

药品和个人护理用品(PPCPs)对环境的污染现状与研究进展

胡洪营*, 王超, 郭美婷

清华大学环境科学与工程系/环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084

摘要: 在过去的 30 多年中, 有关有毒污染物的研究主要集中在工业化学物质和农药上。近 5 年多来, 国外已经开始关注药品和个人护理用品(PPCPs)对环境的污染, 但在我国还没有引起重视。国外的研究表明, 合成麝香物质、显影剂、抗生素、雌激素、消炎止痛药、杀菌消毒剂等与人类生活密切相关的药品和个人护理用品在环境中普遍存在, 但是其质量浓度通常非常低, 多数情况下在 ng/L ~ μg/L 水平。粪便施肥和污水排放是 PPCPs 进入环境的主要途径。在常见的 PPCPs 中, 抗生素和消炎止痛药在环境中检测出的频率最高, 在地表水、地下水、饮用水、污泥、土壤等环境介质中, PPCPs 在地表水中检测出的频率最高。目前关于 PPCPs 的研究主要集中在分析方法以及环境污染水平的调查, 有关 PPCPs 在环境中的迁移转化规律、生态与健康风险以及 PPCPs 污染控制技术等方面的研究有待加强。

关键词: 药品和个人护理用品(PPCPs); 抗生素; 雌激素; 消炎止痛药; 杀菌消毒剂

中图分类号: X787

文献标识码: A

文章编号: 1672-2175(2005)06-0947-06

在过去的30多年中, 有关有毒污染物的研究主要集中在工业化学物质和农药上, 关于药品和个人护理用品(PPCPs)对环境污染的研究仅仅有5年多的历史。美国环保署研究和发 展办公室从1999年开始对这一领域展开研究, 当年Christian G. Daughton和Thomas A. Ternes发表了第一篇关于PPCPs的文献综述(Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Environment: Agents of Subtle Change?), 随后2000年在北美召开了第一次相关会议, 并出版了配套的会议论文集^[1]。

PPCPs 是药品和个人护理用品的英文(pharmaceuticals and personal care products)缩写, 最早在1999年出版的《Environmental Health Perspectives》中由Christian G. Daughton提出^[1], 随后PPCPs就作为药品和个人护理用品的专有名词而被广泛接受。

PPCPs 包括各种各样的化学物质, 例如各种处方药和非处方药(如抗生素、类固醇、消炎药、镇静剂、抗癫痫药、显影剂、止痛药、降压药、避孕药、催眠药、减肥药等) 香料 化妆品 遮光剂、染发剂 发胶 香皂 洗发水等^[1, 2]。大多数PPCPs是水溶性的, 有的PPCPs还带有酸性或者碱性的官能团^[3]。虽然PPCPs的半衰期不是很长, 但是由于个人和畜牧业大量而频繁地使用, 导致PPCPs形成假性持续性现象^[4]。

本文总结了环境中常见的几类PPCPs——合成

麝香物质、显影剂、抗生素、雌激素、消炎止痛药、杀菌消毒剂, 并且分析了它们在各种环境介质(地表水、地下水、饮用水、污泥、土壤)中的存在和迁移转化情况。

1 环境中的PPCPs及其来源

药品和个人护理用品与人类的生活密切相关, 它们在环境中是普遍存在的。人和牲畜服用的药物一大部分在生物体内没有经过代谢, 而是直接排入到环境中; 个人护理用品在洗脸、游泳时也会直接进入环境中。除了抗生素和类固醇, 有50多种PPCPs已经在各种环境样品和动物组织 人的血液中被检测出, 典型的有止痛药 抗肿瘤药 防腐剂、抗高血压药 气管扩张剂 含硝基和多环的芳香剂等^[5]。根据目前文献报道, 在环境中发现的主要的PPCPs见表1。

1.1 人工合成麝香物质^[6]

人工合成麝香是一类香料物质, 主要用作各种化妆品和洗涤用品的添加剂。从1987—1996年, 世界麝香产量已经从7000 t/a增长到8000 t/a, 现在的生产趋势已经由含硝基的麝香转向带多环的麝香。应用最广泛的含硝基的合成麝香物质是加乐麝香(Galaxolide)和吐纳麝香(Tonalide), 这两种麝香物质2000年在欧洲的产量是1800 t, 而其它麝香物质的总产量小于20 t。

