

技术进展

膜生物反应器对环境雌激素去除研究现状及进展

郭 杨, 杨小丽, 王世和

(东南大学市政工程系, 江苏 南京 210096)

摘要:介绍了膜生物反应器(MBR)对环境雌激素的去除效果,探讨了雌激素在 MBR 中的归趋及其影响因素,分析了其存在的问题。认为今后应详细研究结合雌激素在 MBR 中的归趋,建立能全面评估环境雌激素在 MBR 中迁移转化和去除效果的模型,以及深入研究污泥中雌激素的迁移转化。

关键词:膜生物反应器;废水处理;环境雌激素

中图分类号:X703.1

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2008)11-0014-05

Progress in research on treatment of environmental estrogens in membrane bioreactor

GUO Yang, YANG Xiao-li, WANG Shi-he

(Department of Municipal Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The removal efficiency, fate and influencing factors of environmental estrogens in membrane bioreactor(MBR) are introduced in this paper. And some existing problems are also discussed. Research is required to be concerned with the fate of conjugates in MBR, establish a comprehensive model that focuses on fate, transport, and removal of estrogen compounds, so as to obtain the transformation of environmental estrogens in the sludge phase.

Key words: membrane bioreactor(MBR); wastewater treatment; environmental estrogens

环境雌激素包括天然雌激素和人工合成雌激素^[1]。天然雌激素主要来源于人和动物的排泄物,包括雌激素酮(estrone, E1)、17 β -雌二醇(17 β -estradiol, E2)、17 α -雌二醇(17 α -estradiol, 17 α)等^[2];人工合成雌激素常被用作口服避孕药和制作环氧树脂、聚碳酸酯、阻燃剂等的化工中间体,包括 17 α -乙炔基雌二醇(EE2)、双酚 A(BPA)等。世界范围内的河流、海洋及其底泥,甚至地下水中都普遍发现环境雌激素类物质的存在^[3]。这类物质大都为脂溶性,化学性质稳定,难以生物降解,质量浓度低至 ng/L 时仍能对生物体造成危害^[4]。一般经呼吸、皮肤接触、食物链富集等进入生物体内,通过干扰内分泌系统产生致畸、致癌、损害生育功能等作用^[5]。

近几年,人们围绕城市污水处理工艺中此类污染物的迁移转化和去除展开了大量研究,而针对膜生物反应器(MBR)对其的去除研究还鲜见系统报道。传统污水处理厂并不能有效去除废水中的雌激素,其出水雌激素浓度超过了预测无效应质量浓度(PNEC, 1 ng/L)的数倍甚至数百倍^[6],例如:E1 为

3~9 ng/L^[7], E2 为 0.1~5 ng/L^[8], EE2 为 0.1~9 ng/L^[7], 4-壬基酚(4-NP)和 BPA 为 0.16~0.36 μ g/L^[9]。传统污水处理工艺的不足导致污水处理厂出水成为自然水体中环境雌激素的重要来源^[3]。臭氧氧化、活性炭吸附、反渗透以及 UV/H₂O₂ 方法虽可有效去除废水中雌激素,但较高的处理费和维护管理费限制了其进一步发展。Holbrook 等^[10]用 MBR 和传统活性污泥法分别处理含 16.25 ng/L 雌激素(以 E2 计)的生活污水,发现传统活性污泥法出水中雌激素质量浓度为 7 ng/L,而 MBR 出水中雌激素质量浓度仅为 4.5 ng/L,显示出较为优越的处理性能。

本文从 MBR 对环境雌激素的去除效果、雌激素在 MBR 中的归趋以及影响因素等方面展开讨论,分析了其存在问题,并对今后的研究方向提出建议。

1 MBR 对环境雌激素的去除效果

MBR 是将生物处理与膜分离技术有机结合的新型污水处理技术。膜组件的高效分离使其处理环

收稿日期:2008-07-07

作者简介:郭杨(1982-),女,侗族,博士生,gyguoyang1983@126.com;杨小丽(1977-),女,博士,讲师,主要从事水处理方面的研究,通讯联系人, yangxl-seu@163.com。

