

饮水水质科学研究的方向

清华大学环境科学与工程系水质学与工程研究所

李福杰 张晓健 王占生

目前, 饮水水源受污染的情形日益严重, 微污染源中的无机物、有机物以及微生物等严重地威胁着人们的健康。与此同时, 人们对饮水水质越来越关心, 瓶装饮用水是畅销市场。随着人们生活水平不断提高, 健康意识不断增强, 水质科学的研究会不断遇到各种新的问题, 这就为水处理工作者提出了更多的研究课题。综合国内外饮水水质科学研究现状和发展的趋势, 我们认为, 应不断加强饮水水质科学的研究, 特别是关于饮水安全和饮水健康的研究, 以跟上形势的发展。

一、研究内容

1. 宏观研究

(1) 关于饮水中所含微量无机离子的研究

目前饮用水水质标准中一些元素, 只规定了最高限值却没有最低限值, 那么理想的饮水中是否应含有一定量的离子呢? 医学界的专家们认为水中的微量元素, 如钙、镁、铁、碘等是人们不可缺少的营养元素, 不主张喝纯水、蒸馏水。而商界的某些公司则宣传水中的这些微量元素是微不足道的, 营养可以从食物中获得。

人们获取的营养的确大多数是从食物中来的, 即使对于人体必须的微量元素, 人们通过饮水所摄取的营养也只占人体摄取的营养总量的很少的一部分 (见表 1)。问题在于我们的食物结构能否保证取得应有的有益元素与营养? 食物中的这些有益元素与营养人体是否容易吸收? 而水中的微量元素除了起到补充人体所需的盐分的作用以外, 是否还有其它的作用?

人们自饮水中摄入的部分人体必须的微量元素在总摄入量中所占的比例
表 1

元素	在饮水中的浓度(L)		自饮水摄入占总摄入量(%)		
	典型	较高	日饮 11-1.5L	日饮 3L	高浓度
Fe	0.1	1	<1	1-2	6-17
Mn	0.02	0.2	<1	1-3	6-23
Se	1μg	25μg	<1-3	1-6	16-60
Ni	5	25	1-4	3-7	7-27
Cr	3	25	2-4	4-8	16-43
Zn	0.2	1	2-6	4-11	9-38
Al	50	500	4	7	27-43
Mo	5	50	4-7	7-13	27-60
B	0.1mg	1mg	5-23	9-38	33-86
Cu	0.1	0.5	6-9	11-17	23-25
F ⁻	0.3	5	31-60	47-75	88-98

过去的地方病往往发生在交通不发达地区。这些地区的人们常年喝当地的水, 吃当地的粮由于同一地区的水和粮食中有可能同时缺乏某种或某些有益元素, 或同时含有某种或某些有害元素, 因此容易致病。



现在交通发达,商品得到流通,食物、饮料的产地不一,含元素各异。如果我们的食物结构单调,不能保证获得应有的元素与营养,那么喝吨水、蒸馏水就会使缺乏的有益元素得不到补充,从而引起不良反应(尤其对正在发育成长的儿童)。

同时我们还必须注意到,水中的微量元素除了补充人体必须的营养元素以外,可能还有别的作用。也就是说,即使我们的食物结构能够保证我们获得应有的元素与营养,饮用含有一定含量的矿物质的水也有可能对我们的健康更加有益。

国外研究表明,水的硬度与心脏病死亡率有确定的关系:软水地区心血管病死亡率比硬水地区高。这种关系也被我国学者所证实。

Sorenson J博士(医药化学家、矿物质新陈代谢理论权威)认为,饮用水中的矿物质能很好地被吸收。他发现新陈代谢的主要金属元素与非主要元素的比例极受水中主要元素数量的影响,如果所需主要元素得到满足,非主要元素就很少或不会被吸收,而是被排泄掉。也就是说,如果水中钙、镁含量也低,细胞就可能选择铅,从而造成伤害。

美国马丁·福克思博士1996年在《健康的水》一书中,综合了近年国外研究成果认为:对于饮水,硬度的理想指标是170mg/l左右;总溶解固体理想指标是300mg/L。

