

水足迹：缓解水危机的隐形抓手

当你拧开一瓶容量为500毫升的可乐，可能想到其背后消耗的水资源多达309升吗？

生产可乐会产生大量无形水资源消耗，会留下隐秘的足迹：其所需的制糖原料甘蔗可能源自古巴，这些甘蔗的生长汲取了当地大量的水；可乐中包含的另一种成分咖啡因也许来自哥伦比亚，那里的河流可能受到咖啡豆种植园肥料的污染，处理这些污染又要消耗大量的水资源。

不只是可乐，生产商品的耗水量不仅包括直接使用量，还包括供应链各环节的原材料消耗与污染所带来的间接用水量。这些直接和间接的水资源使用量，被称为水足迹。

3月22日是第三十三个“世界水日”，全球水资源紧缺的严峻现实再次被推至聚光灯下。如何重新认识水、用好水？破解水足迹“密码”，或许可以帮我们开出一张缓解水危机的“绿色处方”。

1 看不见的水足迹

碳足迹已是家喻户晓的环保概念，但水足迹这一环境影响指标却鲜为人知。

“水足迹包含那些看不见的虚拟水。根据世界水足迹网络测算数据，全球消费的内嵌在各类产品和服务中看不见的虚拟水，占人类消费水资源总量的比重高达96.2%，而直接消耗的物理形态的水资源仅占3.8%。”3月15日，西北农林科技大学水利与建筑工程学院副院长孙世坤向记者介绍。

1993年，英国学者安东尼·艾伦提出虚拟水概念，颠覆了传统的用水认知，揭示了蕴含在产品和服务中巨大的虚拟水量。

2002年，荷兰学者、特文特大学教授阿尔杰恩基于虚拟水理念，进一步提出了水足迹理论。他也因此被称为“水足迹之父”。阿尔杰恩将水足迹细分为蓝水（地表及地下水）、绿水（储藏在土壤中的有效降水）和灰水（污染治理用水），它们涵盖了产品的全生命周期。他认为，水不仅是宝贵的区域资源，更是全球共享资源；而商品的买卖，实质上就是虚拟水的贸易流通。

“传统上，我们监测的是‘江河湖泊、地下、土壤中物理形态的水’，但经济全球化让‘商品里的水’流动了起来。”孙世坤翻开桌上的研究报告。在一张虚拟水流动图谱上，密集的蓝色箭头从中国东北及中西部干旱地区指向东部沿海。这张图展示了一个冷知识：在我国中西部和东北地区，生产一吨粮食大约消耗900吨水，而这些虚拟水随着粮食贸易流向全国。

“我们吃的不仅是粮食，还是流动的‘水’。”孙世坤的比喻折射出“北水南调”的现实。自1990年以来，我国“北粮南运”的格局逐渐形成，每

年输送到南方地区的粮食中蕴含的水资源量（蓝水与绿水之和），已经从200亿吨增长至近期的1000亿吨以上。西北农林科技大学研究员卓拉师从阿尔杰恩介绍，作为我国重要的生态屏障，黄河流域多年的平均降水量仅为全国平均水平的70%，而其水资源量只占全国的2%，然而，其承担了我国近1/3的粮食产量。同时，黄河流域的灌溉水有效利用系数距国内先进水平仍存在一定差距。

随着灌溉面积的扩大，流域蓝水足迹增幅高于绿水足迹，水资源直接消耗压力日益加剧。“在黄河流域主要作物产生的蓝水足迹中，小麦和玉米相关水足迹达83%。”卓拉说，“若不考虑稻谷，黄河流域为虚拟水净输出地区。自2000年以来，该流域作物生产耗水的40%以上，形成了虚拟水输出。”

西北农林科技大学校长吴普特已从事农业水土工程方面研究40个年头，是孙世坤和卓拉这两位青年教师所在团队的负责人。他一直在思考如何更有效地管理水资源。“未来10年，水资源短缺和水环境污染问题会持续加剧，或将引发经济发展、环境保护与可持续性、粮食安全等多方面的连锁反应。”吴普特告诉记者。

