地寒冷环境中污染物降解与生物修复的首选菌种。意大利学者 Michaud 等人^[15]从南极海水中分离了 2 株降解柴油的耐冷菌,20 接种培养 60d,烃浓度降低了 85%。郑洲等人^[20]从南极海洋细菌中筛选出 2 株石油烃降解菌,经分子鉴定为假交替单胞菌与科尔韦氏菌。以柴油为唯一碳源进行的降解实验表明,其降解能力随着培养温度的升高而显著增强,15、20d 内降解率分别可达 43.95% 和 62.47%。其他研究人员也陆续从南、北极污染海域分离到可以降解不同石油烃组分的细菌^[13]。

在受石油污染的北极地区,加拿大科研人员分离到具有降解 C5—C12 烷烃及甲苯、萘等能力的耐冷假单胞细菌,并在其中一株细菌内发现了共存的、具有链烷催化途径基因与萘催化途径基因的两种质粒^[21]。新西兰科学家^[22]从受燃油污染的南极土壤中分离得到的两株可降解甲苯的耐冷假单胞细菌中,也找到了质粒。这些质粒为构建解决石油污染的工程菌提供了可能材料。在南极土壤中,人们还分离到以十二烷烃为唯一碳源与能

源的真菌^[12]。从极地现场分离获得的这些对环境污染物具有较强降解能力的低温微生物,可通过现代生物技术的进一步改造,为解决在极地低温条件下的环境保护问题作出贡献。

法国学者 Delille^[23,24]对次南极石油污染土壤的研究表明,升高温度、施加含 N、P 的亲脂性肥料,可以提高污染土壤中的石油降解菌丰度与总石油烃 (TPH)降解率。其中烷烃较 PAHs 更易降解。加拿大 Mohn 研究小组^[17,25]对北极冻土带石油污染土壤的生物修复实验显示,现场接种混合培养的嗜冷微生物,一年后土壤中石油烃浓度降到了初始浓度的 1/20,说明在极地寒冷条件下实施石油污染土壤的生物修复是可行的。无论是在实验室还是在原油污染现场,研究结果均表明,在极地寒冷气候条件下,添加营养物和增大低温土著石油降解微生物比例等策略,都是行之有效的生物修复方法^[13,26]。

2.2 持久性有机污染物降解

POPs 是由人类合成的,能持久存在于环境中并通过食物链(网)累积,从而对人类健康及环境造成有害影响的化学物质。因其具有半挥发性,能在大气环境中长距离迁移,并通过所谓的“全球蒸馏效应”和“蚱蜢跳效应”沉积到地球的偏远(包括极地)地区,导致全球范围的污染传播。目前在极地区域研究得比较多的 POPs,主要有多氯联苯及多环芳烃等。

Mohn 研究小组在北极环境污染生物治理方面开展了多年研究。他们^[27,28]从北极土壤分离到 1 株以联苯为唯一有机碳源、在 7 °C 下对联苯与多氯联苯混合物 Aroclor 1242 具有较强降解能力的耐冷菌 *Pseudomonas Cam-1*,同时找到了编码联苯双加氧酶的基因 *bphA*。此外,对不同地区北极土壤厌氧生物处理的结果显示,污染物 Aroclor 1242 的脱氯效果明显^[29]。意大利 Michaud 研究小组^[30,31]从南极罗斯海水也分离到以多氯联苯为唯一碳源与能源的降解菌,包括 *Pseudoalteromonas*、*Psychrobacter* 及 *Arthrobacter* 等属。其中 *Pseudoalteromonas*、*Arthrobacter* 属的菌株在 4 °C 下对多氯联苯的去除率为 35.6%—79.8%。这些研究结果为通过生物降解方式解决极地低温环境中多氯联苯的污染问题找到了新途径。

对于极地 PAHs 污染的研究,实际上还是对于该地区原油污染生物修复研究的延伸^[14]。Mohn 研究小组^[32]在研究北极土壤中 PAHs 低温厌氧生物降解时发现,耐冷 PAHs 降解菌在 7 °C 下对 PAHs 的去除率(39%)高于 20 °C 下的去除率(31%),说明低温厌氧条件下生物降解 PAHs 是可行的。在次南极 Kerguelen 群岛^[24],通过施肥处理,10 °C 下经过 180d 石油污染土壤中的总 PAHs 含量明显下降。同时在 4 °C 的低温下,毒性的减小最明显。但萘、二苯并噻吩类、菲及芘等 PAHs 随其分子大小不同降解率呈现显著下降。这些结果说明,采用土著微生物进行极地低温环境中 PAHs 的生物降解与修复是切实可行的。