境雌激素时具有以下优势:①生物量高,污泥质量浓度(MLSS)可达8~25 g/L或更高^[11],在低污泥负荷(F/M)条件下,生化反应速率加快,有利于雌激素的吸附和降解。②泥龄(SRT)长,可将SRT延至25~80 d甚至更长^[12],有利于增殖缓慢的微生物如硝化菌的截留与生长。研究表明^[13],硝化菌对雌激素有更强的去除能力。长泥龄还能丰富系统生物相,提高微生物对雌激素的适应性和降解能力。在MLSS为10 g/L、SRT为83.3 d的微滤膜MBR中,出水E2和E1的质量浓度可分别降至2.2 ng/L和10.3 ng/L,而用MLSS为1 g/L、SRT为4.8 d的传统活性污泥系统处理相同废水时,其出水E2和E1质量浓度分别为7.9 ng/L和26.3 ng/L^[14]。分析认为,微滤膜和超滤膜的孔径比雌激素分子大100~10 000倍,故此类膜组件不能有效分离游离雌激素。同时Hu等^[1]研究也表明,微滤膜MBR出水中雌激素活性与好氧上清液中相比并未降低。由此可见,MBR较好的雌激素去除效果主要得益于生物处理,膜分离的贡献较小。

有文献指出,MBR对葡萄糖苷酸类、硫酸盐类雌激素结合物E1-3G、E2-G、E1-3S和E2-3S的去除率低于传统活性污泥法^[1],这可能是由以下原因造成的:①葡萄糖苷酸类、硫酸盐类雌激素结合物难于分解,其半衰期分别为6 h和2.5 d^[15]。而与活性污泥法相比,MBR的水力停留时间(HRT)较短,污染物与其降解酶的接触时间不足,导致去除率下降。②所有MBR均存在前置反硝化区,有可能降低该类雌激素结合物的生物降解率。

2 环境雌激素在 MBR 中的归趋

环境雌激素在 MBR 中的归趋与其物理化学性质、运行条件等因素有关,包括吸附、生物降解、非生物降解和挥发。其中吸附和生物降解是2个最重要的雌激素去除途径,且都与废水的生物利用度有关^[12]。

2.1 生物利用度

生物利用度在污水处理中用于描述污染物对微生物的可利用性,它与污染物的相态分布、传质特性等物理化学性质有关,与微生物的生理特点(细胞膜的渗透性、主动吸收系统的存在、酶系统以及分泌酶和生长素的能力等)也有关系^[16]。环境雌激素的生物利用度及对应的可生化性程度主要决定于其在水中的溶解度。

2.2 吸附

吸附作用包括吸收和吸附。吸收指脂类和芳香

族化合物与某些微生物的亲脂性细胞膜及活性污泥中脂类组分间的疏水交互作用;吸附由微生物细胞膜表面负电荷基团产生的静电作用引起。常用线性吸附方程描述疏水性有机物在固-液界面的分配规律,而BPA和类固醇类雌激素的吸附行为主要用非线性的Freundlich吸附等温式描述^[17]。MBR中吸附作用的大小与环境雌激素的疏水性、活性污泥的比表面积及其有机组分的含量有关^[6]。

2.3 生物降解

生物降解是MBR中环境雌激素的重要去除途径之一。例如:革兰氏阴性菌*Rhodococcus zopfii*和*Rhodococcus equi*能将废水中100 mg/L的E2在24 h内降解至1 mg/L^[18]。研究表明^[19],天然雌激素E1、E2比合成雌激素EE2易于降解,其可降解性次序为E2>E1>EE2,在微生物作用下,E2首先氧化成E1再进一步降解,EE2降解较慢,且降解率低。