农业生产占全球水足迹的92%。因此，从农业产品入手开展水足迹研究，无疑是全面系统进行水足迹管理的突破口。

吴普特表示，通过计算和分析水足迹，我们可以精准量化水资源的需求和消耗，为制定更加科学合理的水资源管理政策提供有力支撑。同时，水足迹还可以引导企业和个人节约用水，满足经济社会的可持续发展需求。

2 重新审视水价值

《2024年联合国世界水发展报告》显示，全球近半数人口正深陷水资源匮乏困境。更令人忧虑的是，预计到2050年，全球粮食需求将激增60%，而淡水资源短缺将成为满足这一需求的巨大阻碍。

迫在眉睫的水危机，促使各界重新审视水的价值。

造纸业是典型的“水老虎”。吴普特教授团队与阿尔杰恩联合出版的《现代消费社会水足迹》对有关案例进行了分析，发现每生产一张标准的A4打印纸，因木材产地差异，其水足迹在2升至13升之间。

回收纸张与降低废水排放可以有效削减水足迹。“双面打印或无纸化办公，省下的不仅是纸张，更是流淌在纤维间的生命之源。”孙世坤说。

卓拉告诉记者，团队此前发表在《美国科学院院报》(PNAS)上的一项研究，对我国快递瓦楞纸箱全生命周期水碳足迹演变特征进行了深入评估。

他们发现，尽管瓦楞纸箱单位产品的水资源利用效率提升，且生产过程中的减污与减排效果显著，但国际供应链结构变化导致单位产品绿水足迹回升，环境压力外溢。值得注意的是，消费规模爆炸式增长产生的规模效应，使国家层面的总水足迹与碳足迹分别激增102倍和25倍。

“因此，只有通过供应链、消费端以及消费后端的联合调控，我们才有可能在2035年实现24%至44%的节水

减排潜力。”卓拉说。

城市水足迹与经济社会发展也紧密关联。在十三朝古都西安，水足迹画出了一条先扬后抑的抛物线：2013年，水足迹开始上升；2018年达到17.98亿吨峰值后，逐年回落。一项长安大学水利与环境学院的研究显示，经济增长与人口扩张是初期水足迹攀升的主要因，而节水技术的应用有效抑制了这一增长。

这为城市水资源管理提供了宝贵启示：构建水足迹实时监测体系，动态精准调控水资源，可以确保城市水足平稳，护航水资源可持续供应。

一些企业已开始践行水足迹理念。内蒙古伊利实业集团股份有限公司2022年成为国内食品行业水足迹认证的“拓荒者”。2024年，该公司完成了5家工厂和3款产品的水足迹认证，并带动51家合作伙伴加入“全球低水足迹倡议联盟”。该公司副总裁张铁鹏表示，自然环境是乳业根基，水足迹管理关联成本、效率，更承载企业社会责任与长远发展。

光伏企业同样面临挑战。2023年，隆基绿能科技股份有限公司在内蒙古鄂尔多斯投建硅片及电池项目时，引入综合节水设施，投产当年就实现了用水“零排放”。该公司可持续发展部张海濛直言，重视产品水足迹，依照产品类型精细规划用水计划、严控水耗强度，既可应对水荒，又能降本增效，更是助力企业出海、锻造国际竞争力的法宝。

他们发现，尽管瓦楞纸箱单位产品的水资源利用效率提升，且生产过程中的减污与减排效果显著，但国际供应链结构变化导致单位产品绿水足迹回升，环境压力外溢。值得注意的是，消费规模爆炸式增长产生的规模效应，使国家层面的总水足迹与碳足迹分别激增102倍和25倍。