此外,我国学者^[33]发现,只有在受 PAHs 污染的南极土壤,才分离得到以萘或菲为唯一碳源的 PAHs 降解菌。在 22 株降解菌中,除一株为拉恩氏菌属 (*Rahnella*) 外,其余全部为假单胞菌。所有菌在 4 °C 下对萘都具有高效降解率,部分菌还可降解菲。这些细菌都含有萘双加氧酶基因 *ndo*,而且该基因都位于一个具有自我转移能力的质粒上,与嗜温菌的 *ndo* 基因也无明显差异。因此,研究人员推测,假单胞菌可能在南极土壤 PAHs 的生物降解中发挥着重要作用,而其相关的降解基因可能来源于南极之外的微生物并通过质粒

的介导在土著微生物之间实现基因的水平转移。

2.3 废水处理及其它污染物降解

北极地区由于受人类居住及工业化影响大,因此环境污染问题更为复杂与多样。Yu 等人^[34]从受石油污染的北极冻土带分离到耐冷树脂酸降解细菌。这些细菌能在烃和树脂酸同时存在的条件下生长。树脂酸是三萜类化合物,是制浆造纸业的主要污染物之一,对鱼类有很大毒性,生物治理困难,尤其是在冬季处理效率更低。这一发现证实了低温树脂酸降解菌的存在,也为低温环境中生物处理制浆造纸污染物提供了可能,具有重要的科学价值和实际意义^[26]。

此外,科研人员从南、北极分离到在低温下对氮、磷有较高去除率的耐冷丝状蓝细菌。其中一株北极湖泊蓝细菌 E18,不但在低于 10 的条件下具有良好的磷酸盐吸收能力,而且在温度到达 25 下同样具有较高的硝酸盐去除效率^[35,36]。这些极地蓝细菌在寒冷气候中的废水处理方面具有应用潜力。

3 存在问题与展望

微生物修复技术由于成本低、效果好、对环境负面影响小且无二次污染等优点,受到广泛关注。但它同时也存在一些缺点,如修复周期长、对高浓度污染物直接处理具有局限性、受环境及营养因素影响大等。尤其是极地环境所特有的低温、寡营养等多种极端条件,势必会更大程度影响到微生物对环境污染物的降解速率从而延长生物修复的周期。而南、北极的研究证实^[24,37],升高温度、添加营养等方法的确能有效提高微生物对污染物的降解速率。因此,如何解决好极地现场条件下高效污染物降解与生物修复问题,是环境微生物学研究人员需要认真思考与探索的内容。

与地球上其它气候带相比,极地生态系统在整体上较为单一和脆弱。但同时,极地也蕴藏着多样、未知的微生物新物种。因此,在采用微生物治理污染与生物修复过程中,尤其是在引入一些外源工程菌时,需要注意对极地微生物资源多样性的保护。应用现代生物技术手段、利用极地土著微生物开展污染环境的治理与修复,是一个较为适宜的方案。在已开展的研究工作中,科研人员分离到对多种污染物都具有降解能力的极地假单胞菌,多数菌含有具有降解基因的质粒^[21,22,28,33]。这个属的细菌在极地环境污染物的降解与生物修复中可能具有重要的应用潜力,值得对其开展更深入的研究。同时,人们也需要关注引入具有降解作用的外源功能基因时在极地土著微生物群落中纵向与水平方向的基因转移。

南极,是目前地球上唯一一块还未受到人类大规模污染的净土。关注极地的污染与环境治理,实际上也是关注人类自身的安全与健康。作为环境微生物学科研人员,我们应该、也能够为保护极地生态环境、治理污染做出自己的贡献。这也是 21 世纪环境微生物学研究人员的一项重要任务。

