

复合污染研究进展

何勇田* 熊先哲

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

摘要 复合污染是普遍存在的环境污染现象。本文在综述国内外复合污染研究现状的基础上,提出了复合污染的概念与分类方法;总结了有关复合污染交互作用的类型及其判断方法,重点论述影响复合污染生态效应的因子(污染物因子;生物因子;环境因子)和复合污染的作用机理(影响生物细胞结构;干扰生理活动与功能;竞争活性部位;络合或螯合作用)。

关键词 复合污染,环境污染,生态效应。

复合污染的研究最早源于药物学中 2 种药物联合毒性的研究^(1,2),后逐渐推广到化学物质联合毒性的研究,而真正复合污染的研究则始于 70 年代初。随着对环境问题的认识和研究不断深入,污染物的复合效应逐渐为人们所重视。过去对单一污染物研究基础上制定的环境标准,可能由于污染物间的拮抗、加和或协同作用,在应用中遇到难以克服的困难,需要加以修订。因此,复合污染研究的兴起,不仅是环境科学研究不断走向深入的结果,也是现实环境问题的迫切需要。

1 复合污染概念与分类

复合污染的研究虽然已进行了不少工作,但迄今为止,国内外尚未对复合污染给出明确的概念与分类。笔者在总结国内外复合污染研究现状的基础上,提出复合污染的概念与分类。

所谓复合污染(Combined Pollution),是指 2 种或 2 种以上不同种类不同性质的污染物;或同种污染物的不同来源;或 2 种及 2 种以上不同类型的污染在同一环境中同时存在所形成的环境污染现象。

关于复合污染的分类,根据污染物来源及类型可以有 2 种分类系统。

按污染物来源分:

(1)同源复合污染 它是由处于同一环境介质(大气、水体或土壤)中的多种污染物所形成的复合污染。根据所处的环境介质的不同可进一步

分为大气复合污染型,水体复合污染型和土壤复合污染型。同源复合污染类型是目前复合污染研究的重点。

(2)异源复合污染 由不同环境介质来源的同一污染物或不同污染物所形成的复合污染现象。它可进一步分为大气-土壤复合型,大气-水体复合型,土壤-水体复合型,大气-土壤-水体复合型。

按污染物类型分:

