

氯代芳香化合物的生物降解性研究进展*

瞿福平 张晓健 吕 昕 顾夏声

(清华大学环境工程系, 北京 100084)

摘要 对氯代芳香化合物的生物降解性进行了系统的综述, 内容包括氯代芳香化合物的生物降解性差异、具有降解氯代芳香化合物能力的微生物、氯代芳香化合物的氧化脱氯机理、还原脱氯机理及共代谢作用机制, 并对氯代芳香化合物生物降解性尚需进一步研究的方面提出了笔者的观点。

关键词 氯代芳香化合物, 生物降解性, 脱氯机理。

氯代芳香化合物从结构上说是指芳香烃及其衍生物中一个或几个氢原子被氯原子取代之后的产物, 可分为氯苯、氯酚、氯代苯氧酸、氯萘、氯联苯(PCBs) 等几大类, 它们广泛用于工农业生产中, 是一类污染面广、毒性较大、不易降解的化合物。在美国 EPA 所列129种优先污染物中占25种之多, 这些物质大多具有“三致”作用。前人从微生物的富集、分离及菌种的鉴定, 到化合物的降解脱氯机理等方面进行了大量的工作, 取得了许多有益的成果。

1 氯代芳香化合物的生物降解性差异

在微生物作用下, 许多氯代芳香化合物都能产生不同程度的降解, 但是由于氯代程度及氯代位置的不同, 其生物降解性也存在明显的差异。业已发现, 3-氯苯甲酸、3-氯邻二酚、4-氯邻二酚、3, 5-二氯邻二酚等都能够作为纯培养时微生物生长的碳源和能源, 被彻底降解为二氧化碳和水, 释放出无机的氯离子^[1], 另一些化合物如4-氯联苯、1-对氯苯基-1-苯乙烷等, 在它们分子结构中, 未被氯取代的苯环被开环裂解, 产生乙醛和丙酮酸, 可用于微生物的生长, 而被氯取代的苯环则生成末端产物4-氯苯甲酸。所以这类化合物在纯培养中虽然也可作为生长基质, 但只能被部分降解^[2]。还有一些化合物, 在纯培养中根本不能作为微生物的生长基质, 如一些多氯联苯, 但它们在共基质混合培养条件

下, 主要借其它生长基质的诱导, 产生使它们结构改变的酶系统, 以及利用其它共存微生物的协同作用, 产生降解^[3]。氯代芳香化合物的生物降解性还与菌种培养驯化物质有关, 如对2-氯酚、3-氯酚、4-氯酚的研究表明, 用2-氯酚驯化时, 降解程度顺序为2-氯酚> 4-氯酚> 3-氯酚, 用3-氯酚驯化时, 顺序为3-氯酚> 4-氯酚> 2-氯酚, 用4-氯酚驯化时, 顺序为4-氯酚> 3-氯酚> 2-氯酚^[4, 5]。

2 具有降解氯代芳香化合物能力的微生物

氯代芳香化合物通常被认为是环境外来化合物, 微生物由于缺乏与之降解相适应的酶系统, 所以表现出难以生物降解性能, 但是在长期的接触驯化过程中, 微生物的遗传变异和质粒传递特性, 使很多微生物具有了降解或部分降解氯代芳香化合物的能力。迄今为止, 许多学者已从土壤或水体底泥中获得并分离到了这些微生物(如表1所示)^[1, 6-8]。

3 氯代芳香化合物的生物降解机理

氯代芳香化合物与芳烃类化合物相比, 生物降解性大大降低, 这主要是由于氯原子的引入引起本身结构改变所致。它的降解至关重要

* 国家自然科学基金资助项目

收稿日期: 1996-06-19

的一步在于脱氯, 根据脱氯过程中的电子得失, 可分为氧化脱氯和还原脱氯, 除了脱氯机制外, 氯代芳香化合物的降解还存在共代谢机制, 该

机制能够改变化合物的分子结构, 使其在混合培养中更易于其它微生物的降解.