根据毒性试验, 人工合成麝香物质与雌激素受体亲和力低, 因此它们在环境中对内分泌干扰不

基金项目: 国家自然科学基金项目——JST 重大国际合作项目(20510076)

作者简介: 胡洪营(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事环境微生物学与环境生物技术、污水再生利用的水质安全评价与保障技术等方面的研究, 已在学术期刊发表论文200余篇(其中SCI论文50多篇)。E-mail: hyhu@tsinghua.edu.cn

*通讯联系人, E-mail: hyhu@tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2005-05-29

表1 环境中常见的PPCPs
Table 1 Common PPCPs in the environment

名称	CAS 编号	分子式	用途	
加乐麝香	Galaxolide	1222-05-5	C ₁₈ H ₂₆ O	合成麝香
吐纳麝香	Tonalide	21145-77-7	C ₁₈ H ₂₆ O	合成麝香
碘普罗胺	Iopromide	73334-07-3	C ₁₈ H ₂₄ I ₃ N ₃ O ₈	X射线显影剂
罗红霉素	Roxithromycin	80214-83-1	C ₄₁ H ₇₆ N ₂ O ₁₅	抗生素
环丙杀星	Ciprofloxacin	85721-33-1	C ₁₇ H ₁₈ FN ₃ O ₃	抗生素
诺氟沙星	Norfloxacin	70458-96-7	C ₁₆ H ₁₈ O ₃ N ₃ F	抗生素
雌激素酮	Estrone	53-16-7	C ₁₈ H ₂₂ O ₂	天然雌激素
17β-雌二醇	17β-estradiol	50-28-2	C ₁₈ H ₂₄ O ₂ ·0.5H ₂ O	天然雌激素
17α-乙炔基雌二醇	17α-ethinylestradiol	57-63-6	C ₂₀ H ₂₄ O ₂	合成雌激素
布洛芬	Ibuprofen	15687-27-1	C ₁₃ H ₁₈ O ₂	消炎止痛药
萘普生	Naproxen	22204-53-1	C ₁₄ H ₁₄ O ₃	消炎止痛药
双氯芬酸	Diclofenac	15307-86-5	C ₁₄ H ₁₃ O ₂ N	消炎止痛药
三氯生	Triclosan	3380-34-5	C ₁₂ H ₇ Cl ₃ O ₂	杀菌消毒剂

大,并没有严重的健康影响,但是并不排除长期的致癌效果。人工合成麝香物质在脂肪组织、血浆和乳汁中的积累近来也引起学者的重视。目前还没有观察到对内分泌的间接影响如抑制荷尔蒙的合成等。据 Yamagishi 等人报道,日本早在 20 年前就在水环境和生态区中发现了人工合成麝香物质。欧洲和北美也有类似的报道。这些研究表明:人工合成麝香物质在海水和淡水中广泛存在,并且在软体动物和鱼类中积累的质量浓度高于环境质量浓度。

1.2 显影剂

X射线显影剂是用来提高被检查的器官或者血管和周围组织在X光照射下对比度的化学药品。这些物质在人体中使用的剂量高达200 g/人,其中大约80%被迅速地排出体外。在污水处理厂中,此类显影剂增加了吸附性有机卤素(AOX)的量。为了考察这类物质对环境的潜在影响,Steger-Hartmann等^[7]研究了常用的X射线显影剂碘普罗胺对环境的影响。通过研究发现,碘普罗胺是不易生物降解的,但没有表现出强的急性毒性和慢性毒性。

1.3 抗生素

抗生素一般是指由细菌、霉菌或其它微生物在繁殖过程中产生的,能够杀灭或抑制其它微生物的一类物质及其衍生物,用于治疗敏感微生物(常为细菌或真菌)所致的感染。抗生素在畜牧业应用很多,可以作为助长剂和治疗药物。抗生素对物质生物转化的一些关键过程(反硝化过程、氮的固定、有机物的降解等)和污水生物处理过程等有直接的影响^[8]。

抗生素并不能被人体或者动物完全吸收,有很大一部分以原形或者代谢物的形式随粪便和尿液排入环境中。这些抗生素作为环境外援性化合物将对环境生物及生态产生影响,并最终可能对人类的

