# 饮用水口感及影响因素分析

随着社会发展和生活水平的提高，人们对饮用水提出了更高的要求，包括越来越关注饮用水的口感。对近30年国内外有关饮用水口感的文献进行了综述，探究了水中主要成分与口感评价等级之间的关联以及关联背后的原因。饮用水的口感是由水中的无机成分和有机成分共同决定的。无机成分中阳离子决定了主要味调，阴离子发挥协调作用，离子含量处于中低水平时口感较好。有机成分主要通过嗅觉、味觉对水味造成负面影响，产生不良口感的浓度从ng/L到mg/L级别，跨度较大。水味除了受成分的种类和浓度影响外，还与成分之间的协同、拮抗作用有关。我国居民在饮食习惯、身体素质等方面与国外存在较大差别，目前国内有关饮用水口感的研究较少，这方面工作的突破有助于指导水处理行业制备高品质的饮用水，提升国民生活的幸福指数，意义深远。

人类的生活离不开饮用水。作为一种特殊商品，饮用水仅符合卫生标准已经难以满足消费者的需求。在消费升级的刺激下，人们对高品质饮用水的呼声越来越高。良好的感官体验是饮用水高品质的重要表现。水的风味（flavor）简称水味。水味是饮水者对水的一个整体感官印象，包括味道（taste）、嗅味（odor）和口腔感受（mouthfeel）3个方面。其中，味道（taste）主要指人们通过舌头品尝获得的味觉体验，包括酸味、咸味、苦味和甜味；嗅味（odor）是人类通过鼻腔对气味的反应，特指气味；口腔感受（mouthfeel）主要指口腔接触引起的刺激。在饮用水的评价中，“水味”通常被消费者描述为“口感”，本文中的术语“口感”“水味”“风味”均等同。理想的饮用水口感应是中性、清爽的，没有异常的气味和味道，也没有抜干收敛的口腔感受。

研究表明，由于净水工艺对色度的严格控制，人们对饮用水的不满主要是由水的不良口感引起的。口感差的自来水往往会引起人们的投诉，摧毁他们对公共部门的信任，最终促使其选择包装饮用水替代或使用净水器对龙头水再处理。为了达到饮用不反感的目的，世界各国在饮用水的美学标准中限制了TDS、硬度以及个别离子的浓度，然而这些指标数量有限而且较为宽松，对于制备可口的饮用水来说参考价值不足。

饮用水的口感受水中成分的影响。常见的不良口感是由有嗅味和味道问题的无机物或有机物引起的。目前，对无机物的研究以矿物离子为主。科研人员通过实验室配置的盐溶液确定了这些离子的味觉特征和阈值范围，重点探究它们对味道的影响。然而在天然饮用水的口感实验中，口感满意度与这些离子的关系却经常出现争议。对有机物的研究一般以嗅味为主，许多学者把目光聚焦在气味阈值较低的嗅味物质上，对其他气味不强但是味道不好的有机物研究较少。在水处理过程中，不同工艺对上述成分的去除效果不同，因而出水的口感通常有明显差异，加之水处理末端投加的消毒剂本身具有刺激性气味，同时还会引入新的有气味的消毒副产物，使水味更加复杂。目前，人们多在单独研究某种特定成分与饮用水口感的关系，而对水中不同成分之间的相互作用关注度不足。桥本津等曾经建立饮用水适口性与几种离子的函数关系，提出“可口指数”

(mg/L，O index ≥2的水口感好，反之口感差），但是目前并未被广泛采纳。

除了客观的理化性质，被试者的主观因素也会影响水味的判断，这无疑给饮用水口感的研究增加了更大的挑战。因此，及时整理口感近期研究工作的新发现，并将新旧成果进行归纳总结十分必要。本文对饮用水口感现有的研究进行了较为全面的梳理，对指导高品质饮用水的制备具有参考意义。

1

口感评价方法

为了保证实验的可靠性，测试人员的数量应达到统计学标准。在正式实验之前测试人员需要进行预测验和培训，确认没有感冒或过敏，味觉状态正常，测试开始前30 min内不得抽烟、吃东西或使用香水。实验过程中环境温度应维持在一定水平，盛放的容器要无色无味，样品的温度应与实验要求相同。测试开始后，测试人员将适量样品含在口中品尝，品尝后吐出并对评测结果做记录，对评测结果不确定时可以反复进行几次直至确定最终答案。品尝下个样品之前宜用纯水漱口并适当停歇，全程避免对评测结果进行交流。