(1)有机复合污染 由 2 种或 2 种以上有机污染物共存所形成。目前研究较多的是 2 种农药之间的复合污染。

(2)无机复合污染 2 种或 2 种以上无机污染物同时作用所形成的环境污染现象。重金属元素之间的复合污染是当前无机复合污染研究的重点。

(3)有机-无机复合污染 有机污染物和无机污染物在同一环境中同时存在所形成的环境污染现象。目前研究较多的是重金属与农药、石油烃、洗涤剂之间的复合污染。

2 复合污染交互作用类型与判断指标

复合污染条件下污染物之间的交互作用类型,不同的研究者提出了许多不同的分类方法与判断指标^(6,8,9)(详见表 1)。

* 现在中国社会科学院世界经济与政治所发展室工作

收稿日期:1993-11-01

表 1 污染物交互作用类型与判断指标

指标名称	判断指标计算方法	指标分级	交互作用类型	研究者
Bliss 分 类法			加和作用 协同作用 拮抗作用	Bliss, 1939 ^[2]
CTC 值 (共毒性 系数值)	$CTC = \frac{\text{混合物实际 } TI}{\text{混合物理论 } TI} \times 100$ 实际 $TI = \frac{LC_{50} \text{ of } A}{LC_{50} \text{ of } AB}$ 理论 $TI = (TI \text{ of } A \times \%A \text{ in } AB) + (TI \text{ of } B \times \%B \text{ in } AB)$	$CTC > 100$ $CTC < 100$	协同作用 拮抗作用	Sun and Johnson 1960 ^[3]
加和毒性 指数 (AI)	$\frac{A_m + B_m}{A_i + B_i} = S$ $AI = \frac{1}{S} - 1.0$ (当 $S \leq 1.0$); $AI = S(-1) + 1.0$ (当 $S \geq 1.0$) i : 单一污染物毒性 m : 混合污染物毒性 S : 生物活性和	$AI > 0$ $AI = 0$ $AI < 0$	协同作用 加和作用 拮抗作用	Marking et al, 1975 ^[4,5]
V 值	$V = \frac{0.5LC_{50}A + 0.5LC_{50}B}{LC_{50}(A+B)}$	$V < 0.8$ $V = 0.8 - 1.5$ $V > 1.5$	拮抗作用 加和作用 协同作用	Clausing et al, 1979 ^[3]
TI 值	$TI_i = \frac{\text{组分 } i \text{ 的浓度}}{\text{化合物 } i \text{ 的 } LC_{50}}$	$\sum TI < 1$ $\sum TI = 1$ $\sum TI > 1$	协同作用 加和作用 拮抗作用	EIFAC, 1980 ^[5]
复合毒性 指数 (MTI)	$MTI = \frac{\text{Log } \sum TI}{\text{Log } (\sum TI / TI_{max})}$ $TI_i = \frac{\text{组分 } i \text{ 的浓度}}{\text{化合物 } i \text{ 的 } LC_{50}}$	$MTI < 0$ $MTI = 0$ $MTI = 0 - 1$ $MTI = 1$ $MTI > 1$	拮抗作用 独立作用 部分加和 浓度加和 超加和	Konemann, 1981 ^[1,5,7]
S 值	$\frac{A_m + B_m}{A_i + B_i} = S$ m : 某污染物在混合物中的 LC_{50} i : 某污染物单独存在时的 LC_{50} S : 生物活性和	$S = 1$ $S < 0$ $S > 0$	加和作用 协同作用 拮抗作用	Khangarot, 1990 ^[10]

由表 1 可知, 尽管对污染物间相互作用关系有不同的分类方法及判断标准, 但由 Bliss 1939 年提出的加和作用、协同作用和拮抗作用 3 种类型是得到最广泛认可的污染物交互作用分类方法。其基本涵义如下:

(1) 加和作用 (Additive) 多种污染物共存时所产生的毒性效应等于各污染物单独作用的毒性效应之和。 $\sum T = T_1 + T_2 + \dots + T_n$ 。

(2) 拮抗作用 (Antagonism) 多种污染物共存所产生的毒性效应小于各污染物单独作用的

毒性效应之和, 毒性效应被 2 种或 2 种以上污染物的交互作用降低。 $\sum T < T_1 + T_2 + \dots + T_n$ 。

(3) 协同作用 (Synergism) 多种污染物共存所产生的毒性效应大于各污染物单独作用的毒性效应之和, 即某污染物的毒性被共存的其它污染物所加强。 $\sum T > T_1 + T_2 + \dots + T_n$ 。

3 影响复合污染物交互作用的因子

3.1 生物因子

复合污染物的生理生态效应受生物种类、作

用部位、生物营养状况以及生物年龄和性别等因素的影响。Prokipcak 研究 Ni, Cu 与 O₃ 对蕃茄和大豆的相互作用时发现, Ni, Cu 与 O₃ 的交互作用受作物种类、受作用部位、暴露时间以及金属离子和臭氧浓度等的影响^[11]。Braek et al(1976)的研究表明, Cu 和 Zn 对双鞭甲藻(*Dinoflagellate*)的前沟藻属(*Amphidinium*)、四鞭藻属(*Carteria*)和硅藻的海链藻属(*Thalassiosira*)有明显的协同作用, 而对硅藻的褐指藻属(*Phaeodactylum*)的效应则表明它们相互拮抗^[4]。

3.2 污染物因子

污染物因子包括污染物种类、污染物化学结构与性质、处理方式、污染物浓度、污染物之间浓度比等。Carlson et al(1977)发现 Pb 和 Cd 对植物生长的影响随浓度而变化, 低浓度时为加和作用, 高浓度时为协同作用^[12]; 而 Pietilainen(1975)的研究则表明 Pb 和 Cd 的交互作用关系与两者的浓度比有关, 当 Pb/Cd > 1 时, 它们对浮游植物初级生产力的影响为拮抗作用; 当 Pb/Cd < 1, 则为协同作用。Mukherjee(1987)对 Cd 和 Se 相互作用的研究亦有类似结论^[13]。Sambasiva(1985)研究西维因和稻丰散对鱼的毒性时发现 2 种污染物的复合毒性随浓度比而变化, 3 : 1 时呈显著的协同效应, 1 : 1 时为中等程度的协同效应, 1 : 3 时产生中等程度的拮抗效应^[3]。