低浓度下,雌激素的生物降解通常遵循一级反应动力学。降解率很大程度上决定于系统的运行环境,如氧化还原电位和微生物数量等。微生物对基质的适应性与接触时间有关,酶的亲和力大小会影响雌激素的传质与分解。

2.4 非生物降解和挥发

非生物降解包括某些物理化学过程,如光降解、水解等^[20]。与生物降解相比,非生物降解对于废水中雌激素的去除作用极其有限^[21]。

挥发作用的大小取决于雌激素的蒸汽压(亨利常数H)。天然雌激素的蒸汽压很低,亨利常数很小,在常温、常压下的挥发非常有限^[6]。

3 MBR 中雌激素去除的影响因素

3.1 环境雌激素的化学性质

3.1.1 疏水性

疏水性是造成污染物在废水处理过程中被污泥、脂类物质以及颗粒物吸附的主要原因^[22]。污染物被悬浮固体吸附后可通过排除剩余污泥的方式实现去除。吸附作用大小可用辛醇-水分配系数(K_{ow})估计。 K_{ow} 越高,表示物质亲水性越低,易被污泥中的有机质吸附^[23]。当 $\log K_{ow} < 2.5$ 时,吸附作用不明显。

多数雌激素的疏水性适中或偏高(见表1),有利于其在处理过程中被活性污泥吸附去除。Andersen等^[24]用某生活污水处理厂的活性污泥处理人工配水,测定E1、E2、EE2的最小吸附平衡时间,87%~97%的雌激素在0.5 h内被活性污泥吸附,

2 h 后达到吸附平衡。Wintgens 等^[25]用中试 MBR 处理垃圾渗滤液时发现,约 80% 的 NP 被吸附去除。Hu 等^[1]研究表明,MBR 中雌激素结合物 E1-3G、E2-G、E2-3、17S 的吸附量极低。分析认为这是由于游离雌激素分子的羟基被高分子质量极性基团葡萄糖苷酸 (GLU) 和硫酸盐 (SUL) 取代,使其亲水性增强,在水中的溶解度加大所致。

表 1 部分雌激素的辛醇-水分配系数^[23]

雌激素	log K_{ow}
雌激素三醇 (E3)	2.45
雌激素酮 (E1)	3.13
双酚 A (BPA)	3.32
17 α -雌二醇 (E2)	4.01
辛醇 (OP)	4.12
壬基酚 (NP)	4.48

3.1.2 化学结构

环境雌激素的化学结构和元素组成会影响其去除效果。例如:极性化合物萘磺酸类物质(阴离子表面活性剂)的去除率很大程度上决定于其分子结构,经 MBR 处理后,萘单磺酸类物质几乎被完全清除,而萘双磺酸盐类物质的去除率仅为 40% 左右^[26]。雌激素分子的芳香基^[27]和有机碳含量、极性基团与非极性基团数之比也会影响其降解和吸附。MBR 中,带长烷基链的直链烷基苯磺酸钠 (LAS) 较之该类阴离子表面活性剂中其他短链化合物会被活性污泥优先吸附^[28]。NP 和 LAS 中,不同的烷基链化学结构会造成其降解途径不同。例如 NP 含支链的异构体降解性极差,且因降解不完全会生成中间产物;而 NP 的直链异构体完全降解的速率较快^[29]。E2 和 EE2 的化学结构相似,但 EE2 中乙炔基的存在使其生物降解性较之 E2 差很多^[30]。

总之,化学结构简单的雌激素在水处理过程中易被降解去除;结构复杂且含有化学毒性基团的雌激素通常以母体化合物或不完全降解的中间产物形式存在,其溶解态和附着态都不易被降解。

3.2 MBR 的运行条件

3.2.1 污泥龄和污泥浓度

MBR 中膜的截留作用使其具有很长的 SRT 和很高的 MLSS。长泥龄有利于世代周期长的菌种生长、提高微生物种群的多样性和菌种对雌激素的适应性。与 SRT 为 17 d 时相比,SRT 为 33 d 时 MBR 具有更高的雌激素去除率^[1]。Terzic 等^[28]认为长泥龄是 MBR 中壬基酚聚氧乙烯醚 (NPnEO) 去除率较