2

无机成分对口感的影响

2.1 单盐体系

大量研究认为饮用水口感满意度与水中的矿物质直接相关，人们对水的接受度受到水中无机盐含量的驱动。在饮用水的无机离子中，K+、Ca2+、Na+、Mg2+、Cl-、SO2-4和HCO-3最为常见。这些阴、阳离子总是成对出现，以无机盐的形式调整水的味道。

已有的研究表明，阴、阳离子在无机盐的味感上扮演着不同的角色。阳离子是刺激味觉的主要兴奋剂，决定了无机盐的基本味调。文献交叉对比可以发现具有相同阳离子的无机盐的味道具有相似性。在探究阳离子盐的味道特征和味觉阈值时，不同文献对于同一种阳离子的味觉结论基本上是一致的。钾、钙、钠、镁这4种阳离子盐的典型味道分别是苦、苦咸、咸、苦。在这个基础上，阴离子对阳离子起到调节作用。这种调节主要体现在两方面：①在阳离子本味之外增加了其他味道。钙盐和镁盐都有苦味，还会因具体的阴离子不同表现出咸味、酸味或涩味。同样的，钠盐虽然都是咸的，但是氯化钠只有咸味，Na2SO4是咸酸的，NaHCO3除了咸味，还有金属味和苦味。②阴离子调节了阳离子味的强度。阴离子像是阳离子味觉天平上的一个有正反方向的砝码，通过协同、屏蔽作用决定盐味道的强弱，使阳离子盐的味觉阈值出现差异。已有研究发现阴离子的屏蔽作用可能与其相对分子质量有关。较大的阴离子会使某些阳离子在跨细胞扩散进入味觉受体时受到阻碍，导致阳离子的刺激效果变差，味觉反应降低。在Cl-、HCO-3和SO2-4的盐溶液中，分子质量最大的SO2-4对阳离子的屏蔽作用最强：在相同的浓度下，咸度NaCl＞NaHCO3＞Na2SO4；镁盐的味觉阈值硫酸镁（约360 mgMg2+/L）＞硝酸镁（240 mgMg2+/L）＞氯化镁（约150 mgMg2+/L）。这种规律在阴离子元素处于同一主族的情况下有相反的表现。Na+和K+与负1价的卤族阴离子结合时，卤化物盐的咸味、苦味和酸味都随着阴离子相对分子质量的增加而更加明显。

2.2 混合盐体系

当多种无机盐混合时，无机离子之间会产生协同、拮抗作用，因此混合盐溶液的味道并不总是按照盐浓度叠加的规律发展。实际上，天然饮用水就是一种无机盐混合体系，多种离子同时存在。人们对这些离子组成的综合指标（如总溶解性固体、硬度等）与口感的关系进行了大量研究。总溶解性固体（Total Dissolved Solids, 缩写TDS）主要由Ca2+、Mg2+、K+、Na+、Cl-、SO2-4、HCO-3、CO2-3和NO-3等矿物离子组成，通常用来表征水中无机盐的含量。根据水中TDS含量的高低可以将饮用水的矿化程度分成高（251~500 mg/L）、中（101~250 mg/L）、低（＜100 mg/L）3种水平。在全球范围内，人们喜欢喝的饮用水矿化程度处于中低水平。TDS过低会让人产生寡淡、微苦的感觉。当TDS＞100 mg/L时，饮用水口感的满意度随着TDS含量的增加而降低。TDS＞250 mg/L时人们可以尝出矿物质味道。水中TDS超过450 mg/L时通常口感不佳，超过800 mg/L后往往会产生咸、涩、苦等不良口味，让人难以接受。除了TDS，硬度与口感的关系也十分密切。天然水的硬度主要由钙、镁离子组成。硬度过低的水味道平淡，硬度适量的水清冽可口，硬度过高的水口感苦涩、浑厚、不滑润且有异味，好喝的水的总硬度（以碳酸钙计）在10~100 mg/L。