污染物化学结构与性质影响污染物在环境与生物体内的迁移, 从而影响对生物的毒性效应, Cd²⁺ 和 Zn²⁺ 离子半径、螯合性能相似, 因而它们对核酸代谢有相似的影响方式, 但后者是植物必需元素, 故二者在剂量效应上有所不同; Pb²⁺、Hg²⁺ 同 Cd²⁺、Zn²⁺ 相比, 离子特征、螯合性能有较大差异, 因而对核酸代谢的影响差异也大^[14]。

Stratton(1979)研究 Hg, Cd 和 Ni 对蓝绿藻的复合污染发现其复合效应取决于金属元素加入的顺序、金属离子浓度、测试指标的选择 3 方面的因素^[15]。

3.3 环境因子

环境因子主要包括温度、湿度、光照、pH、有机物含量、土壤条件(包括 pH, CEC, Eh 等)。

Rabsch et al(1980), Thomas et al(1980), Gipps and Collier(1980, 1982)的研究都表明, 许多环境参数如 pH、温度、营养物质浓度、螯合剂及生物的生理条件都会影响浮游生物的毒性^[16]。John et al(1972)发现植物组织中 Cd 含量和土壤中可提取 Zn、Fe、Mn、Al、土壤 pH、有机质含量、可提取 Cd 含量显著相关^[17]。Babich(1983)研究 Ni 和 Cd 对微生物的影响发现 pH 酸性加强了重金属的协同作用, pH 酸性也能促进 Ni 和 Cu 对单细胞绿藻的协同效应^[13]。Czuba(1986)研究 2, 4-D 与 MeHg 对植物培养的影响时发现, 在光照条件下, 2, 4-D 对 MeHg 有协同作用; 而在无光条件下, 2, 4-D 对 MeHg 毒性有拮抗作用^[19]。

4 复合污染机理研究

4.1 影响生物细胞结构

复合污染物通过影响生物的细胞结构, 特别是膜结构而发生相互作用。膜结构是污染物相互作用的优先部位, 膜结构的改变使膜透过性发生变化, 影响物质在生物体内的运输。Filippis(1979)研究结果表明, 细胞膜的稳定性受重金属离子对-SH 的亲和性的影响^[20]。Larsen(1984)研究酸雨和 2, 4-D 对植物的影响发现, 酸雨会通过酚、多肽、多糖等的水解作用而破坏植物的角质层膜, 从而增强对污染物的吸收^[21]。Hassett(1976)认为 Pb 和 Cd 对玉米根伸长的影响是由于金属离子浓度的提高, 使细胞膜的选择性降低, 导致污染物更快地进入^[22]。

杨志敏等(1992)认为 Ca²⁺ 对 Zn²⁺ 的解毒作用是由于 Ca²⁺ 能使细胞膜表面紧密和完整或在细胞膜表面形成一种胶状保护膜, 从而阻止 Zn²⁺ 的渗入^[23]。Alina 等研究表明, 某些铅盐(PbNO₃)在低浓度时对植物生长有刺激使用, 从而促进作物对 Cu 的吸收, 而高浓度的铅被作物吸收后, 易以焦磷酸盐的形式沉积于根细胞壁, 对细胞壁的弹性、可塑性有显著影响, 导致细胞壁组织硬度增加, 细胞膜功能削弱, 从而降低作物对其它元素的吸收。因而, 这是污染物影响生物细胞结构的另一种情形, 它们可能有利于减少某些污染物对生物的毒害作用。

4.2 干扰生物生理活动与功能

复合污染的第二种作用机制是通过干扰生物的正常生理活动与功能而发生相互作用。Anna-Maj(1988)认为重金属和 SO_2 交互作用机制是它们抑制淀粉、糖类的水解及糖类的运输等生理过程⁽²⁴⁾。重金属对希尔反应活性的抑制作用是由于细胞质膜的破坏和光合系统 II 的紊乱,导致非周期的光合磷酸化作用的破坏而产生的⁽²⁵⁾。Jana(1983)研究发现 Hg, Pb, Cd, Cu 复合污染情况下,重金属通过抑制核酸的生物合成和破坏蛋白质合成机制以及破坏植物组织膜的完整性等活动促进水生植物的衰老⁽²⁶⁾,重金属离子与酶的活性原子团 $-\text{SH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$, $-\text{COOH}$ 等官能团形成牢固的共价键,从而使酶的立体结构变形,酶活性部位封闭⁽²⁷⁾。