高(95%)的原因。研究表明^[31],SRT > 8 d 时,硝化菌开始在反应器中生长和积累。而系统脱氮性能的提高有利于雌激素的去除^[32]。Vader 等^[13]发现,硝化效果较好时,EE2 的去除率得到提高。

某些雌激素降解酶的活性随活性污泥比表面积增大而增强。MBR 中微生物絮体尺寸为 10 ~ 100 μm ,反应器单位体积的絮体表面积比传统工艺高 10 倍^[33],较小的活性污泥絮体和高的 MLSS 强化了系统传质条件,增加了污泥中的活性组分^[34],加快了生化反应速率,有利于雌激素的吸附和降解。

3.2.2 pH

pH 通过影响微生物酶的活性和雌激素在水中的溶解度进而影响 MBR 对雌激素的去除率。Clara 等^[12]发现 pH 从 7 增加至 12 时,E2 和 EE2 的溶解度加大,解吸作用增强;pH > 12 时,BPA 的亲水性增强,吸附作用大幅减小。Kikuta 等^[35]研究表明,BPA、E2、EE2 的活性污泥-水分配系数 (K_p) 随 pH 的减小而增大。对于带羧基的雌激素,其 pH 为 5.6 时的 K_p 值是 pH 为 6.7 时的 2.5 ~ 30.0 倍;BPA、EE2 等带酚环的雌激素其 K_p 值变化规律相似。

酸性条件在 MBR 处理过程中不常见,但对于高浓度废水,适当降低系统 pH 有助于增强雌激素的去除效果。

3.2.3 温度

温度会影响雌激素物理化学性质(溶解度等)、微生物活性及其群落结构。温度升高能提高微生物活性、加速其生长、缩短最小吸附平衡时间、提高降解率^[36];温度过低时,系统传质和微生物活性受到抑制,去除率降低。

研究表明^[12],MBR 中 EE2 的去除率由 5 月份的 60% 提高到 7 月份的 70%,12 月份由于温度降低其去除率为零。Desbrow 等^[7]发现,冬季微生物活性降低,导致出水中类固醇雌激素的浓度大幅增加。温度从 3 $^{\circ}\text{C}$ 升高到 30 $^{\circ}\text{C}$ 时,NPnEO 和 LAS 的去除率增加至 95%,甚至更高^[28]。

传统生物处理工艺对季节性温度变化的适应性比 MBR 高^[12]。分析认为这是由于传统工艺的构筑物表面积较大,削弱了温度变化对微生物活性的影响。但 MBR 结构紧凑,可通过在运行时保持适宜的温度来提高雌激素去除率。

3.3 其他因素

3.3.1 雌激素化合物间的转换

雌激素化合物极易经酶的作用转化为其他活性雌激素^[30],从而影响总去除率。其在初始浓度为

$10^{-12} \sim 10^{-3}$ mol/L,存在对应酶时的水解是完全的、热力学不可逆的^[6]。

Hu等^[1]用中试 MBR 处理废水时发现,进出水中 E1 浓度远高于 E2,且 4-壬基酚(4-NP)的去除率为 -439.5% ~ -161.1%。高浓度 E1 的产生可能是由于 E2 在降解过程中首先氧化成 E1,以及 E1 和 E2 的结合物初级解离造成。而 4-NP 去除率为负则可能是由于其母体化合物 NPnEOs 在缺氧池中易快速水解为 4-NP,且其水解速率高于 4-NP 的吸附速率和降解速率所致。

3.3.2 共存抗生素

废水中共存抗生素(如磺胺甲噁唑、泰乐菌素、氯四环素等)会通过破坏菌种的降解能力、作为碳源与雌激素竞争来抑制雌激素的生物降解^[6]。城市污水和医药废水中普遍存在抗生素和雌激素,因此,进一步研究它们之间的生物降解竞争途径很有必要。