由于以上的理论和统计数据不受地域的限制,因此我们有理由认为,水中的微量元素除了对人体进行必要的补充以外,还可能具有其它的功能。研究水中微量元素所具有的对人体的营养补充功能和更深层次的功能,就成为一个重要的课题。

(2)关于水中有机物及毒理学方面的研究

水中有机物对人体的影响是积累的。一旦发现问题,往往已经影响一代人的健康。新的有机物不断合成,给环境带来污染。国外有学者反映,现在的研究都是单个有机物对人体的影响,如果考虑几个有机物的综合影响,可能是单个有机物的几十倍危害,而这方面的研究很少。现在国外又提出环境雌激素的问题,它主要包括环境有机污染物、工业化学药品、人体合成雌激素和植物雌激素等,是能干扰体内雌激素的合成、分泌、传递、键合和减弱作用的一种类激素。它的影响深远,怎样防止与去除还有待研究。

在水质标准中,为了限定饮水中有害有毒的有机化合物对人体健康的影响,采取了逐项限定各种有机化合物浓度的方法,但却没有给出综合性的指标。这样做,一方面由于水质标准发展的速度总是滞后于化学品合成的速度,因而不可能将每种现时可能的有毒有害物质都包括在水质标准中,另一方面,由于各物质间的协同作用,因此不能排除所有有毒有害物质的综合作用具有对人体健康构成威胁的可能性。

因此我们认为,应研究以综合性指标来衡量饮水中所含的微量有机污染物对饮水安全影响的可能性。可能的综合性指标有:代表饮水中有机污染物总量的TOC(或DOC),代表饮水中可生物降解的有机污染物总量的BDOC(或生物可同化的有机污染物总量AOC),以及评价饮水中微量有机物毒性的毒性学指标Ames实验等。

(3)关于水中微生物的研究

水中微生物的污染,也是不断发现,不断研究出来的。如O-157大肠杆菌、军团菌、小隐孢子虫、贾第虫等,并且由于环境污染加剧,还会新产生一些变异的细菌、病毒,危害人的健康。对于水中微生物及其防治方法,也应不断进行研究。

2.关于水的微观结构的研究

对水质的研究发现,有些传统观念受到了冲击。如超滤器用于烧开水锅炉的水处理有防垢的功能。按理只要 Ca^{2+} 离子和 HCO_3^- 离子的浓度高达 CaCO_3 的浓度积,就应该产生 CaCO_3 垢,可是用超滤出水烧开水,水壶上只积松散的白色垢,用手就可以擦取。根据我们的分析,将自来水经过超滤在反渗透膜上结的垢与自来水在反渗透膜上结的垢作X射线能谱分析(EDX),发现经超滤处理的水垢中的Al、Si、Ca、Fe元素含量显著降低,分析认为,可能是去除了绝大多数胶体,使结垢状况改变。

目前日本提出“兀水”,奥地利出了一本《追踪水的奥秘》的书,也提出活化水与健康。兀水资料中提到将金鱼放在兀水中予以密封,而金鱼仍能生存5个月之久,这是因为金鱼利用了宇宙能量得以生存,水能将宇宙能量转变为生命体的能源。资源还列举了活化水对植物生长有利,鸡饮用活化水多下收,人饮用



了活化水某些疾病得到控制甚至痊愈。

而对这些资料，我们只能半信半疑。出现这些问题的原因，是由于已往水处理领域的研究都集中在水中的化学组分方面，如水中的微量污染物、无机离子等，对水本身的物理特性，即水的团簇结构的研究则接近空白。

近年来，在物理学的理论研究中发现了在物质结构的原子分子和凝聚态两层次之间存在原水团簇这一重要的现象，并由此发展成为一门新的学科——**团簇物理学**。另一方面，有关饮水健康的研究表明，水的团簇结构很可能与人体健康有着直接的关系。水的微观结构开始引起人们浓厚的兴趣。

原水分子团簇，简称团簇(cluster)或微团簇(microcluster)，是由几个仍至上千个原子、分子或离子通过物理和化学结合力组成的相对稳定的聚集体，其物理和化学性质随所含的原子或分子数目的变化而变化。团簇的空间尺度是一个纳米到几十个纳米的范围，用无机分子来描述显得太大，用小固体描述又显得太小。因此，人们把团簇看成介于原子分子与宏观固体或液体之间的物质结构的新层次。