健康和生存造成不利影响^[9]。Kümmerer等^[10]通过血清瓶测试(CBT)(OECD 301D)和SOS显色试验发现在CBT中环丙杀星、氧氟杀星、甲硝唑这三种抗生素不能被生物降解。

粪便施肥是抗生素进入土壤环境的主要途径。Warman和Thomas^[11]在用鸡粪施肥的土壤中发现了氯四环素。van Goll^[11]估计如果将所有的粪便用于荷兰的 2×10^6 hm²可耕地,那么每平方可耕土地上每年将接收130 mg抗生素及抗生素的代谢物。假设这些抗生素只分布在表层10 cm的土壤中,那么其质量浓度大约为0.87 mg/kg。然而抗生素在环境中不可能以这样一个均匀的质量浓度分配,据经验估计:土壤中抗生素的质量浓度在1~5 mg/kg范围内。

目前关于抗生素对土壤中生物群和植物影响的研究很少。Batchelder^[11]研究了氯四环素和土霉素对生长在有营养液的土壤中的植物的影响。当质量浓度在160 mg/L时所有的植物都死亡;在更低质量浓度条件下,根和新枝的干质量降低了大约60~90%。Lanzky和Halling-Sørensen^[11]报道螺旋藻对甲硝唑(抗滴虫药)非常敏感,EC₁₀为2.03 mg/L,EC₅₀为12.5 mg/L。Bager等^[11]研究了两种广泛使用的抗生素——泰乐菌素和土霉素对土壤中的蚯蚓、跳虫和线虫的影响,发现在环境质量浓度条件下它们对这三个物种不产生影响。

1.4 雌激素

雌激素是一类有广泛生物活性的类固醇化合物,它不仅有促进和维持女性生殖器官和第二性征的生理作用,并对内分泌系统、心血管系统、肌体的代谢、骨骼的生长和成熟、皮肤等各方面均有明显的影响。人工合成雌激素为脂溶性化合物,不易生物降解^[12]。口服避孕药和一些用于家畜助长的同化激素含有大量的人工合成雌激素,如己烯雌酚

(DES)、己烷雌酚 (Hexestrol)、炔雌醇 (Ethinyl Estradiol)、炔雌醚 (Quinestrol) 等。这类雌激素对雄性生殖系统有不良影响, 其中有些是与雌二醇结构相似的类固醇衍生物, 有些是结构简单的同型物 (非甾体雌激素)。作为人工合成的雌激素药物, 如乙炔雌二醇, 在体内的稳定性仍高于雌二醇等天然雌激素, 但低于杀虫剂等人工合成雌激素^[13]。

普通的水处理方法不能有效地去除水中的雌激素, 荷兰一家污水处理厂出水中炔雌醇质量浓度范围为未检出至 7 ng/L^[13]。目前对环境雌激素采取的对策, 除了停止生产或减少使用含有扰乱内分泌作用的化学物质外, 还需要采用各种方法来分解和去除这类化合物。目前各国正在研究开发的方法主要有^[13]: 光催化法、光化学分解法、超临界流体法、微生物分解法、机械化学法、电解法等, 这些方法各有优缺点, 尚待完善。

1.5 消炎止痛药

消炎止痛药是家庭的常备药, 也是水环境中经常检测到的药品之一。Heberer等报道处方药双氯芬酸在德国的某污水处理厂出水中平均质量浓度为 2.51 μg/L, 去除率仅为 17%, 但是Ternes报道双氯芬酸在某污水处理厂的去除率可达 69%^[14]。Marta Carballa等^[2]报道西班牙一家污水处理厂进水中布洛芬和萘普生质量浓度分别在 2.64~5.70 和 1.79~4.60 μg/L 范围内, 出水中布洛芬和萘普生质量浓度分别在 0.91~2.10 和 0.80~2.60 μg/L 范围内。Stumpf^[15]报道巴西一家污水处理厂进水中布洛芬和萘普生质量浓度分别为 0.3 和 0.6 μg/L。澳大利亚、巴西、希腊、西班牙、瑞士和美国对污水中的布洛芬和萘普生也都有一定的研究, 其中瑞士检测到污水出水中布洛芬为 1~3.3 μg/L^[16]。止痛药阿司匹林在某德国污水处理厂出水中检测到的平均质量浓度为 0.22 μg/L, 水杨酸质量浓度为 0.04 μg/L, 而希腊和西班牙检测到污水处理厂出水中水杨酸质量浓度高达 13 μg/L^[14]。德国有研究表明镇痛药醋氨酚在污水处理厂中可以得到 90% 的去除, 但是美国 Kolpin 等检测到 17% 的出水样品仍含有醋氨酚, 最高质量浓度可达 10 μg/L^[14]。