“因此，只有通过供应链、消费端以及消费后端的联合调控，我们才有可能在2035年实现24%至44%的节水



西北农林科技大学中国旱区节水研究院。



旱区作物高效用水国家工程实验室。

3 实践应用道阻且长

水是经济社会发展的命脉。然而，公开数据揭示出我国水资源紧缺的现状：人均水资源占有量仅为世界平均水平的35%，且时空分布极不均衡。

在此背景下，强化水足迹管理成为破解资源约束、推动可持续发展的关键路径。近年来，以吴普特为代表的科研团队，在水足迹研究领域取得了显著进展，不仅在理论框架构建方面取得突破，在跨学科方法创新及国际标准参与方面也取得长足发展。然而，推动学科系统化发展并促进相关知识迈向实践应用仍道阻且长。

数据是水足迹核算的基石。吴普特教授团队在研究过程中，面临着数据获取难、时空分辨率低、过度依赖国际开源平台等壁垒。他说：“目前科研所需大量水资源、气象数据，多依赖国际开源平台。国

内数据库建设滞后，地下水水位、农业灌溉量等关键数据，政府间跨部门调取都困难重重，更别说给外界使用。”

2023年11月，水利部官网的一则公告令人警醒：由于申报时报提供的用水总量等关键数据严重不实，甘肃民勤两项节水荣誉被撤销。对此，相关专家表示，因紧密关联政府履约考核，民勤县的地下水数据不便对外公开。而像《中国水利统计年鉴》这类本应提供信息支撑的公开资料，也仅公布宏观层面的概括数据，若想进一步深挖，获取县级乃至更精细尺度的翔实信息，也是困难重重。

政策与标准体系的短板同样突出。一方面，国家强制认证标准的缺失使得企业核算无章可循，科学性难以判断；另一方面，我国国际话语权弱，使得我们在全球贸易虚拟水博

弈中处于被动地位。记者查阅文件资料发现，尽管国内多领域已出台水足迹相关办法，但多为行业、团体标准，尚未上升至国家层面，业内人士认为，这一现状导致标准缺乏权威性和普适性，企业执行动力不足。

吴普特说：“现行水资源管理体系过于侧重区域尺度的生产端蓝水调控，没有统筹全球化分工引发的水资源跨域流动。”在他看来，水资源治理的核心矛盾在于“区域管控刚性”与“全球协同弹性”的结构性冲突。中亚棉花贸易致咸海枯竭就是例证，其枯竭原因是区域管理割裂跨境生态链。

因此，专家们呼吁，当务之急是加快构建国家统一的水足迹管理标准体系，以科学管控水资源，保障可持续发展，守护生命之源。

4 构建“水立方”式管理模式

在中粮可口可乐饮料(陕西)有限公司的工厂，工程师对清洗饮料容器的冲洗喷嘴进行结构优化，力求在确保洗净度的同时，将冲洗用水量降至最低。

由此，该工厂碳酸饮料制造端的综合水利用率，从2023年的160升/升，优化至2024年的152升/升。

相较于学术研究领域面临的数据获取难、标准不统一等困境，企业的水足迹实践更为现实。然而，目前市场上认证机构良莠不齐，企业算出的水足迹数值缺乏权威衡量标准，真伪难辨；同时，技改往往成本高昂，若无外力推动，企业自愿推广的动力显然不足。

正如张海濛所言，推动企业开展水足迹核算，首先应构建水生态保护补偿标准体系。而且政府应发挥引导作用，通过试点先行、奖惩并举等方式，多管齐下推动企业积极参

与水足迹管理。

去年10月，西北农林科技大学发布《中国粮食生产水足迹与区域虚拟水流动报告(1997—2023)》，这份报告深入剖析了近30年来我国粮食生产环节中水的消耗过程与区域虚拟水的流动特征，直击水资源不匹配导致的供需矛盾核心。

“我们呼吁将水足迹控制标准纳入‘最严格水资源管理制度’。比如，通过制定总量(区域水资源)与效率(单产作物水足迹)上限的双红线，来平衡消费端和虚拟水贸易的调控矛盾。”吴普特说。

