

TOC 作为饮用水水质指标的探讨

黄永东 肖贤明 徐显干 吴兆红

(中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 广东广州 510640)

摘要 以某城市管网末梢水 TOC 特征为例, 对 TOC 与有机微污染程度指标的相互关系, 以及作为优质饮用水指标的限量值作了研究与讨论。研究表明, 该城市管网末梢水 TOC 分布范围 1.0~4.0mg/L; 在饮用水中 TOC 主要存在形式是以小分子量(<500)的溶解性有机物; TOC 与 COD_{Mn}、THMs 含量及 Ames 试验致突变性存在良好相关性, 当 TOC<1.0mg/L 时, THMs 致癌风险较低, 饮水 Ames 实验结果一般呈阴性。饮用水中 TOC 测定精度较高, 可较全面反映饮用水中有机微污染程度, 建议作为优质饮用水水质指标, TOC 限量值为 1.0mg/L。

关键词 饮用水 TOC 水质指标 有机微污染物

An Investigation of TOC as an Indicator for Drinking Water Quality Evaluation

Huang Yongdong Xiao Xianming Xu Xiang Wu Zhaohong

(State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640)

Abstract Based on the measured TOC data of the tap water from a city, with the combination of recently published papers, the relationship between TOC and organic micro-pollutants, and the possibility of TOC as a water quality indicator were discussed. The results showed that the TOC content of the tap water from the studied city are in the range of 1.0~4.0 mg/L, and are mainly DOC (dissolved organic carbon) with molecular weight less than 500. TOC has a good relationship with COD_{Mn}, THMs compounds and Ames' test mutagenic effect. When TOC in a drinking water is less than 1.0 mg/L, the water has a lower content of THMs compounds and a negative result of Ames' test mutagenic effect. The TOC can be measured accurately in water, and represent the general organic micro-pollution. It is suggested the TOC content should be less than 1.0 mg/L as high-quality drinking water.

Keywords drinking water TOC water quality indicator organic micro-pollutants

由于水源受污染, 饮用水中广泛存在有机微污染物^[1~4]。到目前为止, 对于饮用水中 80% 以上非挥发性的有机物难以作定性定量分析。如何评价饮用水中有机微污染程度, 常用的水质指标是 COD_{Mn}。然而, 对这一指标的科学性一直存在质疑, 因在不少情况下该指标还包括了其他还原性的物质的影响结果。在 20 世纪 90 年代, 高精度饮用水 TOC 分析仪的应用, 饮用水中 TOC 成为经常检测的指标。在我国, 也开始注意该指标在综合评价饮

用水有机微污染方面的意义^[5~10]。然而, TOC 尚未正式列入我国生活饮用水水质指标, 且对这一指标的特性也讨论得不多。本研究综述了近年来在这方面发表的相关资料, 并结合对我国某城市管网末梢水中 TOC 分析结果, 对 TOC 的特征及与其它反映有机微污染程度指标的相互关系, 以及作为优质饮用水指标的限量值与可行性作了研究与讨论。

1 TOC 的组成

TOC 表示水中总有机碳含量, 它实际上是有机污染的综合指标。天然水的 TOC 主要由腐殖物质组成, 按其存在状态大致可分为颗粒的(POC)和溶解的(DOC)。POC 主要粘附在悬浮颗粒物上, 一般

基金项目: 广东省科技攻关资助项目(项目编号: 2003C102026; 20048330101009)

在水处理的混凝沉淀和过滤过程中能够有效去除,而 DOC 应用常规水处理效果不好^[2]。因此,在饮用水中 TOC 主要存在形式是 DOC,相对分子量通常占有好几个数量级^[9],总体呈现一定的不对称分布^[5]。DOC 按分子量大小可分为大分子的(分子量 >500)和小分子(分子量 <500)的两部分。大分子(分子量 >500)的 DOC 在水处理的混凝-沉淀过程中能够部分去除。小分子(分子量 <500)DOC 的去除是水处理的难点,饮用水中微量毒害有机污染物主要属于这个范畴,且大部分具有三致潜力。由此可见,水源水与自来水的 TOC 组成是不完全相同的,其毒害性也有差别。因此,在应用 TOC 指标评价水源水与自来水时,应考虑其组成与毒性,不能一概而论。