4 存在问题及研究方向

虽然 MBR 对环境雌激素的去除率较高,但当原水雌激素水平偏高时,其出水残留浓度仍然会超过预测无效应浓度,且有关 MBR 中混合液性质对雌激素去除效果的影响还未见报道。因此,建议今后的研究可从以下几方面着手:

(1)深入研究环境雌激素在 MBR 中的物质平衡及混合液性质对其去除率的影响,建立能全面评估处理过程中雌激素迁移转化和去除效果的模型,以期优化操作条件,进一步提高去除率。

(2)由于结合性雌激素没有生物活性^[6],目前大多数研究并未关注其在出水中的残余浓度,但因其能在受纳水体的下游转化为活性较高的游离雌激素,故有必要详细研究结合性雌激素在 MBR 中的归趋。

(3)被活性污泥吸附的雌激素虽经剩余污泥排放从废水中得到去除,但在污泥厌氧消化过程中会再次释放^[24]。因此,有必要研究污泥中雌激素的迁移转化,以期将其从环境中彻底去除。

参考文献

- [1] Hu J Y, Chen X, Tao G, *et al.* Fate of endocrine disrupting compounds in membrane bioreactor systems[J]. *Environmental Science and Technology*, 2007, 41(11): 4097 - 4102.
- [2] Shore L S, Shemesh M. Naturally produced steroid hormones and their release into the environment[J]. *Pure and Applied Chemistry*, 2003, 75(11/12): 1859 - 1871.
- [3] Lai K M, Scrimshaw M D, Lester J N. Prediction of the bioaccumulation factors and body burden of natural and synthetic estrogens in aquatic organisms in the river systems[J]. *Science of the Total Environment*, 2002, 289(1/2/3): 159 - 168.
- [4] Tyler C R, Spary C, Gibson R, *et al.* Accounting for differences in estrogenic responses in rainbow trout and rouch exposed to effluents from wastewater treatment works[J]. *Environmental Science and Technology*, 2005, 39(5): 2599 - 2607.
- [5] Preziosi P. Natural and anthropogenic environmental oestrogens: The scientific basis for risk assessment endocrine disrupters as environmental signalers: An introduction[J]. *Pure and Applied Chemistry*, 1998, 70(9): 1617 - 1631.
- [6] Khanal S K, Xie Bin, Michael L, *et al.* Fate, transport, and biodegradation of natural estrogens in the environment and engineered systems[J]. *Environmental Science and Technology*, 2006, 40(21): 6537 - 6546.
- [7] Desbrow C, Routledge E J, Brighty G C, *et al.* Identification of estrogenic chemicals in STW effluent: 1. Chemical fractionation and in vitro biological screening[J]. *Environmental Science and Technology*, 1998, 32(11): 1549 - 1558.
- [8] Huang C H, Sedlak D L. Analysis of estrogenic hormones in municipal wastewater effluent and surface water using enzyme-linked immunosorbent assay and gas chromatography/tandem mass spectrometry[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2001, 20(1): 133 - 139.
- [9] Körner W, Bolz U, Submuth W, *et al.* Input/output balance of estrogenic active compounds in a major municipal sewage plant in Germany[J]. *Chemosphere*, 2000, 40(9/10/11): 1131 - 1142.
- [10] Holbrook R D, Novak J T, Grizzard T J, *et al.* Estrogen receptor agonist fate during wastewater and biosolids treatment process: A mass balance analysis[J]. *Environmental Science and Technology*, 2002, 36(21): 4533 - 4539.
- [11] Galil N I, Sheidorf Ch, Stahl N, *et al.* Membrane bioreactors for final treatment of wastewater[J]. *Water Science and Technology*, 2003, 48(8): 103 - 110.
- [12] Clara M, Strenn B, Kreuzinger N. Comparison of the behaviour of selected micropollutants in a membrane bioreactor and a conventional wastewater treatment plant[J]. *Water Science and Technology*, 2004, 50(5): 29 - 36.
- [13] Vader J S, Finkel C G, Sperling F M G M, *et al.* Degradation of ethinyl estradiol by nitrifying activated sludge[J]. *Chemosphere*, 2000, 41(8): 1239 - 1243.
- [14] Snyder S A, Westerhoff P, Yoon Y, *et al.* Pharmaceuticals, personal care products, and endocrine disruptors in water: Implications for the water industry[J]. *Environmental Engineering and Science*, 2003, 20(5): 449 - 459.
- [15] D'Ascenzo G, Di Corcia A, Gentili A, *et al.* Fate of natural estrogen conjugates in municipal sewage transport and treatment facilities[J]. *Science of the Total Environment*, 2003, 302(1/2/3): 199 - 209.
- [16] Wallberg P, Jonsson P R, Andersson A. Trophic transfer and passive uptake of a polychlorinated biphenyl in experimental marine microbial communities[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2001, 20(10): 2158 - 2164.
- [17] Casey F X M, Larsen G L, Hakk H, *et al.* Fate and transport of 17 β -estradiol in soil-water system[J]. *Environmental Science and Technology*