1.6 杀菌消毒剂

大量的杀菌消毒剂用于医院、食品加工、个人护理用品生产等行业。季铵化合物 (QAC) 是一种应用非常广泛的阳离子杀菌剂。据统计, 1997 年德国季铵化合物的销售量是 12 349 t, 法国是 21 450 t, 英国是 28 892 t (Statistisches Bundesamt, 2000)。有研究报道, 季铵化合物在市政污水处理厂中质量浓度为 0.05~0.1 mg/L^[17]。三氯生作为一种杀菌剂, 广泛用于高效药皂、卫生洗液、除臭剂、消毒洗手液、

伤口消毒喷雾剂、医疗器械消毒剂、卫生洗面奶、空气清新剂和卫生织物的整理和塑料的防腐处理等。Ana Agüera等^[18]报道了西班牙一家城市污水处理厂的进水中三氯生质量浓度为 1.3~30.1 μg/L, 出水中三氯生质量浓度为 0.4~22.1 μg/L。同时, Ana Agüera等分别测量了两家污水处理厂出水排口处海洋底泥中三氯生的质量浓度为 0.27~130.7 μg/kg, 结果表明, 污水处理厂并未有效地去除三氯生, 未去除的三氯生随出水排入海洋中, 在海洋底泥中积累。

2 PPCPs 在环境中的存在和迁移转化情况

2.1 地表水

目前关于地表水中 PPCPs 的研究较多, 内容及污染物的来源、质量浓度等。表 2 中列出了文献中已报道的地表水中的部分 PPCPs。

表 2 文献中已报道的地表水中的 PPCPs^[19]
Table 2 Reported PPCPs of surface water in the literature^[19]

名称	用途	质量浓度 (μg·L ⁻¹)	取样国家和年份
环丙杀星	抗生素	0.294~0.405	瑞士 2000年
诺氟沙星	抗生素	0.045~0.120	瑞士 2000年
雌激素酮	雌激素	0.02~0.05	加拿大 2000年
		0.01	美国 2000年
17β-雌二醇	雌激素	0.02~0.05	西班牙 2000年
乙酰水杨酸	消炎止痛药	0.10	德国 1996 - 1998年
双氯芬酸	消炎止痛药	0.05	德国 1996 - 1998年
		0.3	日本 1999 - 2001年
		10	美国 1999 - 2001年
		0.03~0.2	德国 2001年
		0.012	瑞士 1998年
卡马西平	消炎止痛药	0.005	德国 1999年
萘普生	消炎止痛药	0.5	奥地利 1999 - 2001年
		10	美国 1999 - 2001年
布洛芬	消炎止痛药	0.6	奥地利 1999 - 2000年
		5	美国 1999 - 2000年
		0.087	德国 2000年
		0.1~1.0	瑞士 1998年
水杨酸	杀菌消毒剂	0.015~0.056	西班牙 1997年
咖啡因	精神兴奋剂	0.016	北海 2001年
		1.9	德国 2000年
氯贝酸	降血脂药	0.03~0.2	德国 2001年
		0.013	北海 2001年
		0.049	德国 2001年
		0.005	美国 2000年
去氧苯巴比妥	抗癫痫药	0.005	德国 1999年
地西洋	抗癫痫药	0.88	德国 2000年

从表 2 可以看出, 抗生素环丙杀星, 消炎止痛药双氯芬酸、萘普生, 精神兴奋剂咖啡因在地表水中的质量浓度较高, 这与它们的广泛使用有关。另外, 同一药品在不同国家的环境质量浓度相差很大, 例如, 1999—2000 年布洛芬在美国地表水中测定的质量浓度为 5 μg/L, 而几乎在同一时间的德国