2 某城市管网末梢水 TOC 特征

本研究对某城市 8 个区 13 个点管网末梢水 TOC 进行了调查,并分丰水期与枯水期两次采样测定。分析结果表明,TOC 在枯水期为 1.3~3.5mg/L,平均 1.86 mg/L;在丰水期 1.3~2.5 mg/L,平均 1.12 mg/L(图 1)。这一数据比岳舜琳(2003)对上海市自来水分析结果低^[10],可能与水源水特征及处理工艺有关。后面将进一步说明,管网末梢水中 TOC 高是导致饮水 Ames 试验呈阳性的主要原因。

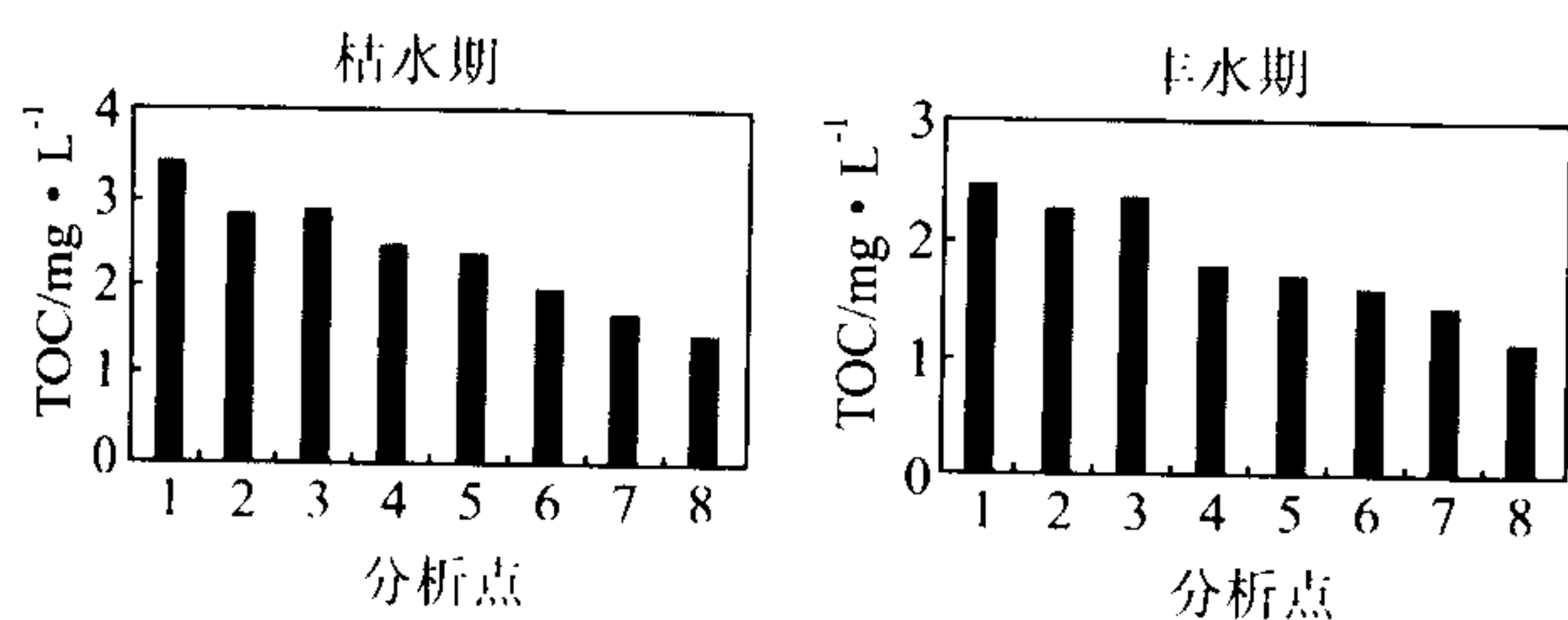


图 1 某市 8 个区 13 个取样点末梢水中 TOC 平均值

3 TOC 与 COD_{Mn} 之间的关系

COD_{Mn} 是目前反映水中有机物含量的常用指标。但 COD_{Mn} 不仅包括了有机物,也包括了其他还原性的物质,如氨氮、亚硝酸盐、亚铁盐和硫化物等的作用结果。因此,在一般情况下,COD_{Mn} 在数值上应大于 TOC^[10]。TOC 与 COD_{Mn} 存在较好的相关性,这一点已有研究报道^[10]。应用本研究数据对 TOC 与 COD_{Mn} 进行相关性分析,结果见图 2, TOC 与 COD_{Mn} 的相关性(r) 为 0.85~0.90。

