DOI ：10. 19672zj. cnki. 1003 一6504. 2005. 06. (Ml

生物表面活性剂在土壤修复及堆肥中  
应用现状展望

王伟I,曾光明I,黄国和2,钟华I,傅海燕I

(1.湖南大学环境科学与工程系，长沙 410082； 2.Faculty of Engineering, University of Regina, Canada S4S 0A2)

摘要:对国内外关于生物表面活性剂在土壤中有机污染物和重金属污染物去除方面的应用现状进行了较全面的综述，分析了生 物表面活性剂提高污染物去除效率的作用机理，并且对其在堆肥中的应用前景进行了展望。

关键词：生物表面活性剂；土壤；有机污染物；重金属；堆肥

中图分类号：X820.1 文献标识码:A 文章编号：1003-6504 (2005 )06-0099-03

在土壤修复中水溶性是影响污染物去除的重要因 素，很多污染物都是疏水性很强的物质，一般的水洗修 复速度慢，而且效率低，近年来人们通过加入各种添加 剂来增强修复效果，这些添加剂能够缩短时间提高污 染物去除率，添加剂必须是低毒性并且可生物降解 的⑴,生物表面活性剂是一种很有用的添加剂,它本身 包含憎水基团和亲水基团，能够促进土壤颗粒上污染 物的分散和增溶,而且还具有无或较小的环境影响的 优点和原位生长的可能性。生物表面活性剂正逐渐取 代合成表面活性剂成为生物修复研究中的主流。国内 外许多文献报道了将生物表面活性剂应用于土壤修复 的研究⑵。

**1**生物表面活性剂的应用背景

生物表面活性剂是微生物的次级代谢产物，它本 身具有既亲油又亲水的两亲性分子结构，具有分散、增 溶、润湿、渗透等特性，能够降低界面张力和表面张 力⑴O与合成表面活性剂相比生物表面活性剂具有更 好的生物可降解性、生物可适应性以及环境友好性等 特性。大多数生物表面活性剂是阴离子型和中性的， 疏水基团多数是不饱和或轻基取代脂肪酸，亲水基团 则是由单糖、二糖、多糖、竣酸、氨基酸等组成。它们的 临界胶束浓度一般在1〜200mg/L之间，分子500〜 1500amUo

**2** 土壤修复中的应用现状

土壤修复一直是人们研究的热点，其中有机污染 物和重金属的修复尤为重要，常用方法有物理修复、化

基金项目：国家863高技术资助项目(2001AA644020)；国家自然科学 基金(70171055.50179011)；国家杰出青年科学基金(50225926)；高等 学校博士学科点专项科研基金瓷助项目(20020532017):2000年教育部 高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划资助项目

作者简介:王伟(1980—),男，硕士，主要从事生物表面活性剂应用方面 的研究，(电话)：0731 —8821697 (电子信箱)wangweil980 @sina. com0学修复以及生物修复。许多研究表明物理和化学修复 方法有很多局限性，例如修复费用昂贵、修复效率低、易 造成二次污染等。生物修复克服了这些缺点，特别是添 加生物表面活性剂或者生物表面活性剂产生菌能够很 大程度缩短修复时间、提高修复效率，并且能够保持良 好的环境友好性。近年来，国外对生物表面活性剂在土 壤修复中应用的研究很多，并且取得了很大的进展。 2.1有机污染物修复中的应用

生物表面活性剂具有两亲性结构，它可以通过调 节细胞表面的疏水特性来改变微生物细胞与有机物之 间的亲和力⑺，从而促进土壤中难溶有机物的分散和 吸收。生物表面活性剂已经被证明能够增强土壤中桂 类的去除效率，它能够有效的降低土壤中难溶有机物 与水的界面张力。

2.1.1在土壤中的吸附性

在土壤的生物修复中，生物表面活性剂在土壤中 的吸附性是影响其作用效果的重要因素，吸附性高的 表面活性剂容易导致活性剂损失，阻碍活性剂在土壤 中的传输，同时也影响了土壤颗粒上疏水性污染物的 解吸附，阻碍了污染物的去除。另外，大多生物表面活 性剂是多组分的，由于疏水性的差别，在吸附和传输过 程中容易造成表面活性剂的组成发生改变，导致其表 面活性发生变化,这样必然影响了表面活性剂的作用 效果，因此了解生物表面活性剂在土壤中的吸附性是 很有必要的。Wouter H等人同通过序批式实验和柱 实验分析了多组分鼠李糖脂在土壤中的吸附性、吸附 的影响因素以及吸附过程中各组分的变化情况，提出 鼠李糖脂的吸附不是一个在土壤有机质中的分配过程 而是一个发生在土壤一水界面上的吸附过程，高浓度 的鼠李糖脂能够降低土壤对鼠李糖脂的阻滞系数，减 小土壤对它的吸附。土壤修复过程中生物表面活性剂 的组分变化也会影响表面活性剂的临界胶束浓度以及 增溶、乳化特性，为了避免组分改变，在土壤修复中应