3. 1 氯代芳香化合物的氧化脱氯机理

表1 具有降解氯代芳香化合物的纯培养微生物¹⁾

氯代芳香化合物	微生物	质粒(plasmid)、共代谢及其它
1-氯萘, 2-氯萘, 1, 2-二氯苯一氯酚	<i>Pseudomonas</i> sp.	二者都存在共代谢
2-, 3-, 4-氯酚, 2, 4-二氯酚	<i>Mycobacterium</i> sp. , <i>Nocardia</i> sp.	
五氯酚	<i>Alcaligenes</i> sp.	
1, 3-二氯苯	<i>Rhodococcus chlorophenolicus</i>	后者发现质粒
1, 4-二氯苯	<i>P. cepacia</i> (AC 1100) , <i>Flavobacterium</i> sp.	
氯甲苯, 3, 4-二氯甲苯	<i>Alcaligenes</i> sp.	
2-, 3-, 4-氯甲苯, 2, 6-二氯甲苯	<i>Pseudomonas putida</i> , P. sp.	发现质粒
一氯苯甲酸(盐)	<i>Pseudomonas cepacia</i>	
2-氯苯甲酸(盐)	<i>Pseudomonas cepacia</i>	
	<i>Mycobacterium</i> sp. ; <i>Nocardia</i> sp.	存在共代谢9
	<i>Pseudomonas cepacia</i>	
	<i>Flavobacterium</i> sp. , <i>A. eutrophus</i> H850	
	<i>Alcaligenes paradoxus</i> (JMP 130, 133, 134)	发现质粒分别为 pRC10, pJP4
	<i>Pseudomonas putida</i> (AC 858, AC 866)	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , P. sp. (B13)	
3-氯苯甲酸(盐)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , P. sp. (B13)	发现质粒, 分别为 pAC25, pAC27
4-氯苯甲酸(盐)	<i>Acinetobacter alcoaceticus</i> , P. sp. (B13)	
	<i>Arthrobacter</i> sp. , P. sp. (CBS3)	
2, 4-二氯苯甲酸(盐)	<i>P. putida</i> (AC866) , <i>P. aeruginosa</i>	发现质粒分别为 pAC27, pAC29
	<i>Acinetobacter alcoaceticus</i> , <i>P. cepacia</i>	
	<i>Corynebacterium sepedonicum</i>	
3, 4-二氯苯甲酸(盐)	<i>Pseudomonas cepacia</i> , P. sp.	发现质粒
3, 5-二氯苯甲酸(盐)	<i>Pseudomonas</i> sp. , <i>P. aeruginosa</i>	
一氯, 二氯联苯	<i>Flavobacterium</i> sp. , P. sp.	
4-氯联苯	<i>Arthrobacter</i> sp. , P. sp.	高度脱氯, 主要产物 CO ₂
	<i>Achromobacter</i> sp. , <i>P. putida</i> (AC866)	
	<i>Flavobacterium</i> sp. , P. sp.	
	<i>Arthrobacter</i> sp. , <i>P. cepacia</i> (AC 1100)	生物降解与氯化程度成反比
	<i>Pseudomonas</i> sp. (CBS3)	
	<i>Pseudomonas cruciviae</i>	
1, 4-二氯联苯	<i>Pseudomonas</i> sp. ; <i>P. cruciviae</i>	发现质粒 pKF1和 pSS50(35kb)
多氯联苯	<i>Klebsiella pneumoniae</i> (AC901)	
	<i>Pseudomonas</i> sp. ; <i>P. cruciviae</i>	
	<i>Klebsiella pneumoniae</i> (AC901)	发现质粒 pAC21
	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Flavobacterium</i> sp.	
	<i>Arthrobacter</i> sp. <i>P. cepacia</i> (AC 1100)	
4-氯苯乙酸	<i>Pseudomonas</i> sp. (CBS3)	发现质粒
3-氯-4-羟基联苯	<i>Pseudomonas</i> sp.	
3-氯, 4-氯, 5-氯水杨酸	<i>Pseudomonas</i> sp.	
2-氯, 3-氯, 4-氯苯胺	<i>Pseudomonas</i> sp.	后者发现质粒 pJP4
3, 4-二氯苯胺	<i>Pseudomonas putida</i>	
4-氯-2-硝基酚	<i>Corynebacterium sepedonicum</i> , P. sp.	
2, 4-D	<i>A. denitrificans</i> (NTB-1)	发现质粒 pJP-6; pJP4(80kb)
	<i>A. eutrophus</i> H850	
	<i>A. sp. , A. paradoxus</i> (JMP 116, 130, 133, 134)	
	<i>Arthrobacter</i> sp. , <i>Aspergillus niger</i>	发现质粒分别为 pEM L159, pJP1-pJP4
	<i>Flavobacterium</i> sp. P. sp.	
	<i>P. cepacia</i> (AC 1100) , <i>P. cepacia</i>	
2, 4, 5-T	<i>A. eutrophus</i> H850, P. sp.	发现质粒 pRC 10
MCPA	<i>Alcaligenes denitrificans</i> ²⁾	
氯苯甲酸(盐)	<i>Flavobacterium</i> sp. ²⁾ , <i>Rhodococcus</i> spp. ²⁾	
氯氢醌(PCP 代谢物)	<i>Desulfomonile tiedjei</i> ³⁾	发现质粒 后者发现质粒 前者发现质粒 pJP4
氯酚, 氯苯甲酸(盐)		

1) 指确定的单一菌种 2) 3种好氧微生物都按还原脱氯机制进行脱氯.