4 TOC 与 THMs 之间的关系

在饮用水中要严格控制 TOC 的另一原因是饮

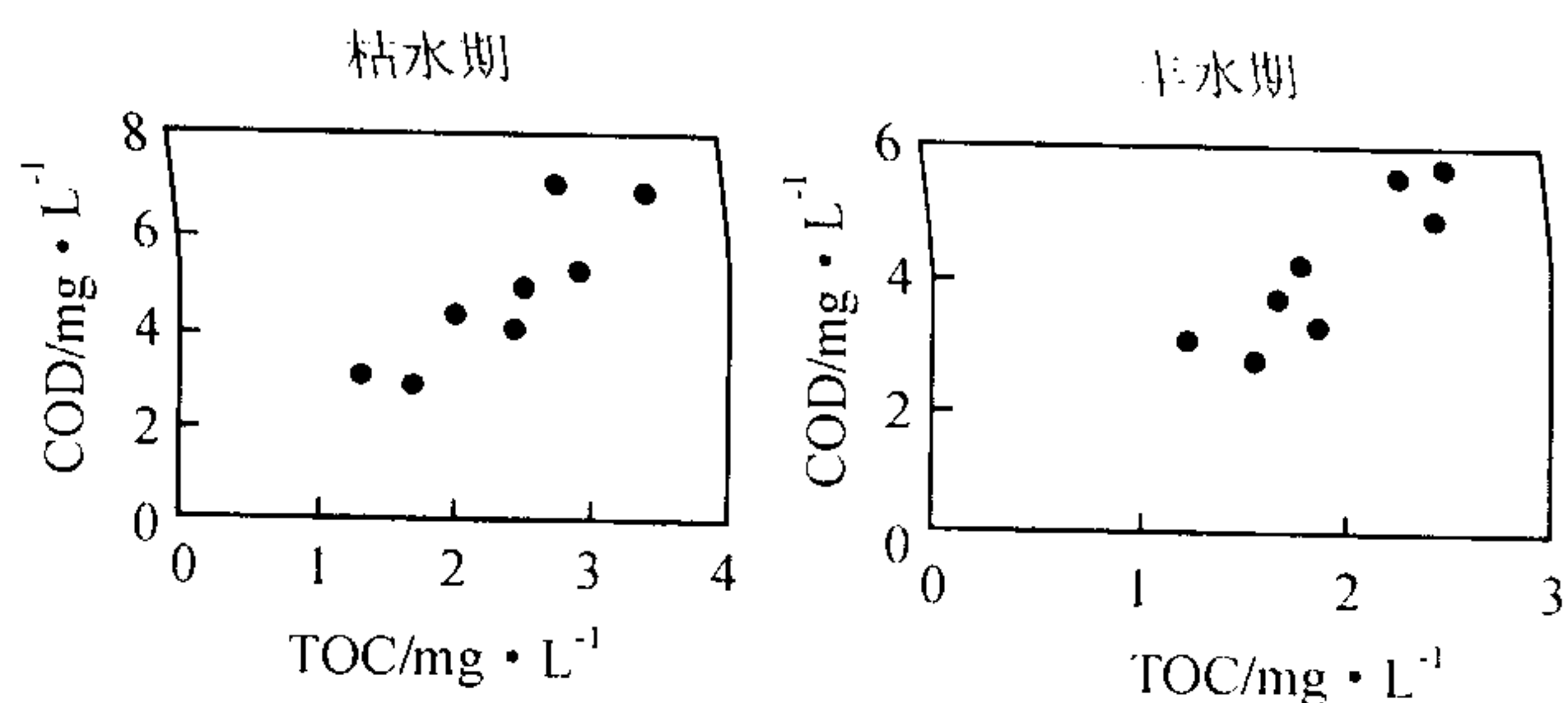


图 2 某城市管网末梢水 TOC 与 COD_{Mn} 相关性

用水中有机物在进行液氯消毒时产生毒性很大的消毒副产物(DBPs),其中数量最多的是三卤甲烷(THMs)。Black 等(1996)详细研究过 TOC 对 THMs 致癌风险的相关性^[3]。根据他们的研究结果,三卤甲烷的含量随 TOC 的增加而增加,而其它 DBPs 化合物与 Br 含量有关(图 3)。根据他们评价,当 TOC < 1.0mg/L 时,总致癌系数很小(<0.2 人/年/百万人),而当 TOC = 2.0mg/L 时,总致癌系数为 1.3 人/年/百万人;当 TOC = 4.0mg/L 时,总致癌系数为 3.1 人/年/百万人。因此,要使 DBPs 总的致癌风险控制在 1.0 人/年/百万人以下,TOC 应小于 2.0mg/L,最好控制在 1.0mg/L 以内。

5 TOC 与 Ames 试验致突变性之间的关系

Ames 试验结果是目前评价饮水致突变性的综合性指标^[4]。饮用水中 TOC 与致突变活性有一定相关性。肖贤明等(2002)研究了不同净化程度饮用水及水源水 TOC 与 Ames 的关系,结果表明,Ames 试验 MA(TA98)与 TOC 呈较好的正相关,但不是直线相关。从图 4 大致可看出,当 TOC > 1mg/L 时,MA(TA98) > 2,水的 Ames 试验呈阳性。MR(TA98)随 TOC 的增大而明显增加;当 MR(TA98) < 2、水呈阴性时,MR(TA98)与 TOC 关系不明确^[11]。

6 TOC 作为饮用水水质指标的讨论

在发达国家,一般不采用有机综合指标作为饮用水水质指标,因为他们可检测出各种有毒有害物质的量。我国管理部门目前仅能对少数几类有机物进行定量检测,因此采用一些综合指标,如 COD_{Mn} 或 TOC 反映饮水中有机微污染物的综合含量比较切合实际。TOC 反映有机物更为直接,测定精度更高,是评价饮水有机微污染的综合指标。在我国城市供水行业 2000 年技术进步发展规划中,已提出将 TOC 作为第一类水司的水质指标,但未提出限量