4.3 竞争活性部位

化学性质类似的污染物在细胞表面及代谢系统的活性部位存在竞争作用,从而影响污染物的相互作用。Miller et al(1977)认为金属离子之间对生理活性部位的竞争可能是影响重金属拮抗作用的一个因子⁽²⁸⁾。Nishizono(1989)发现 Cu^{2+} 对细胞壁有很高的亲和力,因而较 Zn^{2+} 和 Cd^{2+} 更容易在结合位点上所交换,而 Zn^{2+} 和 Cd^{2+} 的交换被 Cu^{2+} 竞争所抑制⁽²⁹⁾。Kitagish 发现水稻中 Zn 竞争 Cd 位的协同作用导致 Cd 的溶解性增强,促使 Cd 从根部向顶部转移⁽²⁴⁾,而任继凯等(1982)的研究则表明,由于 Pb, Cd, Zn 竞争细胞上同一结合位导致水稻对 Zn, Cd, Pb 的吸收都成明显的下降趋势⁽³⁰⁾。

污染物间竞争活性位点的作用不仅存在于生物活性部位,而且存在于环境系统中的活性位点。由于 Zn 和 Cd 一般化学性质比较接近,而且环境中 Zn 浓度较 Cd 高很多(100—1000 倍),因此, Zn 是土壤中 Cd 吸附位的主要竞争者(Christensen, 1986)⁽³¹⁾。夏增禄等(1984)研究 Cd, Pb, Zn 复合污染对小麦的影响时认为, Pb 促进 Cd 的吸收可能是由于 Pb 夺取 Cd 在土壤中的吸附位而提高了土壤中 Cd 的有效性,或取代根中吸附的 Cd, 促进根中滞留 Cd 的活性,使其进一步向茎叶转移⁽³²⁾。

4.4 络合或螯合作用

自然环境中存在的许多有机无机络合剂如腐殖酸、胡敏酸、氨基酸及活性功能团 $-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{COOH}$, $-\text{SH}$ 等,将影响污染物在环境系统与生物系统中的物理化学行为,从而对其交互作用产生影响。重金属对蓝藻细菌(*Cyanobacteria*)的毒性能被具有结合重金属离子的功能团的有机物所控制(Stumm et al, 1973)⁽²⁰⁾。 $-\text{SH}$ 与重金属 Hg, Cd 等都有强的亲和力,因而许多含有一 $-\text{SH}$ 的蛋白质和酶的活性可被 Hg 和 Cd 抑制。Vallee et al(1972)等认为蛋白质的一 $-\text{SH}$ 是 Hg 结合的靶部位⁽³⁸⁾。

Rai(1982)研究抗坏血酸和还原型谷胱甘肽对 Cr 和 Pb 的拮抗作用机制是:①抗坏血酸通过供给电子或增强还原能力,从而保护 $-\text{SH}$ 不受氧化;②抗坏血酸及其代谢产物能结合重金属等无机物并阻止它们通过生物膜。Mapson(1958)也认为抗坏血酸是通过供给电子和保护 $-\text{SH}$ 的完整性来拮抗 Hg 的毒性。Filippis(1979)研究 Hg 和 Zn 对小球藻(*Chlorella*)的毒性时也有类似结论⁽²⁰⁾。

李元等(1990)研究 Cd、Fe 复合污染对烟草的影响后认为, Cd 对 Fe 拮抗的机理有二,一是烟草根系受 Cd 毒害,其分泌还原剂的能力下降,减少 Fe^{2+} 含量,降低了 Fe 的有效性;二是 Cd 与导管内 Fe 的载体苹果酸和柠檬酸相结合,从而使根部运输到茎叶组织的 Fe 减少。已有报导, Cd 降低白菜内 Fe 从根部向茎叶运输; Cd 在硅藻需 Fe 和吸收 Fe 过程中是一种竞争抑制剂⁽³⁴⁾。

因此,络合或螯合作用是影响污染物在环境及生物体中行为的重要化学过程,是复合污染物之间作用机理的重要方面。

5 复合污染研究展望

尽管国内外学者在复合污染研究领域内做了不少工作,取得了很多重要的成果,但总的看来,复合污染的研究仍处于起步阶段,许多方面的工作有待于进行和发展、完善。

(1)复合污染是广泛存在的环境问题,随着环境科学的发展和单一污染物研究工作的不

断深入,复合污染的研究将成为环境科学的新热点,日益增多的关于复合污染的研究报道就可以说明这一点。单一污染物的研究成果和方法是复合污染研究的基础,由单一污染物的研究向复合污染研究的发展,既是现实环境问题的要求,也是环境科学走向成熟的标志。