3) 已鉴定的按还原脱氯机制脱氯的唯一严格厌氧微生物

氯代芳香化合物氧化脱氯是指芳香环被氧化并脱去氯取代基的过程, 根据脱氯发生的先后, 脱氯过程存在2种方式: 第1种是先脱氯再开环, 第2种是先开环再脱氯。

(1) 先脱氯再开环方式 4-氯苯甲酸是用 *A cinetobacter* sp. 或 *A chromobacter* sp. 等纯培养好氧降解4-氯联苯时的末端产物, 在 *A rthrobacter* sp.、*Pseudomonas* sp. 等纯培养中, 4-氯苯甲酸的生物降解首先在羟基化酶的作用下, 有分子氧存在时转化为4-羟基苯甲酸, 同时脱去一个氯离子, 4-羟基苯甲酸再氧化为3, 4-二羟基苯甲酸, 然后裂解开环, 图1为对氯苯甲酸的氧化脱氯途径^[9]. 3-氯苯甲酸的脱氯过程也具有与4-氯苯甲酸相似的降解途径。

(2) 先开环再脱氯方式 氯代邻二酚是先开环再脱氯方式的一个典型代表. 氯代酚氧乙酸类如 2, 4-D, MCPA 等在 *Pseudomonas*, *A rthrobacter*, *Flavobacterium* 等菌种的好氧作用下都产生末端产物氯代邻二酚^[1], 氯代邻二酚首先在氧化酶的作用下开环为3-氯-顺, 顺-粘糠酸, 内酯化过程中释放出氯离子, 脱氯降解途径如图2所示^[10]. 3, 5-二氯邻二酚, 3-氯邻二酚也具有类似的脱氯途径。

氯代芳香化合物的好氧脱氯是微生物降解的一种重要机制. 如表1所示, 很多微生物都能在好氧条件下对几乎所有取代类型的氯代芳香化合物发生作用, 而且在大多数好氧微生物中发现了能够编码降解基因的质粒, 可见质粒在氯代芳香化合物的降解中起着十分重要的作用^[7, 11].

3.2 氯代芳香化合物的还原脱氯机理

氯代芳香化合物还原脱氯定义为: 化合物得到电子的同时去掉一个氯取代基并且释放出一个氯阴离子的过程. 在厌氧或缺氧条件下, 氯代芳香化合物的脱氯就是一个还原脱氯过程^[12], 例如3-氯苯甲酸, 它的还原脱氯过程如图3所示^[8], 其中取代氯原子的氢来源于水^[38].

氯代芳香化合物的还原脱氯作用直到80年代才为人们认识, 许多种未确定的厌氧微生物群体(Undefined Anaerobic Communities)被用

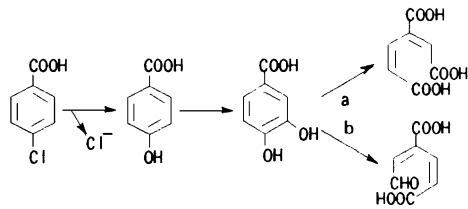


图1 对氯苯甲酸的氧化脱氯途径

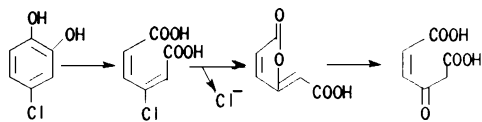


图2 氯代邻二酚的氧化脱氯途径

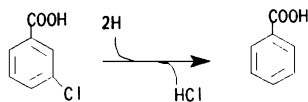


图3 间氯苯甲酸的还原脱氯过程

于氯代芳香化合物的降解研究, 结果发现它们都具还原脱氯作用, 根据近十几年对氯代芳香化合物脱氯机制的研究, 可归纳如下:

首先, 厌氧还原脱氯是一种重要的脱氯途径. 氯原子强烈的吸电子性使芳环上电子云密度降低, 在好氧条件下氧化酶很难从苯环上获取电子, 当氯原子的取代个数越多时, 苯环上的电子云密度就越低, 氧化就越困难, 体现出的生化降解性就越低. 相反, 在厌氧或缺氧条件下, 环境的氧化还原电位较低, 电子云密度较低的苯环在酶作用下很容易受到还原剂的亲核攻击, 氯原子就很容易被亲核取代, 显示出较好的厌氧生物降解性, 许多在好氧条件下难于降解的化合物在厌氧条件下变得容易降解, 在好氧条件下不能降解的化合物变得能够降解。

值得注意的是微生物所传递电子的来源: 因为氯代芳香化合物的苯环上是一疏电子环, 微生物很难从环上取得电子, 那么电子来源于何处呢? 一种可能是利用外在的有机物, 例如甲酸、乙酸、丙酮酸、氢气、一氧化碳、乳酸、丁酸等都可作为还原脱氯的电子供体^[13-15], 第2种可能是在没有外在可资利用的有机物存在时, 微

生物利用自身内源呼吸产生的电子,如果氯代芳香化合物含氯量少,则在微生物内源呼吸结束之前,能够将它们中的一部分完全脱氯,成为可被利用的基质,微生物通过它获取碳源和能源后就能够生长繁殖和继续还原;如果该化合物含氯量多,微生物在将其一部分全部脱氯之前,可供内源呼吸的体内物质耗竭,微生物则会逐渐减少,直至全部死亡。当然,并不是有了电子供体就可传递给氯代芳香化合物,还要看环境中是否有其它电子受体,硫酸盐、硝酸盐、 O_2 、 CO_2 等电子受体的存在将造成与氯代芳香化合物竞争电子的局面^[18]。

其次,厌氧还原脱氯需要多种微生物的参与。Hakulinen^[16]和 Ferguson^[17]等人认为厌氧脱氯是通过微生物群体的协同作用完成的,因为大多数的还原脱氯作用都是在混合培养里观察到的。迄今为此,只发现一种严格厌氧微生物 *Desulfomonile tiedjei* DCB-1^[18] 的纯培养具有还原脱氯作用, Dolfing^[19] 等人对 *D. tiedjei* 的研究解释了为什么氯代芳香化合物的还原脱氯最容易在微生物群体中进行。研究结果表明:作为专性厌氧的微生物, *D. tiedjei* 首先需要一个还原和缺氧的环境,这个环境可由其它微生物提供。其次, *D. tiedjei* 需要的电子供体来源于其它厌氧微生物的末端产物。第3, *D. tiedjei* 产生的有毒产物可被其它微生物所去除。如 *D. tiedjei* 与 *Methanospirillum* sp. 和苯甲酸发酵杆菌 BZ-2组成的生物群体降解3-氯苯甲酸的情况^[8, 20]。

第3, 厌氧还原脱氯作用在好氧微生物中也存在。尽管大多数还原脱氯都是在厌氧环境下进行的,但在高度氯代化且不易为环裂解氧化酶作用时,好氧细菌也可利用还原脱氯的原理脱氯,尽管这些微生物生长在好氧环境中,但在它们细胞质中或许存在较低的氧化还原电位适合于还原脱氯的进行,已发现能对氯代芳香化合物进行还原脱氯的3种好氧微生物是 *Rhodococcus chlorophenolicus*^[21], *Flavobacterium* sp.^[22] 和 *Alcaligenes denitrificans*^[23]。

3.3 氯代芳香化合物的共代谢

(Cometabolism) 降解机理

共氧化最早由 Lead better 于1959年提出^[24], 其定义为在生长基质的存在时对非生长基质的氧化,后来 Jenson 将概念进行了扩展^[25], 称之为共代谢, 不仅指生长基质存在时繁殖细胞对非生长基质的利用,而且也指生长基质不存在时休眠细胞对非生长基质的转化。共代谢被认为是由于生长基质诱导产生的酶和辅助因子缺乏专一性所致^[26-28], 共代谢作用常使非生长基质发生结构转变,却不能彻底地将它降解。如 Spain^[29] 和 Hagglom^[30] 等研究发现生长在酚或甲苯上的 *Pseudomonas putid* P1 产生的一种加氧酶能够将几种一氯酚和二氯酚单羟基化成氯邻二酚,羟基化的化合物在纯培养中不能被继续降解,但在混合培养中则很容易被其它细菌所转化^[31]。