环境科学与技术 第28卷 第6期 2005年11月

该选用高浓度的生物表面活性剂。

2.1.2对土壤中有机物的增溶和传输的促进作用

土壤中的有机污染物大部分都是牢固地吸附在土 壤颗粒上的，用普通的水洗办法很难将污染物解吸附 下来,而生物表面活性剂具有特殊的两亲性结构，加入 生物表面活性剂溶液能够很好的提高解吸附效率。 Wouter H等人⑴选用鼠李糖脂，通过柱淋洗实验和 建立吸附动力学模型得出鼠李糖脂能够通过胶束增溶 作用和改变菲在土壤中的吸附平衡来提高菲的去除 率,实验还考察了鼠李糖脂对有机物在土壤中传输的 影响，也得到了积极的结论。

土壤中有机污染物的的传输对土壤的修复也有着 很大的影响。Wouter H等人⑻研究了生物表面活性 剂鼠李糖脂对多环芳香桂(PAHs)在不同土壤介质中 的传输的影响，得到了这样的结论:PAHs在土壤介质 中传输状况的变化受液相中鼠李糖脂的浓度的影响， 当它的浓度低于CMC时，半胶束态的吸附在亲水性 强的介质中对PAHs的传输有削弱，而在亲脂性介质 中对疏水性强的PAHs(如茹和菲)的传输有促进作 用；当它的浓度远大于CMC时,增溶效应克服了污染 物在介质中的吸附作用等负效应，此时鼠李糖脂的存 在对PAHs在不同介质中的传输都有增强作用。可 见生物表面活性剂浓度足够高时，它对土壤中有机物 的传输起促进作用。

2.1.3对有机污染物作用的选择性

生物表面活性剂对土壤中不同的有机物有着不同 的作用效果，Scheibenbogen等人⑺发现*P. aerugino­sa* 生产的鼠李糖脂能够有效的去除沙质土壤中的碳 氢化合物,去除率取决于有机物污染物的类别以及表 面活性剂的浓度。Deschenes等人凶证明同一菌属产 生的鼠李糖脂对四环芳香坯的溶解性的增强程度比对 三环芳香桂的要高。可见生物表面活性剂对有机污染 物具有一定的选择性，因此对应不同的污染物需要选 择最佳的生物表面活性剂，这也是以后土壤修复应用 中的重点。

2.1.4对土壤中有机农药的去除作用

农药能够保证农作物的正常生长，同时也会不断 的积累在土壤中，造成土壤质量的下降。许多国外的 学者对土壤中农药的去除作了研究，考察了生物表面 活性剂对土壤中农药的解吸附、传输等方面的影响。 Juan C.Mata — Sandoval等人凹作了一系列的研究， 他们通过建立兰格缪尔吸附模型估计了鼠李糖脂对有 机杀虫剂在土壤一水态一胶束系统中的分配情况的影 响，得出了这样的结论:当被吸附的表面活性剂的浓度 低于临界胶束浓度(CMC)时，会增加土壤的疏水性、 增加土壤对杀虫剂的吸附性，当浓度超过CMC时，表 面活性剂起到了助溶剂的作用，土壤中的杀虫剂能够 有效的解吸附而且不受土壤干湿度的影响。