吴普特正筹划推动水足迹从学术研究走向实际应用，“团队将积极联合有关协会推出相关水足迹行业标准，优先覆盖农业和重点工业领域。”他说。

“设想修建一个大型灌溉工程，上游地区负责水库建设，下游地区只管田间灌溉。然而，要使整个系统发挥最大效能，就必须从系统的视角出发，综合考虑需求、供给和全

环节的水资源优化调度。”有专家打了个比方，当前，我国水资源管理模式犹如“铁路警察各管一段”，不同部门的科技项目申报指南犹如不同体系的密码本，导致地方在整合资源时“对不上暗号”。

该专家建议，构建“水立方”式管理模式，即由国家设立专项工程，整合水利、农业、经济等多领域资源，将田间节水技术、粮食贸易格局、虚拟水输出和生态补偿政策纳入统一评估框架，形成从水源到餐桌的精准管理方案。

同时，受访专家们也开出了一剂剂破局良方：加大科研资金投入，促进多学科融合攻关；完善法规政策，筹划建设水足迹背景数据库，统一水足迹核算标准，丰富水足迹应用场景；推动“一带一路”合作伙伴开展农业合作，输出中国农业节水技术，强化国际协同与国内区域协调；加强宣传教育，凝聚节水合力，形成全社会共同参与水资源保护的良好氛围。

来源：科技日报

延伸阅读

贵阳有个水环境科普馆



贵阳有一处科普馆，较为全面地介绍了水资源的相关知识，以及贵阳面临的供水现状和治水成果、节约用水科普等。

这就是位于贵阳市解放西路的贵阳市水环境科普馆，占地面积约224万平方米，是一个面向公众免费开放的水科技、水文化、水环境保护的科普教育基地。该馆由贵阳市政府投资建设，自2016年开馆以来，累计接待了大量社会团体和市民游客，成为了解水文化、学习水知识、探索水科技的重要途径和窗口。

贵阳市水环境科普馆共有9个展厅，展示了贵阳市的水文化、水资源情况、政府保护水环境的举措以及水资源节约和科学实验等内容。展馆内设有“序厅、文明之源、城市之殇、转变之道、持久水安全、水之新生、绿色低碳、源头活水和科普书屋”等主题展区。通过文字、影像、工艺流程参观和科普实验等方式，向公众展示水的起源、污染、净化及循环过程，倡导生态保护和节约用水的理念。

贵阳市水环境科普馆不仅通过展览展示进行科普教育，还积极开展各种互动活动。例如，组织小学生进行水质检测实验、污水简易处理实验和植树护绿等活动，帮助孩子们在实践中学习惜水节水的知识。此外，馆内还设有“科普书屋”共有藏书2000余册，广大市民在科普馆展厅实地探访完“水的前世今生”后，还能在科普书屋内结合相关书籍，学习与水、生态等相关更多的知识。

贵阳市水环境科普馆在2022年入选第八批国家生态环境科普基地拟推荐名单，并在2023年获得第五批国家水情教育基地的称号。这些荣誉进一步提升了其在国内外的影响力，成为推动全民科学素质提升的重要平台。

温馨提示：

开馆时间：每周一至周五（国家法定节假日除外）9:00—17:00（16:00停止入馆）。提前在“贵阳市水环境科普馆”公众号上进行预约，预约审核通过后，按预约时段到馆取票厅，凭个人身份证件在自助取票机上取券参观或凭预约二维码在馆内工作人员处核销入场。

团体讲解服务时间：请提前一日在公众号选择“团队预约”，服务时间为每周一至周五（国家法定节假日除外）9:00—17:00。

个人参观讲解时间：为更好地提高来宾的参观体验，全馆均提供了语音导览，只需扫描二维码就能体验当前展区讲解。

交通指南：

贵州省贵阳市南明区解放西路224号。
抵达公交：五眼桥公交站（可乘坐22路、36路、39路、61路）。

来源：天眼新闻