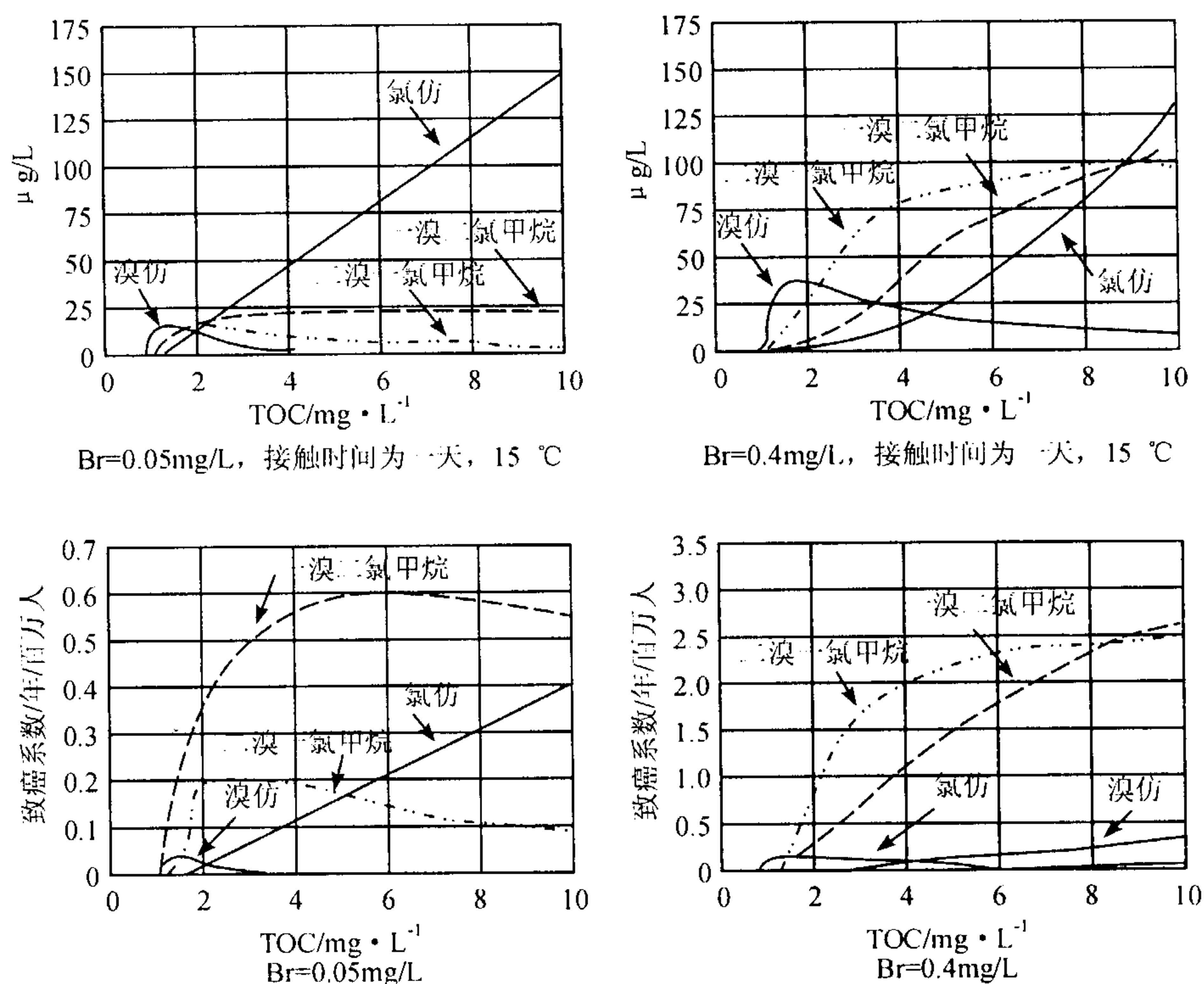


图3 TOC 与 THMs 生成及致癌风险之间的关系(Black, et al., 1996)