- gy, 2003, 37(11): 2400 - 2409.
- [18] Yoshimoto T, Nagai F, Fujimoto J, *et al.* Degradation of estrogens by *Rhodococcus zopfii* and *Rhodococcus equi* isolated from activated sludge in wastewater treatment plants[J]. *Applied Environmental Microbiology*, 2004, 70(9): 5283 - 5289.
- [19] Fine D D, Breidenbach G P, Price L T, *et al.* Quantitation of estrogens in ground water and swine lagoon samples using solid-phase extraction, pentafluorobenzyl/trimethylsilyl derivatizations and gas chromatography-negative ion chemical ionization tandem mass spectrometry[J]. *Journal of Chromatography A*, 2003, 1017(1/2): 167 - 185.
- [20] Bouillon R C, Miller W L. Photodegradation of dimethyl sulfide (DMS) in natural waters: Laboratory assessment of the nitrate-photolysis-induced DMS oxidation [J]. *Environmental Science and Technology*, 2005, 39(24): 9471 - 9477.
- [21] Stangroom S J, Collins C D, Lester J N. Abiotic behaviour of organic micropollutants in soils and the aquatic environment. A review: II. Transformations[J]. *Environmental Technology*, 2000, 21(8): 865 - 882.
- [22] Garcia M T, Campos E, Dalmau M, *et al.* Structure activity relationships for association of linear alkylbenzene sulfonates with activated sludge [J]. *Chemosphere*, 2002, 49(3): 279 - 286.
- [23] Nakada N, Tanishima T, Shinohara H, *et al.* Pharmaceutical chemicals and endocrine disrupters in municipal wastewater in Tokyo and their removal during activated sludge treatment[J]. *Water Research*, 2006, 40(17): 3297 - 3303.
- [24] Andersen H, Siegrist H, Halling-Sorensen B, *et al.* Fate of estrogens in a municipal sewage treatment plant[J]. *Environmental Science and Technology*, 2003, 37(18): 4021 - 4026.
- [25] Wintgens T, Gallenkemper M, Melin T. Occurrence and removal of endocrine disrupters in landfill leachate treatment plants[J]. *Water Science and Technology*, 2003, 48(3): 127 - 134.
- [26] Reemtsma T, Zywicki B, Stueber M, *et al.* Removal of sulphur-organic polar micropollutants in a membrane bioreactor treating industrial wastewater[J]. *Environmental Science and Technology*, 2002, 36(5): 1102 - 1106.
- [27] Chiou C T, McGroddy S E, Kile D E. Partition characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons on soils and sediments[J]. *Environmental Science and Technology*, 1998, 32(2): 264 - 269.
- [28] Terzic S, Matosic M, Ahel M, *et al.* Elimination of aromatic surfactants from municipal wastewaters: Comparison of conventional activated sludge treatment and membrane biological reactor[J]. *Water Science and Technology*, 2005, 51(8): 447 - 453.
- [29] Cirja M, Zuehlke S, Ivashchkin P, *et al.* Fate of a 14C-labeled nonylphenol isomer in a laboratory-scale membrane bioreactor[J]. *Environmental Science and Technology*, 2006, 40(19): 6131 - 6136.
- [30] Ternes T A, Stumpf M, Müller J, *et al.* Behavior and occurrence of estrogens in municipal sewage treatment plants: I. Investigations in Germany, Canada and Brazil[J]. *Science of the Total Environment*, 1999, 225(1/2): 81 - 90.
- [31] Jacobsen B N, Nyholm N, Pedersen B M, *et al.* Removal of organic micropollutants in laboratory activated sludge reactors under various operating conditions: Sorption[J]. *Water Research*, 1993, 27(10): 1505 - 1510.
- [32] Clara M, Kreuzinger N, Strenn B, *et al.* The solids retention time: A suitable design parameter to evaluate the capacity of wastewater treatment plants to remove micropollutants [J]. *Water Research*, 2005, 39(1): 97 - 106.
- [33] Zhang B, Yamamoto K, Ohgaki S, *et al.* Floc size distribution and bacterial activities in membrane separation activated sludge processes for small-scale wastewater treatment/reclamation [J]. *Water Science and Technology*, 1997, 35(6): 37 - 44.
- [34] Cicek N, Franco J P, Suidan M T, *et al.* Characterization and comparison of a membrane bioreactor and a conventional activated sludge system in the treatment of wastewater containing high-molecular weight compounds[J]. *Water Environment Research*, 1999, 71(1): 64 - 70.
- [35] Kikuta T. Modelling of degradation of organic micropollutants in activated sludge process focusing on partitioning between water and sludge phases[D]. Tokyo: Institute of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, 2004.
- [36] Price P B, Sowers T. Temperature dependence of metabolic rates for microbial growth, maintenance, and survival[J]. *Microbiology*, 2004, 101(13): 4631 - 4636. ■