(2)复合污染的研究尚处于起步阶段,其概念、分类、交互作用关系类型及其判断指标、研究方法等基础性工作尚须进一步深入。例如,关于交互作用关系的判断指标虽然提出了很多,但都有其局限和不足,需要进一步研究。由于复合污染的普遍性与多样性,复合污染物之间的组合极其庞大,显然不可能将其每种组合都加以研究,因而,其方法性的研究显得尤为重要。

(3)复合污染的研究应侧重复合效应与污染机理的研究。效应与机理的研究两者是相互联系的,效应的研究是污染机理研究的基础之一,而机理的研究则有助于效应的解释和阐述。它们是复合污染研究的核心内容,也是解决复合污染的关键。

(4)加强复合污染研究成果的应用。复合污染的研究成果在环境保护及环境科学研究的很多方面都有重要意义。例如,环境标准的修订;利用复合污染机理及污染物间拮抗、协同、加和等效应进行复合污染治理;环境容量研究等。

参考文献

- 1 Zwart D et al. . Bull. Environ. Contam. Toxicol. . 1987, **38**: 345
- 2 Diehl H et al. . Ecotoxicology and Environmental Safety. 1985, **9**(3):369
- 3 Sambasiva K R S et al. . Ecotoxicology and Environmental Safety. 1985, **10**(2):209
- 4 Verriopoulos G et al. . Bull. Environ. Contam. Toxicol. . 1987, **38**:483
- 5 Hermens J et al. . Ecotoxicology and Environmental Safety. 1982, **8**(3):302
- 6 Berenbaum M C. Environmental Research. 1985, **38**:310

- 7 Hermens J et al. . Ecotoxicology and Environmental Safety. 1985, **9**(3):321
- 8 Wallace A et al. . The Science of the Total Environment. 1983, **28**:257
- 9 郑春荣等. 土壤. 1989, **21**(1):10
- 10 Khangarot B S et al. . Bull. Environ. Contam. Toxicol. . 1990, **44**:832
- 11 Prokopcak B. Water, Air and Soil Pollution. 1986, **27**(3—4): 329
- 12 Taylor G J. Can. J. Bot. . 1989, **67**:2272
- 13 Mukherjee A et al. . Water, Air and Soil Pollution. 1988, **37**(3—4):433
- 14 段昌群等. 环境科学. 1992, **13**(5):31
- 15 Stratton G W et al. . Chemosphere. 1979, **8**(10):731
- 16 Sicko-Goad L et al. . Arch. Environ. Contam. Toxicol. 1986, **15**:291
- 17 John M K. Environ. Pollut. . 1976, **11**:85
- 18 Babich H et al. . Ecotoxicology and Environmental Safety. 1983, **7**(6):576
- 19 Czuba M. Ecotoxicology and Environmental Safety. 1987, **13**(2):191
- 20 Rai L C et al. . Ecotoxicology and Environmental Safety. 1988, **15**(2):195
- 21 Larsen B R. Ecotoxicology and Environmental Safety. 1985, **10**(2):228
- 22 Hassett J J. Environ. Pollut. . 1976, **11**:297
- 23 杨志敏等. 环境科学学报. 1992, **12**(2):230
- 24 Anna-Maj. Can. J. Bot. . 1989, **67**:2106
- 25 Jana S et al. . Water, Air and Soil Pollution. 1988, **42**(3—4): 303
- 26 Jana S et al. . Water, Air and Soil Pollution. 1984, **21**(1—4): 351
- 27 不破敬一郎. 生物体与重金属. 中国环境科学出版社, 1985
- 28 Miller J E et al. . J. Environ. Qual. . 1977, **6**(1):18
- 29 Nishizono H et al. . Plant Cell Physiology. 1989, **30**(4):595
- 30 叶志鸿. 生态学杂志. 1992, **11**(5):42
- 31 Christensen T H. Water, Air and Soil Pollution. 1987, **34**(5): 305
- 32 夏增禄等. 生态学报. 1984, **4**(3):231
- 33 杜式华等. 环境科学. 1987, **8**(6):43
- 34 李元等. 环境科学学报. 1990, **10**(4):494

Abstracts

Chinese Journal of Environmental Science

of Huhhot and the grassland belt in Siziwan Qi (a county), Inner Mongolia, as a control site in both winter and summer with a sampler using a polyurethane foam plug and a glass-fiber filter, both of which were then extracted with solvents. The extracts were analyzed with GC/MS, GC and HPLC to identify the organic pollutants in both vapor phase and particulate phase. Eighty eight pollutants in three kinds of organic compounds (n-alkanes, aromatic hydrocarbons and phthalate esters) were qualitatively identified and 45 of them were quantified. The results show that the Huhhot City is an area polluted with higher concentrations of organic pollutants in the atmosphere in its urban area.