尽管人们就这些综合指标对口感的影响可以达成普遍共识，但是天然饮用水的口感和水中具体离子的关系却争议不断。以阳离子为例，人们对K+和Mg2+影响水味的分歧比Ca2+和Na+大。对于K+和Mg2+，不同文献分别报道了它们对水味积极、中性和消极的影响，3种结论在数量上没有明显倾向性。而对于Ca2+，尽管部分研究认为它有负面影响，多数研究坚持它有助于提升水的口感。同样地，对Na+而言，尽管一些学者的实验支持Na+被中性或正面感知，多数研究一致认同Na+不利于获得良好的口感。此外，影响口感的关键离子的讨论也十分激烈。早期的生理研究发现，钾、钙、钠、镁4种离子刺激产生的味觉强度由高到低依次为：钙≈镁＞钠＞钾。然而，在影响水味的主成分研究中，4种离子都有各自的支持者。

考虑到争议的产生与单个实验样本数量不足或实验中被试者的主观偏差有关，本文对近年来已发表的探究无机物影响口感的文献进行了统计，选择了那些要求被试者经过科学严谨的口感测评流程，在室温条件下随机品尝水样并打分的实验。水样中不含自由氯或经过脱氯处理后余氯接近0，对应的离子含量由各实验按照物理化学参数的标准分析方法得到，不同实验的水样评分进行统一换算，将口感划分成“好喝”“一般”和“不好喝”3种级别，分析口感评价与水中离子含量的关系。

图1是文献中不同口感的饮用水主要离子含量分布图。其中，水样的离子浓度范围用箱形图表示，几种阳离子（K+、Ca2+、Na+和Mg2+）的味觉阈值范围用半透明方框标出。从整体上看，不好喝的水TDS和阴、阳离子含量高，波动幅度大；好喝的水与之相反；口感一般的水介于两种情况之间。口感从不好喝到好喝，TDS和阴、阳离子的含量明显下降。在阳离子区域，不好喝的水中Ca2+、Mg2+和Na+的浓度多数达到甚至超过其味觉阈值；口感一般的水中只有Na+的含量大多超过了味觉阈值；好喝的水K+、Ca2+、Na+和Mg2+含量几乎都小于其味觉阈值的下限。这说明浓度高（即接近或超过其味觉阈值）的阳离子数量越多，水的口感越差。这可能是因为阳离子奠定了水的基本味调，当其浓度接近或超过味觉阈值时，人们能直接尝出阳离子的不良味道。这样的阳离子越多，不良味道越明显。

此外，将不同口感级别的水两两比较后发现：不好喝的水其离子含量（平均TDS=1430.4 mg/L）明显高于口感一般的水（平均TDS=417.8 mg/L），此时离子总量对两类水的口感差异发挥了重要作用。相比之下，好喝的水其离子含量(平均TDS=238.4 mg/L)整体小于口感一般的水（平均TDS=417.8 mg/L），矿化水平相对接近。值得注意的是，如图2所示，阴、阳离子的比重在两类水中有明显区别。与口感一般的水相比，口感好的水中Ca2+在阳离子中的比重明显增加，从56%上升至63%，Mg2+的比重从11%略微上升至15%，Na+的占比从31%明显下降至20%，K+几乎不变。HCO-3在阴离子中的比重从60%大幅上升至77%，SO2-4和Cl-的比重从28%和12%分别降至16%和7%。这说明当离子总量接近时，离子的比例对水的口感有重要影响，即Ca2+在阳离子中的比重以及HCO-3在阴离子中的比重越高，水的口感越好。一个可能的解释是在阴离子中，HCO-3对阳离子苦、咸等不良味道的屏蔽作用较强，Cl-屏蔽效果较弱，因此Cl-的比重下降，HCO-3的比重上升有助于提升口感。前文提到当阳离子的含量低于味觉阈值下限时，Ca2+可以提升口感，Na+则会破坏口感，此时阳离子中的Ca2+比重增加，Na+的比重降低，水更好喝。

因此，从无机物的角度提升口感可以从两方面着手：①控制水中离子含量的水平，②调节个别离子的比重。因离子浓度整体偏高（接近或超过其味觉阈值）而导致的不良口感可以通过降低离子总量（如TDS）改善，这种方法在过去的研究中已经得到大量验证。当离子含量已经降至中等水平但是口感仍不令人满意时，适当调节个别离子的比重有助于获得更好的水味。

混合盐体系中常见的无机离子还有H+、OH-、NO-3、CO2-3和SiO2-3等。天然饮用水一般为弱碱性，H+和OH-的含量通常在10-8~10-6 mg/L，这种浓度级别的H+和OH-对口感的影响非常小。多数研究认为NO-3、CO2-3和SiO2-3在天然水（尤其是地表水）中的浓度很低，对制得的饮用水口感影响微弱，一般可以忽略。此外，一些微量元素，如Fe、Cu和Zn等可能因管材的腐蚀等原因以离子的形式溶解在饮用水中，当它们的含量超过风味检测阈值时会对水的感官质量产生负面影响。关于这些成分的研究在直饮水系统的国家进行得比较多，但是基于它们在国内饮用水中的含量和出现的频率等原因，本文不做赘述。