其质量浓度仅为0.087 $\mu\text{g/L}$,这可能是由于在美国布洛芬市场更大的原因。在同一国家同一时间的不同地点采样,得出的结果也是不一样的,Ternes等在2001年报道德国某地表水样中降血脂药氯贝酸的质量浓度为0.049 $\mu\text{g/L}$,而M.Farré等也在2001年报道德国的另一地表水样中其质量浓度为0.03~0.2 $\mu\text{g/L}$ 。即使在同一研究中,测得的质量浓度范围浮动也特别大,H. R. Buser等在1998年测定瑞士地表水中布洛芬质量浓度时,最高质量浓度(1.0 $\mu\text{g/L}$)是最低质量浓度(0.1 $\mu\text{g/L}$)的10倍。但在美国检测到氯贝酸的质量浓度仅为0.005 $\mu\text{g/L}$,这可能是由于在美国用量减少的原因^[20]。

2.2 地下水

目前关于地下水中 PPCPs 的研究很少,检测地下水中 PPCPs 质量浓度的文献也较少,这可能是由于地下水中 PPCPs 的质量浓度太低,未能达到现有检测技术的限度。表3中列出的是文献中报道的地

表3 文献中报道的地下水中的 PPCPs^[19]

Table 3 Reported PPCPs of groundwater in the literature^[19]

名称	用途	质量浓度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	取样国家和时间
氯贝酸	降血脂药	0.4~0.9	德国 2001年
双氯芬酸	消炎止痛药	0.4~0.9	德国 2001年

下水中的 PPCPs。

PPCPs进入地下水的方式是多种多样的,其中最重要的一种就是通过垃圾填埋场的渗滤作用^[21]。Eckel等^[22]报道了佛罗里达的一个垃圾填埋场在1968—1969年间由于接受了杰克逊海军航空基地(包括海军基地医院)的废物,污染了附近的浅滩地下水。Eckel等分析那里的地下水样时发现了甲丙氨酯和苯琥胺。PPCPs进入地下水的其它方式还包括:通过市政污水管道系统中的直接渗滤、受污染的地表水回灌地下水、处理过的地表水的浅滩渗滤等。

2.3 饮用水

有关饮用水中 PPCPs 物质被检测出的事例较少,这可能存在两方面的原因:首先,饮用水中的 PPCPs 质量浓度很低,而现有的检测技术非常有限;其次,与地表水相比,饮用水不易受到 PPCPs 的污染。Heberer^[23]在2002年报道,包括美国在内的12个国家在污水、地表水和地下水中检测到了80多种药品及其代谢物,其中在饮用水样品中仅仅检测到了非常微量的几种药品。在德国,大多数饮用水样品中并没有检测到 PPCPs。表4列出的是文献中已经报道的饮用水中的 PPCPs。

因此,饮用水受PPCPs污染的情况并不严重。但是如果地下水源被污染或者在净化饮用水的过程中受到PPCPs的污染,经常饮用含有多种低剂量PPCPs物质的水,人们的健康可能会受到影响。美

表4 文献中报道的饮用水中的 PPCPs^[19, 24, 25]

Table 4 Reported Peps of drinking water in the literature^[19, 24, 25]

名称	用途	质量浓度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	采样国家和时间
双氯芬酸	消炎止痛药	0.4~0.9	德国 2001年
氯贝酸	降血脂药	0.165	德国 1994年
		0.270	德国 1998年

国环保署目前还没有要求对PPCPs进行常规监测,饮用水污染物列表(DWCCL)也没有包括PPCPs。但是将来有可能要把一些有代表性的PPCPs加到饮用水污染物列表(DWCCL)中^[26]。

2.4 污泥

进入污水处理厂的PPCPs物质,有很大一部分被吸附在污泥中,没有被生物降解。如果污泥用作农田肥料,就会污染土壤。土壤中的PPCPs由于渗滤作用会进一步污染地下水。目前关于污泥中PPCPs质量浓度的报道还很少,还不能明确分析污泥中的PPCPs对环境的影响。Kang Xia等^[16]指出:污水处理系统中的污泥停留时间一般在几天到三十天的范围,比许多PPCPs的半衰期要短。PPCPs被吸附在污泥中的程度取决于化合物的固相-液相分配系数 K_d 。固相-液相分配系数越大,PPCPs越易被污泥吸附。Thomas A. Ternes等^[27]提出了一种通过简单的试验测试系统来快速测定PPCPs在污水处理过程初级污泥和二级污泥中 K_d 的方法,从而可以预测在市政污水处理过程中PPCPs吸附在污泥中的程度。