您想了解本专业最新的技术进展吗?
您想及时掌握国内外竞争对手的技术动向吗?
您想获取最新的国外科技文献资源吗?
您想解决在研发过程中遇到的技术难题吗?
您想在进行技术改造时得到有效的技术支撑吗?

中国化工信息中心拥有的全国最权威的化工科技文献资源是您的坚强后盾!

中国石油和化工文献资源网是您高效便捷的途径!

中国化工信息中心文献服务部的专业服务人员是您好的帮手!

我们的资源

- 国家财政专项文献采购经费 1 200 万元人民币/年
- 原版外文期刊 1 000 余种
- 国外会议录、科技报告等 270 余种
- 电子版数据库 30 余种
- 定价在 1 万元以上的国外原版期刊 130 余种

· 中文期刊、会议录、科技报告、图书等文献 3 000 余种
· 高度专业化的化学化工及相关学科的专题报告, 提供化工产品、原材料方面的技术经济信息、产品的生产工艺和设计数据

· 1977 年以后的全部美国化学文摘(CA)光盘

我们的服务

技术快讯 文献检索 原文提供 定题跟踪
科技查新 情报调研 咨询服务 文献协作

我们的网站

中国石油和化工文献资源网 WWW.CHEMDOC.COM.CN

我们的目标

使国家投入巨资收藏的国内外科技文献资源多层次、多方位、多角度、多途径、最大程度地为企业所用, 使企业从中获得最大的效益

中国化工信息中心 文献服务部

电话: 010 - 64444070 64437121 传真: 010 - 64437115

E-mail: lihj@mail. encic.gov.cn