2.3 无机消毒剂

饮用水中的无机物除了天然的矿物盐成分，还有人为添加的无机消毒剂，如液氯、氯胺、二氧化氯、次氯酸盐等。这些消毒剂主要通过HClO/ClO-、Cl2的氧化作用达到消毒目的，在水处理过程中的应用非常广泛。它们自身往往具有刺激性气味，通常情况下浓度仅0.1~0.5 mg/L就能让消费者感知到刺激性的氯味。此外，这些消毒剂产生的无机副产物也会引入新的嗅味，如二氯胺、三氯胺等都有游泳池味和氯味。从饮用水中的含量、检出率以及消费者的可接受性的角度出发，人们对余氯的研究工作做的最多。但是目前余氯是否对饮用水口感存在负面影响存在一些争议。多数报道认为消费者不喜欢水中的氯味，游离氯的浓度高于0.15 mg/L就可能会引发消费者的投诉。但是PLATIKANOV等在口感测评实验中却提出自由氯只能让被试者明显区分出瓶装水和自来水的差异，并不影响他们对水的口感评价。这可能是因为实验中的被试者均来自西班牙的巴塞罗那，当地人日常饮用的自来水自由氯含量普遍较高（中位数为0.5 mg/L），被试者对氯味的耐受性较高所致。

3

有机成分对口感的影响

饮用水的味道除了与无机离子有关外，还受到水中有机物的影响。这种影响一方面体现在有机物对无机物的作用，间接影响了水味。例如，一些有机阴离子对阳离子也具有拮抗效应。大型有机阴离子钙盐（如葡萄糖酸钙，甘油磷酸钙和乳酸钙）比等摩尔浓度的氯化钙具有更低的咸味和苦味响应。研究认为这是因为阴离子碳链越长，与味觉受体蛋白结合的几率越高，占据了阳离子与受体结合的位点，从而使钙盐的味道强度发生变化。另一方面，一些有机物自身就带有特殊风味，丰富了水味。天然有机物中的腐殖质和微生物代谢产物（蛋白质、氨基酸、多糖、次级代谢产物等）等主要由C、H、O、N等元素构成，分子结构中往往含有苯环、酚基、羰基、羧基、氨基等不饱和官能团，使水的口感明显区别于单纯的无机盐溶液。

有机物一般通过嗅味（Odor）或味道（Taste）影响水的口感。目前对有机物的研究以嗅味为主，相应的研究成果较多。水体中常见的不良嗅味，如土霉味、药味、鱼腥味等，主要是由一些痕量级 (ng/L级) 有机化合物造成的。徐斌等认为对水味影响最大的 一类有机物是以2-MIB、Geosmin、2,4,6-三氯苯甲醚（2,4,6-trichloroanisole）、甲氧基吡嗪（methoxypyrazines）、2-异丙基-3-甲氧基吡嗪（2-isopropyl-3-methoxypyrazine）和 2-异丁基-3-甲氧基吡嗪（2-isobutyl-3-methoxypyrazine）等为代表的嗅味物质。它们通常是放线菌、蓝细菌等微生物的次级代谢产物，具有令人反感的土腥味和霉味，人类对它们极为敏感，往往在0.4~10 ng/L的浓度下就能明显感知。这些物质在地表水中很常见，季节性爆发带来的嗅味问题容易遭致消费者的反感和投诉。此外，消毒过程也会产生一些有嗅味（Odor）的有机消毒副产物破坏口感。氯消毒法产生的三卤甲烷类副产物一般都有药味，以氨基酸和肽作为前体物产生的消毒副产物通常具有沼泽味或游泳池味。臭氧氧化或消毒的过程中会产生低分子量非卤化醛，在0.1~50 μg/L范围内就具有令人不悦的果味。实际上，除了上述气味明显的有机物，饮用水中还有一些气味不强但是破坏口感的有机成分，如能产生荧光的物质、疏水性的氨基酸等，这些成分是不同水源的饮用水口感存在差异的重要原因，但是目前人们对这类有机物的关注很少。