关于污泥中 PPCPs 的报道非常有限。表5列出的是文献中报道的污泥中的 PPCPs。

表5 文献中报道的污泥中的 PPCPs^[28-32]

Table 5 Reported Peps of sludges in the literature^[28-32]

名称	用途	质量浓度/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$ ¹⁾	采集国家和时间
诺氟沙星	抗生素	1.54~2.37	瑞士 2002年
诺氟沙星	抗生素	1.79~2.49	瑞士 2002年
环丙沙星	抗生素	1.86~2.44	瑞士 2002年
麝香酮	香料添加剂	0.001 5~0.007 1	瑞士 2002年
壬基酚	清洁剂	12.6	美国 2001年
辛基酚	清洁剂	0.5~12.6	美国 2001年

1) 以污泥干质量计算

2.5 土壤

污水处理厂的污泥和动物粪便经常用于农田施肥。但是吸附在污泥中的PPCPs和动物粪便中代谢不完全的PPCPs会造成土壤的污染。目前关于土壤中PPCPs迁移转化规律的研究很少。Difrancesco等^[32]报道进入土壤中的麝香物质随着时间的推移在土壤中的质量浓度不断降低,可能是由于渗滤、挥发、非生物反应(如水解)、生物降解(好氧和厌氧降解)的原因。Golet等^[28]指出从较长一段时间来看,

氟喹诺酮类抗生素 (FQs) 在土壤中质量浓度规律为：开始一段时间由于光降解或生物降解的原因质量浓度是不断降低的；接下来的时间可能由于FQs与土壤颗粒结合或者FQs在土壤中的质量浓度超过了生物降解的极限，其质量浓度不断积累，表现为持久性。表6列出的是文献中报道的污泥施肥后土壤中的PPCPs。

表6 文献中报道的土壤中的PPCPs^[29]
Table 6 Reported PPCPs of soils in the literature^[29]

名称	用途	质量浓度/(mg·kg ⁻¹) ¹⁾	采集国家和时间
环丙杀星	抗生素	0.27~0.40	瑞士 2002
诺氟杀星	抗生素	0.27~0.32	瑞士 2002

1) 以土壤干质量计算

3 结束语

传统的饮用水和废水处理厂没有专门针对PPCPs的处理工艺，现有的处理工艺并不能完全去除PPCPs^[3]，因此，在未来的水处理中应该改进现有的工艺，以提高PPCPs的去除效率；PPCPs在环境中的质量浓度非常低，所以必须改进现有的检测分析技术以便可以检测到更多种类的PPCPs；在研究PPCPs的去除效率时，可以建立预测模型、去除动力学模型，通过模型计算来预测去除效果；目前研究重点集中在12 000种PPCPs物质中的极少数具有较高生物活性的物质（所占比例<1~2%），对惰性物质的研究很少，但是惰性物质易挥发，会引起空气污染^[33]，因此，未来的研究不应仅局限于PPCPs中的活性物质；另外关于PPCPs对环境影响的机理和风险评价的研究应该加强，需要环境学科和医学学科的合作。

参考文献：

[1] EPA. Pharmaceuticals & Personal Care Products in the Environment: An Emerging Concern?. <http://www.epa.gov/nerl/research/1999/html/g8-14.html>, 1999-12-24/2005-3-20.

[2] MARTA C, FRANCISCO O, JUAN M L, *et al.* Behavior of pharmaceuticals, cosmetics and hormones in a sewage treatment plant[J]. *Water Research*, 2004, 38: 2918 - 2926.

[3] SNYDER SA, WESTERHOFFP, YOON Y, *et al.* Pharmaceuticals, personal care products, and endocrine disruptors in water: Implications for the water industry.Environment[J]. *Engineering Science*, 2003, 20 (5): 449 - 469.

[4] TERNES TA, MEISENHEIMER M, MCDOWELL D. Removal of pharmaceuticals during drinking water treatment[J]. *Environmental Science & Technology*, 2002, 36: 3855 - 3863.