Key words: atmospheric pollution, organic pollutant, vapor phase, particulate phase.

Study on the Assay of the Acute Toxicity and Mutagenicity of Industrial Wastewaters by Using the Bacterial Luminescence Test and the Ames Test. Huang Zheng and Wang Jialing (Institute of Environ. Medicine, Tongji Medicine University, Wuhan 430030); *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(6), 1994, pp. 70—71

The industrial wastewaters from the Yijiadun and Huangxiaohe Wastewaters Irrigated Areas in Wuhan City were comparatively investigated for their acute toxicity and mutagenicity by using the bacterial luminescence test and the Ames test. At the same time, the composition of organic pollutants in the wastewaters was determined with the GC/MS technique. The results show that, of four channels studied, the Luojiaqu Channel has the strongest acute toxicity and mutagenicity in its wastewater flow. The pollutants responsible for the acute toxicity of the wastewater mainly include phenol, benzyl benzoate, etc., and the pollutants responsible for the mutagenicity and carcinogenicity of the wastewater were found to be biphenyl, naphthalene, etc.

Key words: industrial wastewater, acute toxicity, mutagenicity, Gc/MS.

Validity of the Data from Automatic Air Quality Monitoring Systems. Fan Shaojia et al. (Dept. of Atmospheric Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275); *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(6), 1994, pp. 72—73

Based on the theory of statistics, a theoretical formula in which the acceptable missing hours and acceptable errors of validable daily averages are related to the variance of daily hourly averages has been derived. The monitored data on hourly concentrations of sulfur dioxide in winter from the Beijing Automatic Air Quality Monitoring System

were taken to perform a calculation based on the derived formula and it was found that at a confidence of 95% the maximum random missing 6 hours were acceptable and in compliance with 75% of data captured as required by the National Environmental Protection Agency for a data validity check.

Key words: automatic air quality monitoring system, validity of monitored data, Beijing.

Homogeneous Reaction Mechanisms of Nitrous Oxide Formation and Decomposition in the Fluidized Bed of Coal Combustion. Chen Hongwei, Jin Baoshen et al. (Institute of Heat Energy, Southeast University, Nanjing 210018); *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(6), 1994, pp. 74—78

The homogeneous reaction mechanisms of nitrous oxide formation and decomposition in the fluidized bed of coal combustion were studied, indicating that the paths of nitrous oxide (N₂O) formation from nitrogen contained in fuel mainly include: $\text{NCO} + \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{CO}$ and $\text{NH} + \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{H}$; and the main reaction of N₂O decomposition are: $\text{N}_2\text{O} + \text{H} \rightarrow \text{N}_2 + \text{OH}$. An analysis was also made for the effects of the factors such as composition of fuel-bounded nitrogen compounds in volatiles, kinds of coal, temperature in the fluidized bed, coefficient of excess air, number of stages, and the combustion pattern in a single stage, on the emission of N₂O from the fluidized bed coal combustor.

Key words: fluidized bed combustion, coal, nitrous oxide, reaction mechanism.

Advance in the Study on Compounded Pollutions. He Yongtian and Xiong Xianzhe (Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shen' yang 110015); *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(6), 1994, pp. 79—83

Based on reviewing the current status of domestic and international research efforts in the field of compounded pollutions as a universal phenomenon of environmental pollution, this article dealt with the concepts and classifications of compounded pollutions, and the types of interactions of compounded pollutions and the criteria for their judgements, focusing on the factors affecting the ecological effects of compounded pollutions (i. e., pollutants factors, biological factors, and environmental factors) and the action mechanisms of compounded pollutions (i. e., influencing the structures of biotic cells, disturbing physiological activities and functions, competing for active sites, and complexing or chelating).

Key words: compounded pollutions, environmental pollution, ecological effects, review.