研究有机物对口感影响的挑战比无机物要大的多。一方面，有机物降解过程产生的中间产物成千上万，将每一种有机物对口感的影响尽数研究几乎难以实现。另一方面，有机物的嗅味阈值跨度非常大。在影响水味的有机物中，有气味特征的有机物仅在ng/L级别就能引起强烈反感，而一些没有明显气味的有机物浓度达到μg/L甚至mg/L级别才会被察觉，由于人们对不良气味的敏感程度远高于不良味道，因此将不同敏感程度的有机物分开研究非常必要，目前我们缺少一些类似于TDS的综合指标来分别表征它们的含量。此外，在天然饮用水中有机物不是孤立存在的，不同的有机物混合后，其气味或味道也会出现协同或拮抗效应。之前的报道发现不同气味的有机物混合后，气味强度往往会发生变化。因此，仅从阈值加和的角度难以准确预测混合有机物对水味的真实影响，探究有机物含量与口感评价之间的函数关系将是今后有机物口感研究的重难点。

4

其他影响因素

水温是影响味觉强度的重要的因素之一，人们感知水中溶解的矿物质的能力随温度变化而变化。欧美国家的多数研究认为将水冷却会显着降低人们对水中异常味道和气味的感知。无机盐的味道强度在低于体温或者室温的情况下会变弱；对于挥发性物质，温度升高导致分子运动加强，人们更容易感知到它们的不良口感。理想的饮用水温度比人体温度低，约为15~25 ℃。

口感也与受试者的饮水习惯有关。前面的研究已经表明，接受度高的水TDS通常处于中低水平，实际上TDS在全球范围内的偏好表现存在一定差异。欧洲地区的水质偏硬，荷兰、法国、西班牙等地区进行的口感实验中好喝的水的TDS分别在190~350 mg/L、300~350 mg/L和200~400 mg/L范围内，属于中等偏高的矿化水平。日本不同地区被公认的美味水的TDS属于中等水平，浓度在100~180 mg/L。而在美国加州的实验中，TDS＜80 mg/L的水比其他矿化程度的更好喝。中国内陆也表现出了南方与北方、东部与西部地区的矿化偏好差异。之前的研究表明，不同饮水习惯的受访者更偏好与其平常饮水水质接近的包装饮用水。在魁北克自来水满意度调查中，自来水的口感好评主要来自于以自来水作为唯一水源或主要水源的家庭。通常情况下，一个人如果适应喝某种水，他对这种水或接近这种水质的水接受度较高。

5

总结

在居民消费不断升级的今天，高品质饮用水也是人们向往美好生活的体现。目前的研究已经表明，水中无机成分和有机成分共同决定了水的口感。在主、客观因素的作用下，天然饮用水的水味比较复杂。

（1）受到离子浓度以及离子间的协同、拮抗作用的影响，不同矿化程度的水口感不同。尽管关于无机离子是否对口感造成正（或负）影响以及影响强弱的讨论还存在争议，越来越多的学者赞同阳离子决定了主要味调，阴离子发挥协调作用，消费者普遍喜欢喝离子含量处于中低水平的水。文献调研发现适当降低反映离子含量的综合指标（如TDS、硬度等）、调节个别离子的比重等方式可以改善饮用水的口感。

（2）目前有关有机物影响口感的研究以嗅为主，大部分工作集中在人类比较敏感的有气味的有机物上，对气味不明显但是味道不佳的有机物的研究非常有限。由于影响水味的有机物种类多、嗅觉和味觉阈值跨度大，因此宜将不同敏感级别的有机物分开研究，探究有机物含量与口感评价之间的函数关系将是今后有机物口感研究的重难点。

（3）氯系消毒剂和有刺激性气味的消毒副产物对水味的影响较大。多数研究表明余氯能够使消费者明显区分自来水和瓶装水，但是就它是否会影响被试者的偏好存在争议。这些争议可能与消费者饮水习惯、对余氯的耐受性等有关。

（4）好喝的水一般有机物含量少，无机物浓度处于中低水平。除了饮用水自身成分的影响之外，其他因素（如水温、饮水习惯等）也会左右被试者对水味的感知。欧美国家的研究普遍认为冷水的口感较好，而国内消费者却更偏好温热水，这可能与居民的饮水习惯有关。通常一个人如果适应了喝某种水，他对接近这种性质的水的接受度较高。目前关于饮水习惯对口感影响的研究比较少。

搜狐网2022-03-21