2.1.5生物表面活性剂对有机污染物降解的影响

土壤中有机物的降解很大程度上取决于降解微生 物的生存繁殖情况及其降解活性，土壤的质地、环境参 数(温度、pH、通风等)、土著微生物的替换作用以及菌 种的竞争适应性等因素都影响着微生物的生存繁殖和 降解活性。许多研究证明一些生物表面活性剂能够促 进土壤中有机污染物的降解，同样也有研究表明生物 表面活性剂对一些土壤中有机物的降解有抑制作用。 Scheibenbogen 等人凹证明了 *P. aeruginosa* UG2 生 产的鼠李糖脂能够提高土壤中几种多环芳香疑 (PAH )和多氯联苯(PCB)的矿化效果。Miguel A. Providenti等人研究了不同土壤中鼠李糖脂对菲的 降解的影响，发现沙质土壤和粉砂土壤中鼠李糖脂的 加入抑制菲的降解，而在木憎油污染的土壤中对菲的 降解有增强作用，究其原因发现由于土壤中存在着能 够利用鼠李糖脂为碳源繁殖生长的微生物，额外碳源 的加入使这种微生物大量繁殖从而取代了菲的降解菌 占优势，而在木惚油污染的土壤中菲降解菌未被取代。

土壤条件、污染物种类、微生物种类等因素都影响 着生物表面活性剂对土壤中有机物降解的作用效果， 要找到对各种土壤中不同污染物有效的生物表面活性 剂仍需要做大量的研究。

2.2重金属修复中的应用

一些生物表面活性剂能够促进土壤颗粒上重金属 离子的去除,这些生物表面活性剂对土壤中重金属的修 复作用是依赖于它们的阴离子(带负电荷)性，它们能够 吸附到土壤上与重金属离子结合,使其从土壤颗粒上分 离出来进入土壤溶液中,结合到表面活性剂胶束中。

生物表面活性剂对土壤中重金属修复的影响的研 究比较少，但仍然取得了很好的进展。Mulligan等人 对生物表面活性剂对土壤和沉淀物中重金属去除的影 响作了系统的研究。首先他们将脂蛋白(surfactin)用 于桂类污染土壤中铜和锌的去除，首次将生物表面活 性剂应用于有机物和重金属双重污染的土壤的修复 中，实验结果显示:在70%的铜离子被去除的同时，有 50%的桂类污染物被去除，显然这个结果是很理想的。 后来他们又通过序批实验2进一步证明了阴离子生 物表面活性剂脂蛋白、鼠李糖脂应用于重金属修复的 可行性，并且揭示了它们的作用机理。寻找合适的生 物表面活性剂、合适的作用条件以及考察其对复合污 染(有机物和重金属)土壤的作用效果将成为生物表 面活性剂应用于重金属修复的重点。

**3**堆肥中应用的展望

堆肥过程是利用微生物在一定温度、湿度和pH 值条件下，使固体废物中有机物发生生物化学降解，形 成一种类似腐殖质土壤的物质。随着城市人口的增 多，传统堆肥方法的效率已不能满足要求。考虑到生 物表面活性剂在土壤修复中表现出来的优越性，将生 物表面活性剂应用于堆肥过程,提高堆肥效率应该是 可行的。其作用可能有以下几个：(1)生物表面活性剂 的解吸附作用有利于有机物从堆肥颗粒上脱除进入堆 肥间隙液相中，再由微生物进行降解，这样也就间接的 缩短了堆肥时间。(2)生物表面活性剂的存在可能降 低堆肥颗粒间隙液相的表面张力，有利于有机物和菌 体的传输，使堆肥各个层面的有机物与菌体充分接触， 必然会提高堆肥的效率。(3)加入生物表面活性剂可 能促进水分在堆肥颗粒中传输和分散,使水分在较短 的时间内渗透到堆肥的深层，而且生物表面活性剂具 有良好的保湿性能,能够减缓堆肥中水分的蒸发，有利 于长时间保持微生物的活性。

当然9堆肥中的微生物、有机物多而杂9生物表面活 性剂会不会影响微生物的生长、微生物会不会影响生物 表面活性剂的作用效果以及生物表面活性剂对不同有 机物的降解是否有积极作用还需要大量实验来验证。

[参考文献]

1. Mulligan C N. Surfactant-enhanced remediation of contamina­ted soil[ J] . Engineering Geology, 2001, (60)： 371-380.
2. Zhaozhe Hua, JianChen, Shiyi Lun, et al. Influence of bio­surfactants produced by *Candida Antarctica* on surface properties of microorganism and biodegradation of n al- kanes[ J] .Water Research, 2003, (37)： 4143-4150.
3. 钱欣平，阳永荣，孟琴.生物表面活性剂对微生物生长和 代谢的影响[J].微生物学通报,2002, 29(3):75-78.
4. WouterH, Noordman, MarkL, et al. Adsorption of a Mul­ticomponent Rhamnolipid Surfactant to Soil[ J] . Environ.