共代谢中的生长基质的选择是很重要的,许多化合物尽管都可能成为微生物的生长基质,但在诱导产生的酶方面可能不尽相同,一般来说,生长基质与非生长基质在分子骨架结构类似时,生长基质诱导的酶很可能非专一性地共代谢非生长基质,John 等对氯代芳香化合物的研究充分证实了这一点^[32]。许多氯代芳香化合物不能被微生物直接作为生长基质,但可通过选择一种合适的生长基质来诱导产生它们所需的酶及产生足够的能量驱动它们的最初转化^[33], 共代谢的存在为寻求氯代芳香化合物的生物降解技术提供了新的思路。

4 氯代芳香化合物生物降解性研究的方向

4.1 共基质条件下氯代芳香化合物生物降解性研究

从氯代芳香化合物的生产来看,其过程本身就是一个复合过程,从氯代芳香化合物进入环境后所处的系统来看,它也不是单一存在的,而是由多种有机物、多种微生物等组成的十分复杂的系统,在这一系统中,多种组分共存并且相互作用^[34-36], 诸如基质间对酶的竞争与非竞争作用、共代谢作用、微生物对基质的协同作用等。因此用单一基质条件下的生物降解性结论

来描述多种基质共存时化合物的降解性能难免产生“失真”的情况。

4.2 厌氧-好氧交替处理条件下的氯代芳香化合物生物降解性研究

从难降解有机物进入的天然环境方面来看,受到好氧和厌氧环境的交替作用,分散于自然水体中的有机物是如此,进入人工处理系统的有机物更是如此,人们采用的好氧与厌氧多种组合工艺更是强化这一过程。因此,特别是对于在单一处理条件下呈现难生物降解性能的氯代芳香化合物,研究其在厌氧-好氧交替处理时的生物降解性就更具有实际意义^[37]。

参 考 文 献

- Gibson D T. Microbial Degradation of Organic Compounds, Marcel Dekker, 1984
- Sylvestre M et al. J. Gen. Appl. Microbiol., 1982, **28**: 61
- Furukawa F et al. Appl. Environ. Microbiol., 1979, **38**: 301
- Boyd S A. Appl. Environ. Microbiol., 1983, **46**(1): 50
- Boyd S A et al. Appl. Environ. Microbiol., 1984, **47**: 272
- Hester K et al. Environ. Sci. Technol., 1982, **16**(3): 170A
- Chaudhry G R et al. Microbiol. Reviews, 1991, **55**(1): 59
- Mohn W W et al. Microbiol. Reviews, 1992, **56**(3): 482
- Chapman P. J. Abstr. Annu. Meet. Am. Soc. Microbiol., 1975, 2: 192
- Schmidt E et al. J. Biochem., 1980, **192**: 339
- Ghosal D et al. Science, 1985, **228**(4696): 135
- Stiert J G et al. Trends Biotechnol., 1985, **3**(12): 300
- Dolfing J et al. Arch. Microbiol., 1991, **156**: 356
- Dolfing J. Wat. Res., 1995, **29**(7): 1811
- Perking P S et al. Wat. Res., 1994, **28**(10): 2101
- Hakulinen R et al. Wat. Sci. Technol., 1985, **17**(1): 289
- Ferguson J F et al. In Proc. Third IA W PRC Symp. Tampere, Finland, 1990
- Shelton D R et al. Appl. Environ. Microbiol., 1984, **48**: 840
- Dolfing J et al. FEMS Microbiol. Ecol., 1986, **38**: 293
- Deweerd K A et al. Appl. Environ. Microbiol., 1991, **57**: 1929
- Apajalahti et al. J. Bacterial., 1987, **169**: 5125
- Stiert J G et al. Biophys. Res. Commun., 1986, **141**: 825
- Van D T et al. Appl. Environ. Microbiol., 1987, **53**: 810
- Pitter P. Biodegradability of Organic Substances in the Aquatic Environ., CRC Press, 1992
- Dalton H et al. Phil. Trans. R. Soc. Lond., 1982, PART: B **297**: 481
- Deanna J R. Wat. Res., 1985, **20**(9): 1077
- Craig S C. Biotechnology and Bioengineering, 1993, **41**(11): 1048
- Banerji S K. J. of Hazardous Materials, 1994, **39**(1): 19
- Spain J C et al. Appl. Environ. Microbiol., 1989, **55**: 2648
- Haggbloom M M. FEMS Microbiol. Rev., 1992, **103**: 29
- Allard A S. Appl. Environ. Microbiol., 1991, **57**: 77
- John M R. Wat. Res., 1994, **28**(9): 1897
- Harish P. Biotechnol. and Bioeng., 1993, **41**: 79
- Chung J K et al. J. WPCF, 1986, **58**(2): 157
- Lu C J et al. Wat. Sci. and Technol., 1993, **28**(7): 97
- Magbanua B S. Wat. Sci. and Technol., 1994, **30**(9): 67
- Pubakka J A. Wat. Sci. and Technol., 1994, **29**(5): 73
- Griffith G D et al. Appl. Environ. Microbiol., 1992, **58**: 409