[5] GLEN R B, JORDAN M P, ZHANG SH Y, *et al.* Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) and endocrine disrupting chemicals (EDCs) in stormwater canals and Bayou St. John in New Orleans, Louisiana, USA[J]. *The Science of the Total Environment*, 2004, 333: 137 - 148.

[6] TILL L, DAVID E. Nitromusk and polycyclic musk compounds as long-term inhibitors of cellular xenobiotic defense systems mediated by multidrug transporters[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2005, 13(1): 17 - 24.

[7] STEGER-HARTMANN T, LÄNGE R, SCHWEINFURTH H. Environmental risk assessment for the widely used iodinated X-ray contrast agent iopromide (ultravist) [J]. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, 1999, 42: 274 - 281.

[8] SIMON D C, JOHN M, JOHN B. Ecosystem response to antibiotics entering the aquatic environment[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2005, 51: 218 - 223.

[9] 俞道进, 曾振灵, 陈杖榴. 四环素类抗生素残留对水生态环境影响的研究进展[J]. *中国兽医学报*, 2004, 24(5): 515 - 517.

YU D J, ZENG ZH L, CHEN ZH L. Progress of studies on water eco-environment effects of residual tetracycline[J]. *Chinese Journal of Veterinary Science*, 2004, 24(5): 515 - 517.

[10] KÜMMERER K, AL-AHMAD A, MERSCH-SUNDERMANN V. Biodegradability of some antibiotics, elimination of the genotoxicity and affection of wastewater bacteria in a simple test[J]. *Chemosphere*, 2000, 40: 701 - 710.

[11] ANGEL J B, JOHN J, PAUL H K. Effects of the antibiotics oxytetracycline and tylosin on soil fauna[J]. *Chemosphere*, 2000, 40: 751 - 757.

[12] 包国章, 董德明, 李向林, 等. 环境雌激素生态影响的研究进展[J]. *生态学杂志*, 2001, 20(5): 44 - 50.

BAO G ZH, DONG D M, LI X L, *et al.* Progress of studies on ecological effects of ecoestrogen[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2001, 20(5): 44 - 50.

[13] 刘先利, 刘彬, 邓南圣. 环境内分泌干扰物研究进展[J]. *上海环境科学*, 2003, 22 (1): 57 - 63.

LIU X L, LIU B, DENG N SH. Study progress of environmental endocrine disruptors[J]. *Shanghai Environmental Sciences*, 2003, 22 (1): 57 - 63.

[14] THOMAS H. Occurrence, fate, and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment: a review of recent research data[J]. *Toxicology Letters*, 2002, 131: 5 - 17.

[15] STUMPF M, TERNES TA, HABERER K, *et al.* Determination of drugs in sewage treatment plants and river water[J]. *Vom Wasser*, 1996, 86: 291 - 303.

[16] KANG X, ALOK B, KESHAV D, *et al.* Occurrence and fate of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in biosolids[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2005, 34(1): 91 - 104.

[17] KLAUS K. Drugs in the environment: emission of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospitals in relation to other sources-a review[J]. *Chemosphere*, 2001, 45: 957 - 969.

[18] ANA A, AMADEO R F, LUIS P, *et al.* Evaluation of triclosan and biphenylol in marine sediments and urban wastewaters by pressurized liquid extraction and solid phase extraction followed by gas chromatography mass spectrometry and liquid chromatography mass spectrometry[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2003, 480: 193 - 205.

[19] JOLANTA D, AGATA KOT-WASIK, JACEK N. Fate and analysis of pharmaceutical residues in the aquatic environment[J]. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 2004, 34: 51 - 67.