水的团簇结构与人体健康的关系是在对水质以及水在食品、饮料等工业中的利用的不断认识过程中逐步得到重视的。在日本清酒的研究过程中发现，陈年酒的风味比未经酿成的酒要醇美而不会宿醉。经过化学分析发现，二者之间在酒精度、粮度以及其它组分方面都没有什么差异，只是陈年酒的水的族群变小，也就是小的物理性质有所不同。不久，在日本普遍地传出族群小的水对于健康有益的说法。至于是否真的有益于健康，还有待于科学上进一步的验证。

由于水的团簇结构可能与体健康有着密切的关系，而对于水的微观结构的认识，又有可能使我们获得对于水的性质和功能的更深层次的认识，因此，水的微观结构的研究，必将成为今后水质科学研究的热点。

3.建立水质指标体系，正确反映水的特性

为了保证饮水安全，现有各种水质指标必须不断地进行修订。我们认为，**现有水质指标中亟待研究和修订的内容**，一是饮水中对人体有益的无机离子，必须有一个最低限值；二是对综合性有机物指标和TOC，DOC，AOC，BDOC等，必须有一个最高限值；三是必须建立评价饮水中有机物毒理学性质的综合性指标。

同时，照顾到不同的需求层次，我们认为，**还应当建立各种水质指标体系，综合反映水的各种特性，如健康水的水质指标，美味可口的水质指标等。**

目前得到各方公认的健康水的水质指标大体有以下几点：

- (1)不含有害物质；
- (2)硬度适中（大部分人认为硬度应高于 50mgCaCO₃/L而低于 150mgCaCO₃/L，美国的马丁·福克思博士则认为硬度的理想指标是 170mg/L左右）；
- (3)含有适量的矿物质，马丁·福克思认为理想的指标是 300mg/L左右；
- (4)pH值偏弱碱性；
- (5)含有碳酸离子（或说含有二氧化碳）。

除以上已获得公认的几点以外，尚有一些未能达成共识或有待于进一步研究的观点，其中我们认为争议最大的就是**水分子团的大小**，因为它缺乏理论上的支持，同时各家在说法上分歧很大。现在有不少人认为水分子团越小越好，但是，我们在研究水的族群的过程中发现，淋浴污水经过膜—生物反应器处理后，其水分子团比某些水质很好的山泉水的分子团还要小。因此我们认为，对于水分子团的大小，有可能有一个合适的范围，而不是越小越好。关于这一点还有待于进一步更深入地研究。

除此以外，照顾到人们对水的口感的需求，建立美味可口的水的指标体系也是一个值得研究的领域。

对于水质指标的具体形式，我们认为，**能否考虑建立一个关系值，载明各主要有益元素的含量与有害元素含量之比，还可以将TOC与毒理学指标等列入其中。**从这个关系值我们可以看出饮水中有益指标与有害指标各有多少，以取得一个对饮水的综合性的评价。并以此为基础，寻求建立一个衡量健康水的综合性的指标。

二、研究方法



随着科学的不断发展，随着各学科之间的相互渗透和融洽，随着我们对饮水研究的不断深入，单纯依靠水处理领域研究人员的力量，已经难以使水的研究跟上人们对饮水水质需求的发展。因此，将物理、化学、生物、医学等领域的相关知识渗透到水处理领域中来，已成为历史的必然。

对水的研究需要多学科的研究互相渗透，取长补短，发挥各自优势，共同作出贡献。水处理工作者应向化学、医学、营养学、生物学专家学习，去认识水的微观世界，才能跟上形势。

对水的研究要从微观着手，运用现代化学、生物化学、生物物理学的基本原理去分析，同时还必须应用当代最新分析仪器研究它的形态、构造。健康水的特征确定后，怎样从现有水源将水处理加工成健康的水，则需要水处理学、电学、磁学、水生物学等学科共同努力。

我们相信，只要各学科专家团结奋斗，必能为人们制造出健康的水！

http://www.chinacitywater.org
中国城镇水网