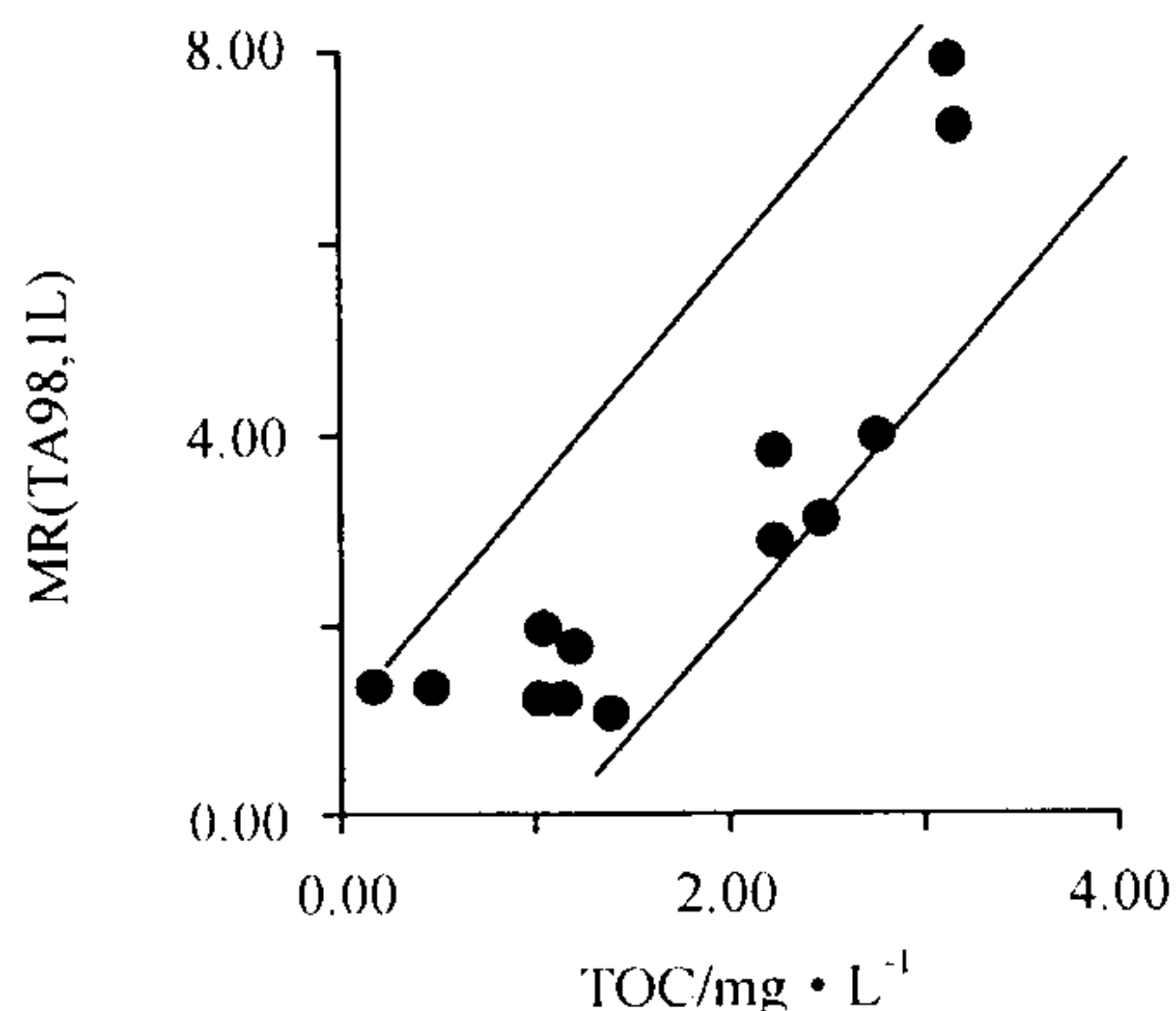


图4 饮水 Ames 试验致突变率 MR 与 TOC 的关系

值^[12]。在饮用净水水质标准中 TOC 限量值为 4mg/L^[7]。作为优质饮用水标准,这一限量值显然偏高。根据上述 TOC 与 COD_{Mn}、THMs 致癌系数及 Ames 试验致突变活性之间的相关性,可以看出,就本研究城市而论,管网末梢水中 TOC 含量一般在 1.0~4.0mg/L。在深度处理中,当 TOC 含量低于 1.0mg/L 时,Ames 致突变试验呈阴性,生成的 THMs 化合物致癌风险也低。因此,本研究认为作为优质饮水标准,将 TOC 限量值定为 1.0mg/L 是较合理的。而对于自来水,考虑到自来水厂现有技术 & 经济的可行性,可适当放宽对 TOC 的限量值。

另外,将 TOC 限量值定为 1.0mg/L,在饮水深度处理技术上也是不难做到的,合理配置的组合工艺技术对水源水中 TOC 去除率可高达 90% 以上^[6,8]。

7 认识与结论

(1) 饮用水中 TOC 主要以 DOC 的形式存在,且以分子量小于 500 为主;

(2) 饮用水中 TOC 与 THMS 化合物含量存在正相关性,当 TOC < 1.0mg/L 时,生成的 THMS 化合物少,致癌风险低;

(3) 饮用水中 TOC 与 Ames 试验结果具有较好的相关性,一般当 TOC 大于 1.0mg/L,致突变性呈阳性,当小于 1.0mg/L 时,呈阴性;

(4) 以本研究城市管网末梢水为特征,作为优质饮用水,建议 TOC 限量值为 1.0mg/L。

参考文献

- 1 朱惠刚,水中有有机污染物对人体影响评价[J]. 中国环境科学, 1987,7(4):67~73
- 2 Agbekodo, K M, Legube, B, and Cote, P, Organics in NF permeate[J]. J. AWWA, 1996,88(5):67~74
- 3 Black, B D, Harrington, G W, and Singer, P C, Reducing cancer risk by improving organic carbon removal[J]. J AWWA, 1996,88(6):40~52