(上接第65页)

*P*值相吻合，但是随着的增加，而其他气象条件相 同,如序号1、9,抬升的咼度越咼，实际的*P*与2.15相 差的愈远，另外，风速也会对*P*值产生影响,如序号3、 4、5,此时风速的影响大于抬升高度的影响，风速的增 大会明显降低尸值。

**4**结语

本文提出的两种算法严格遵循了环评导则的要 求,运用数值计算方法很好地模拟了熏烟浓度发生的 距离,使浓度计算结果更接近实际，对熏烟模式计算的 推广有导向作用。

Sci.Technol,2000, (34)： 832-838.

1. Wouter H, Noordman W H, et al. Effect of Rhamnolipid Biosurfactants on Removal of Phenanthrene from Soil[ J]. Environ. Sci.Technol., 1998(32)： 1806-1812.
2. Wouter H Noordman, Jaap-Willem Bruining, Pieter Wietzes. Facilitated transport of a PAH mixture by a rhamnolipid bio­surfactant in porous silica matrices[ J] . Journal of Contami­nant Hydrology, 2000, (44)： 119-140.
3. Scheibebbogen, K Zytner, R G Lee, et al. Enhanced removal of selected hydrocarbons from soil by *Pserdomonas aeruginosa* UG2 biosurfactants and somechemical surfactants [ J] . J. Chem. Tech .Biotechnol, 1994, 59： 53 59.
4. Deschnes L, Lafrance P, Villeneuve J P, et al. The impact of a biological and chemical anionic surfactants on the bio­degradation and solubilization of PAHs in a creosote con­taminated soil[ C] . Presented at the Fourth Annual Sym­posium on Groundwater and Soil Remediation, 1994,
5. ：21-23, Calgary, Alta.
6. Juan C Mata-Sandoval, Jeffrey Karns, Alba Torrents. Influence of *Rhamnolipids* and Triton X-100 on the De­sorption of Pesticides from Soils[ J] . Environ. Sci. Tech- nol, 2002, (36):4669-4675.
7. Scheibenbogen K, Zytner R G. Enhanced removal of se­lected hydrocarbons from soil by *P. aeruginosa* UG2 bio­surfactant and some chemical surfactants [ J] . J. Chem. Technol. Biotechnol., 1994, (59)： 53-59.
8. Miguel A Providenti, Cecily A Flemming, Hung Lee. Effect of addition of *Rhamnolipid* biosufactants or rham- nolipid producing *rserdomonas aeruginosa* on phenan­threne mineralization in soil slurries [ J] . FEMS microbi­ology, 1995, (17)：15-26.
9. Mulligan C N, Yong R N, Gibbs B F. Heavy metal re­moval from sediments by biosurfactants [ J] . Journal of Hazardous Materials, 2001 (85 )： 111-123.

(收稿 2004-10-08；修回 2004-11-30)

[参考文献]

1. 郭振华.对熏烟模式应用的探讨[J].环境工程，2003,21 (4)：63-65.
2. 国家环境保护总局.环境影响评价技术导则一一大气环 境[S].北京：中国环境科学出版社，1993.12-47.
3. 国家环境保护总局.中国环境影响评价[M].北京：化学 工业出版，2000.93 -133.
4. 魏生生.逆温破坏型熏烟浓度预测研究[J].环境科学学 报，2000,20 (3):322-326.
5. 丁丽娟.数值计算方法[M].北京：北京理工大学岀版社， 1997.170-179.

(收稿 2004-05-31；修回 2004-09-29)

Environmental Science and Technology

Vol. 2& No. 6, November 2005

ment； eco community； eco-park

Study on Simultaneous Nitrification and  
Denitrification Using Circulation-flow Biofilm Reactor  
SHI Li^un1, WANG Xu^jiang2,

YANG Feng-lin1, ZHANG Xing-wen1

(1. *School of Environmental and Biological Science and*

*Technology, Dalian University of Techo logy, Dalian* 116023；

2. *S inopec Zhenhai Refining Chemical Company L imited,*

*Zhenhai* 315207)

**Abstract ID：** 1003-6504 (2005 )06-0093-03-EA

**Abstract：** SND (simultaneous nitrification and denitrification) is investigated using a circulation-flow fibrour-carriers biofilm re­actor .The study result shows that SND are successfully carried out in the reactor. The effects of C/N rations and DO concen­trations on SND are discussed. When the influent COD concen­tration is 500mg/L and NH4 + -N concentration is 15mg/L, the concentrations of COD, NH^ + ^N and TN in the outlet are smaller than 50 mg/L, 3mg/L and 4. 5 mg/L, and COD re­moval rate, nitrification efficiency and denitrification efficiency are 90%, 80% and 70% respectively.