作 者 需 知

为了进一步促进环境科学学术交流和科研成果的应用与推广,《环境科学》自1997年第1期起入编《中国学术期刊(光盘版)》,凡在《环境科学》上发表的论文,将同时在《中国学术期刊(光盘版)》上刊载。《中国学术期刊(光盘版)》免收作者版面费,并免费提供作者论文被引用率统

计资料(联系地址:北京清华大学立斋《学术电子出版物》编辑部,邮编:100084,电话:62595612或62545086)。凡不同意自己论文在《中国学术期刊(光盘版)》上刊载的作者,请在来稿上注明。

《环境科学》编辑部

Effectiveness of Environmental Impacts Assessment. Yu Liansheng et al. (Environmental Science Dept., Jilin University, Changchun 130023): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(2), 1997, pp. 70–73

The concepts of effectiveness of environmental impacts assessment and environmental value were discussed in this paper, based on this, environmental value impacts assessment were presented. It is a special question in effectiveness of environmental impacts assessment in China that environmental value accounting was brought into the environmental impacts assessment system.

Key words: effectiveness of environmental impacts assessment, environmental value, environmental value impacts assessment.

Advances on Research of Biodegradability for the chlorinated Aromatic Compounds. Qu Fuping, Zhang Xiaojian et al. (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua University, Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(2), 1997, pp. 74–78

This paper is a review of the literature on biodegradability of the chlorinated aromatic compounds. It was included that microorganisms degrading chlorinated aromatic compounds, the difference of the biodegradability, the oxidative dechlorination mechanism, the reductive dechlorination and the cometabolism mechanism. Some viewpoints on the research of the biodegradability in the future were also suggested.

Wey words: chlorinated aromatic compounds, biodegradability, microbial dechlorination mechanism.

Development on Studies for Treatment of Organic Chloride from Pulping Wastewater Using Enzymes. Zhang Tong, Huanghui et al. (Dept. of Environ. Eng., East China University of Science and Technology, Shanghai 200237): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(2), 1997, pp. 79–81

It is very difficult to treat organic chloride in wastewaters from pulp and paper industry using conventional physical, chemical and biological methods to the level which is safety to environment and human. Enzyme treatment technology has its particular advantages compared with other methods. Currently several kinds

of enzymes are applied to remove organic chloride in pulping industrial wastewater, including peroxidase, tyrosinase, laccases, lignin peroxidase and so on. The process catalyzed by enzymes includes two steps. The first is that free radicals form through an enzyme reaction, and then polymerize and precipitate through a kind of chemical reaction. The efficiency of enzyme treatment depends upon types and concentrations of pollutants, kinds and concentrations of enzymes, pH, flocculants, absorbents and so on.

Key words: pulping wastewater, organic chloride, enzyme, wastewater treatment.

Cleaner Production Opportunities in The Straw-based Pulp and Paper Mills. Ren Xin (China National Cleaner Production Center, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(2), 1997, pp. 82–86

An in-depth analysis has been made toward the problems existing in China's mills at this time. Substantial cleaner production opportunities therefore be explored at each unit of the process flow ranging from raw materials preparation, pulping to papermaking with according pollution prevention measures and their effects being illustrated in terms of technology requirements, economic and environmental benefits.

Key words: straw-based pulp and papermaking cleaner production, pollution prevention.

The Status and Development of Solid Waste Treatment and Disposal in China. Wang Wei, Yuan Guangyu (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua Univ., Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(2), 1997, pp. 87–90

The status and development of solid waste treatment and disposal technologies in China was concentrated on the paper. Based on the analysis of the status of solid waste pollution, problems in solid waste management, present technology level and social demand, the paper proposed that the technological system of regional treatment and disposal center should be established and that prior treatment and disposal technologies should be considered.

Key words: solid waste, regional management, secure disposal.