参考文献

- 1 卢冰, 王自磐, 朱纯, 等. 南极食物链顶端海鸟卵中 PCBs 和 OCPs 积累水平及其全球意义. 生态学报, 2005, 25 (9): 2440—2445.
- 2 Wania F. Global fractionation and cold condensation of low volatility organochlorine compounds in Polar Regions. *Ambio*, 1993, 22 (1): 10—16.
- 3 张海生, 王自磐, 卢冰, 等. 南极大型动物粪土层和蛋卵中有机氯污染物分布特征及生态学意义. 中国科学 D 辑, 2006, 36 (12): 1111—1121.
- 4 Roosens L, Van Den Brink N, Riddle M, et al. Penguin colonies as secondary sources of contamination with persistent organic pollutants. *J Environ Monit*, 2007, 9 (8): 822—825.
- 5 Lie E, Bemhoft A, Riget F, et al. Geographical distribution of organochlorine pesticides (OCPs) in polar bears (*Ursus maritimus*) in the Norwegian and Russian Arctic. *Sci Total Environ*, 2003, 306 (1—3): 159—170.
- 6 Camus L, Birkely SR, Jones MB, et al. Biomarker responses and PAH uptake in *Mya truncata* following exposure to oil-contaminated sediment in an Arctic fjord (Svalbard). *Sci Total Environ*, 2003, 308 (1—3): 221—234.
- 7 Haave M, Ropstad E, Dencher AE, et al. Polychlorinated biphenyls and reproductive hormones in female polar bears at Svalbard. *Environ Health Perspect*, 2003, 111 (4): 431—436.
- 8 夏平, 李学亚, 刘斌. 石油污染的生物修复. *污染防治技术*, 2006, 19 (3): 37—40.
- 9 滕应, 骆永明, 李振高, 等. 多氯联苯复合污染土壤的土著微生物修复强化措施研究. *土壤*, 2006, 38 (5): 645—651.
- 10 白建峰, 林先贵, 尹睿, 等. 砷污染土壤的生物修复研究进展. *土壤*, 2007, 39 (5): 692—700.
- 11 曾胤新, 俞勇, 蔡明宏, 等. 低温微生物及其酶类的研究概况. *微生物学杂志*, 2004, 24 (5): 83—88.
- 12 Hughes KA, Bridge P, Clark MS. Tolerance of Antarctic soil fungi to hydrocarbons. *Sci Total Environ*, 2007, 372 (2—3): 539—548.
- 13 刘芳明, 郑洲, 缪锦来, 等. 极地海洋石油烃污染物的生物降解研究进展. *极地研究*, 2007, 19 (3): 221—230.
- 14 Oh YS, Sim DS, Kim SJ. Effects of nutrients on crude oil biodegradation in the upper intertidal zone. *Mar Pollut Bull*, 2001, 42 (12): 1367—1372.
- 15 Michaud L, Lo Giudice A, Saitta M, et al. The biodegradation efficiency on diesel oil by two psychrotrophic antarctic marine bacteria during a two-month-long experiment. *Mar Pollut Bull*, 2004, 49 (5—6): 405—409.
- 16 Brakstad OG, Lodeng AG. Microbial diversity during biodegradation of crude oil in seawater from the North Sea. *Microb Ecol*, 2005, 49 (1): 94—103.
- 17 Eriksson M, Ka JO, Mohn WW. Effects of low temperature and freeze-thaw cycles on hydrocarbon biodegradation in arctic tundra soil. *Appl Environ Microbiol*, 2001, 67 (11): 5107—5112.
- 18 Baraniecki CA, Aislabie J, Foght JM. Characterization of *Sphingomonas* sp. Ant 17, an aromatic hydrocarbon-degrading bacterium isolated from Antarctic soil. *Microb Ecol*, 2002, 43 (1): 44—54.
- 19 Prabakaran SR, Manorama R, Delille D, et al. Predominance of *Roseobacter*, *Sulfitobacter*, *Glaciecola* and *Psychrobacter* in seawater collected off Ushuaia, Argentina, Sub-Antarctica. *FEMS Microbiol Ecol*, 2007, 59: 342—355.
- 20 郑洲, 刘芳明, 张波涛, 等. 南极石油烃降解嗜冷菌的筛选及其降解特性的研究. *海洋科学进展*, 2007, 25 (3): 311—316.
- 21 Whyte LG, Bourbonnié L, Greer CW. Biodegradation of petroleum hydrocarbons by psychrotrophic *Pseudomonas* strains possessing both alkane (alk) and naphthalene (nah) catabolic pathways. *Appl Environ Microbiol*, 1997, 63 (9): 3719—3723.
- 22 Farrell RL, Rhodes PL, Aislabie J. Toluene-degrading Antarctic *Pseudomonas* strains from fuel-contaminated soil. *Biochem Biophys Res Commun*, 2003, 312: 235—240.