**Key words：** circulation-flow； fibrour-carriers； biofilm reactor； simultaneous nitrification and denitrification (SND)

Use of Biological Aerated Filter for Removal  
of Ammonia Nitrogen in Secondary Effluent  
KONG Jian1, CHEN Li2

(1. *School of Geoexploration Science and Technology <)  
Jilin University, Changchun\30026；*

*l.Shool of Water Resource and Environment,*

*China University of Geosciences, Beijingl000S3 )*

**Abstract ID：** 1003-6504 (2005 )06-0095-02-EA

**Abstract：** Biological aerated filter was used for advanced treat­ment of secondary effluent through three stages including bio­membrane cultivation and acclimatization, varying duty opera­tion and steady operation. Results showed that ammonia nitro­gen can be effectively removed, with effluent quality up to Class III of *Surface Water Environment Quality Standard* (GB3838 —2002) and meet requirements on advanced reuse for land­scape.

**Key words：** wastewater reuse； secondary effluent； ammonia ni­trogen； biological aerated filter

Filth-resistance of Ozone in Circulating  
Cooling Water Treatment

LI Song-tian1, LI Chang-hao2, XING Zhao-hui1

(1 *.School of Chemistry and Chemical Engineerings  
Pingdingshan College, Pingdingshan^l000；*

2. *Pingdingshan Municipal Urban Planning Design and  
Research Institute, Pingdingshan467000)*

**Abstract ID：** 1003-6504 (2005 )06-0097-02-EA

**Abstract：** Study on filth-resistance of ozone in circulating cooling water showed that organic matters could be oxidized by ozone to generate CO2, which will increase Ca concentration by transforming CaCO3 into Ca (HCO3 )2. Filth-resistant function will be realized with increase of Ca concentration in cooling water.

**Key words：** ozone； filth-resistance； circulating cooling water

Review on Application of Biosurfactant  
in Soil Recovery and Composting

WANG Wei1, ZENG Guang-ming1, HUANG Guo-he\  
ZHONG Hua1, FU Hai-yan1

(1 *.Department of Environmental Science and  
Engineerings Hunan University, Changsha* 410082；  
*Faculty of Engineering, University of Regina,  
Canada S4S* 0/2)

**Abstract ID：** 1003-6504 (2005 )06-0099-03-EA

**Abstract：** This paper completely summarizes the application of biosurfactants on the removal of organic matters and heavy met­als in soil, analyzes the mechanism of the effect of biosurfacta­nts. In the end, the author makes a view on the use of biosur­factants in composting.

**Key words：** biosurfactant； soil； organic contamination； heavy metal； composting

Progress of Microbial Treatment Processes  
for Nitrogen Removal一Completely Autotrophic  
Nitrogen Removal Process

GUO Jin-song, LUO Ben-fu? FANG Fang

*{Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering,  
Chongqing University, Chongqing* 400045)

**Abstract ID：** 1003-6504 (2005 )06-0102-04-EA

**Abstract：** The completely autotrophic nitrogen removal process is one of researches hotspots about the treatment of high-NH4 + —N wastewater in this field today. The N-removal theory and N-removal processes, characteristics and technical keys of the process are analyzed systemically and generally in the article. In the end, several important study directions about N-removal process are pointed out.

**Key words：** completely autotrophic nitrogen removal； SHAR­ON process； ANAMMOX process； CANON process； OLAND process

Heavy metals Partitioning and  
Seasonal Variation in Lake Sediments

WANG Xiao-qing

*(.Department of Material Engineering,*

*Luoyang Poly-technical College<, L* wo^awg471003)

**Abstract ID：** 1003-6504 (2005 )06-0106-03-EA

**Abstract：** Sediments sample of Dianshan Lake was collected in summer and winter to analyze partitioning of heavy metals such as Cd, Pb, Cu, Cr, Fe and Mn by Tessier extraction procedure and reasons of seasonal variation were analysed. Results showed that seasonal variations occurred for various speciations of heavy metals, and the variations related with temperature, pH and Eh.

**Key words：** sediment； speciation； seasonal variation； Dianshan Lake

° vn °