[20] GLEN R B, HELGE R, DEBORAH A G, *et al.* Pharmaceuticals and

- personal care products (PPCPs) in surface and treated waters of Louisiana, USA and Ontario, Canada[J]. *The Science of the Total Environment*, 2003, 311: 135 - 149.
- [21] ROBERT T, ANDREI Z, JODY G. Pharmaceuticals-What Do We Know About Their Occurrence in Groundwater?[A]. (In): University of California, California Department of Water Resources; California State Water Resources Control Board, *et al.* [ed]. *Managing California's Groundwater: The Challenges of Quality and Quantity*[C]. 1. California: 23rd Biennial Groundwater Conference and 10th Annual Meeting of the Groundwater Resources Association of California, 2001, 56.
- [22] HALLING-SORENSEN B, NIELSEN S N, LANZKY P F, *et al.* Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment- A Review[J]. *Chemosphere*, 1998, 36(2): 357 - 393.
- [23] CHRISTIAN G D, THOMAS A T. Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change? [J]. *Environmental Health Perspectives*, 1999, 107: 907 - 938.
- [24] STAN H J, HEBERER T, LINKERHÄGNER M. Occurrence of clofibric acid in the aquatic system-is the use in human medical care the source of the contamination of surface ground and drinking water? [J]. *Vom Wasser*, 1994, 83: 57 - 68.
- [25] HEBERER T, SCHMIDT-BÄUMLER K, STAN H J. Occurrence and distribution of organic contaminants in the aquatic system in Berlin. Part I: Drug residues and other polar contaminants in Berlin surface and ground water[J]. *Acta Hydrochim Hydrobiol*, 1998, 26(5): 272 - 278.
- [26] NANCY L.P. National Rural Water Association. Pharmaceuticals, Regulatory Briefing. <http://www.nrwa.org/whitepapers/reg/regpharm.doc>, 2002-10-16/2005-4-2
- [27] THOMAS A T, NADINE H, MATTHIAS B, *et al.*. A rapid method to measure the solid-water distribution coefficient (Kd) for pharmaceuticals and musk fragrances in sewage sludge[J]. *Water Research*, 2004, 38: 4075 - 4084.
- [28] GOLET EM, STREHLER A, ALDER AC, *et al.* Determination of fluoroquinolone antibacterial agents in sewage sludge and sludge-treated soil using accelerated solvent extraction followed by solid-phase extraction[J]. *Analytical Chemistry*, 2002, 74: 5455 - 5462.
- [29] KANG X, PILLAR G D. Anthropogenic organic chemicals in biosolids from selected wastewater treatment plants in Georgia and South Carolina[A]. In: Hatcher K, ed. *Proc. 2003. Georgia Water Res.Conf*[C]. GA.23-24. Athens: Univ. of Georgia Press, Apr. 2003: 806 - 809.
- [30] BERSET J D, PBIGLER, HERREN D. Analysis of nitro musk compounds and their amino metabolites in liquid sewage sludges using NMR and mass spectrometry[J]. *Analytical Chemistry*, 2000, 72: 2124 - 2131.
- [31] GUARDIA L A, HALE M J. Alkylphenol ethoxylate degradation products in land-applied sewage sludge (biosolids) [J]. *Environmental Science & Technology*, 2001, 35: 4798 - 4804.
- [32] DIFRANCESCO A M, CHIU P C. Dissipation of fragrance materials in sludge-amended soils[J]. *Environmental Science & Technology*, 2004, 38(1): 194 - 201.
- [33] EPA. Completed scientific conferences devoted to PPCPs in the environment-Pharmaceuticals in the Environment: Risks and sustainable challenges. <http://www.epa.gov/esd/chemistry/ppcp/conference-past.htm>, 1999-12-24/2005-3-28.

The Present status of environmental pollution by pharmaceuticals and personal care products (PPCPs)

HU Hong-ying*, WANG Chao, GUO Mei-ting

ESPC State Key Joint Laboratory//Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract: During the last five years, the environmental pollution caused by pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) has become a new concern in many countries. Many reports showed that the common-used PPCPs in human daily life such as artificial musk compounds, X-ray contrast media, antibiotics, estrogens, analgesics and disinfectants have been detected in various environmental samples. The concentrations of PPCPs in environment were very low and usually ranged from ng/L level to µg/L level. Fertilization by dejection and wastewater discharge are the main ways that PPCPs enter the environment. Among the common-used PPCPs, antibiotics and analgesics were usually detected in the environment; and PPCPs were detected more frequently in surface water than in groundwater, drinking water, sludge and soils. Now, the researches on PPCPs mainly focus on analytical methods and pollution level of PPCPs. The fate of PPCPs in the environment, ecology and health risks and pollution control technology of PPCPs should also be investigated.

Key words: PPCPs; antibiotics; estrogen; analgesics; disinfectant