- 23 Coubn F, Pelletier E, St Louis R, et al Degradation of petroleum hydrocarbons in two sub-antarctic soils: influence of an oleophilic fertilizer Environ Toxicol Chem, 2004, 23 (8): 1893—1901.
- 24 Coubn F, Pelletier E, Gouffant L, et al Effects of nutrient and temperature on degradation of petroleum hydrocarbons in contaminated sub-Antarctic soil Chemosphere, 2005, 58 (10): 1439—1448.
- 25 Mohn WW, Radzinski CZ, Fortin MC, et al On site bioremediation of hydrocarbon-contaminated Arctic tundra soils in inoculated biopiles Appl Microbiol Biotechnol, 2001, 57 (1—2): 242—247.
- 26 季秀玲,魏云林. 低温微生物环境污染修复技术研究进展. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7 (10): 6—11.
- 27 Master ER, Mohn WW. Psychrotolerant bacteria isolated from arctic soil that degrade polychlorinated biphenyls at low temperatures Appl Environ Microbiol, 1998, 64 (12): 4823—4829.
- 28 Master ER, Mohn WW. Induction of bphA, encoding biphenyl dioxygenase, in two polychlorinated biphenyl-degrading bacteria, psychrotolerant *Pseudomonas* strain Cam-1 and mesophilic Burkholderia strain LB400. Appl Environ Microbiol, 2001, 67 (6): 2669—2676.
- 29 Kuipers B, Cullen WR, Mohn WW. Reductive dechlorination of weathered Aroclor 1260 during anaerobic biotreatment of Arctic soils Can J Microbiol, 2003, 49 (1): 9—14.
- 30 De Domenico M, Lo Giudice A, Michaud L, et al Diesel oil and PCB-degrading psychrotrophic bacteria isolated from Antarctic seawaters (Terra Nova Bay, Ross Sea). Polar Res, 2004, 23 (2): 141—146.
- 31 Michaud L, DiMarco G, Bruni V, et al Biodegradative potential and characterization of psychrotolerant polychlorinated biphenyl-degrading marine bacteria isolated from a coastal station in the Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). Mar Pollut Bull, 2007, 54 (11): 1754—1761.
- 32 Eriksson M, Sodersten E, Yu Z, et al Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons at low temperature under aerobic and nitrate-reducing conditions in enrichment cultures from northern soils Appl Environ Microbiol 2003, 69 (1): 275—284.
- 33 Ma Y, Wang L, Shao Z *Pseudomonas*, the dominant polycyclic aromatic hydrocarbon-degrading bacteria isolated from Antarctic soils and the role of large plasmids in horizontal gene transfer Environ Microbiol, 2006, 8 (3): 455—465.
- 34 Yu Z, Stewart GR, Mohn WW. Apparent contradiction: psychrotolerant bacteria from hydrocarbon-contaminated arctic tundra soils that degrade diterpenoids synthesized by trees Appl Environ Microbiol, 2000, 66 (12): 5148—5154.
- 35 Tang EPY, Vincent WF, Proulx D, et al Polar cyanobacteria versus green algae for tertiary waste-water treatment in cool climate J Appl Phycol, 1997, 9 (4): 371—381.
- 36 Chevalier P. Nitrogen and phosphorus removal by high latitude mat-forming cyanobacteria for potential use in tertiary wastewater treatment J Appl Phycol, 2000, 12 (2): 105—113.
- 37 Garrett RM, Rothenburger SJ, Prince RC. Biodegradation of fuel oil under laboratory and arctic marine conditions Spill Sci Technol Bull, 2003, 8 (3): 297—302.

ADVANCE IN MICROBIAL DEGRADATION OF POLLUTANT AND BIOREMEDIATION IN POLAR REGIONS

Zeng Yinxi^{1,2}, Zheng Tianling¹

(¹ Institute of Applied and Environmental Microbiology, School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

² SOA Key Laboratory for Polar Science, Polar Research Institute of China, Shanghai 200136, China)

Abstract

With the development of human society and improvement of abilities to explore the un-

known world, nowadays environment pollution has become a global problem, even threatening the remote polar regions. Pollution control and treatment in polar regions is a especially prominent problem for the potentially severe consequences caused by any pollution in polar ecosystem being relatively simple, fragile and easy to be destroyed. As an important technology for environment treatment, bioremediation has attracted more attentions, mainly due to its low cost, high efficiency and no second pollution to environment. In this review, environment pollution in polar regions and related pollution treatment and bioremediation by microorganisms in recent years are summarized. In addition, some problems in research are discussed. Pollution treatment and bioremediation of polar environment has become an important task for environmental microbiologists in the 21st century.

Key words polar region, pollution, microorganism, degradation, bioremediation

www.cnki.net