活性氮之争
减轻污染战略

加州大学戴维斯分校（University of California, Davis）研究人员的一个为期两年的研究结果显示，得益于加州中部得天独厚的农业环境，几十年来整个北美地区杂货店的货架货源充足，但同时也使得加州中部的地下水供应中出现了硝酸盐。为成千上万人提供饮用水的蓄水层硝酸盐浓度普遍超过州安全标准，增加了甲状腺疾病、不良生育结局、循环系统疾病以及癌症的潜在风险。

这项研究的名称为SBX2 1，是由2008年的一项加州参议院法案催生的，该法案要求加州水资源控制委员会提供一份关于饮用水硝酸盐污染的报告，大约20年前州政府就提出了这个问题。该报告由加州大学戴维斯分校的流域科学中心撰写，采集了大约二十几个私立和政府机构的数据，汇集成一个包含来自近2万口井的10万个样本的数据库，报告结果在2012年3月13日的一个研讨会上正式宣布。

该报告的结论是，迄今为止，监管行动未能遏制地下水的硝酸盐污染，而这种状况可能在未来的几十年中会变得更加糟糕。然而，作者补充说道，确实存在着低成本和中等成本的方法可以有效地控制污染，但前提是要通过合适的政治及工业意向来加以实施。“我很乐观地认为，再过二十年就不会再有另一份报告提交立法会了，”课题主任Thomas Harter在三个小时的研讨会——包括设计一系列解决方案的小组讨论——之后如此总结道。

这种观点反映在2012年冬季版的《生态学议题》（*Issues in Ecology*）中，其副标题为“美国的环境中过量的氮：趋势、风险与解决方案”（Excess Nitrogen in the U.S. Environment: Trends, Risks, and Solutions）。由伍兹·霍尔研究中心（The Woods Hole Research Center）的执行主任及高级科学家Eric A. Davidson领导的团队在他们的报告中声称已经“在减少氮的大气排放上取得了重要的成就，并且已经改善了空气质量。”

©Alloy Illustration/Veer

他们还指出，减少农业氮流失的有效方案已经确立，“但是妨碍实施的政治和经济障碍仍然存在。”

什么是活性氮污染？

凡是氮改变了空气、水、土地的地方，氮污染的影响随处可见。其罪魁祸首均为活性氮，即除了非反应性的大气N_2以外的任何其他形式的氮元素。反应发生时，最常见的产物是一氧化二氮(N_2O)、二氧化氮(NO_2)、三氧化氮(NO_3)、氨（NH_3）以及氮氧化物(NO_X)。

环境中的活性氮大部分来自农业。1909年诺贝尔奖得主德国化学家Fritz Haber和Carl Bosch发明了哈柏法，使得用于化肥和炸药的氨气生产形成了工业规模。在接下来的一百年中氨的价格暴跌，现在全球每年对氨的需求量超过4000亿磅，而大多数最终用在了农民的田地里。其他人为来源的活性氮包括工业、交通和发电，而自然来源则包括闪电和细菌固氮。

联合国环境规划署和伍兹·霍尔研究中心2007年的一份综述报告显示了世界各地不同环境中的活性氮所造成的问题。例如在内燃机蓬勃发展的地区，会产生大量的氮氧化物，而这些物质已知与呼吸系统疾病、心肺功能减低以及生殖问题有关联。氮化合物也可以和其他空气污染物发生反应，形成有毒的臭氧和颗粒物。

在发达国家，立法措施要求制造商限制这些排放，并已获得显著成效。根据一份由美国环保署科学顾问委员会于2011年发布的报告《活性氮在美国：来源、流向、后果以及管理选择的分析》(*Reactive Nitrogen in the United States: An Analysis of Inputs, Flows, Consequences, and Management Options*)，该机构在过去十年中进行的空气质量测试结果显示：在1990年和2002年间，与燃烧化石燃料相关的氮氧化物排放量下降了三分之一，而与发电相关的排放量下降了70%。

同样，内布拉斯加州普拉特河流域的研究人员在过去几年里展示了SBX2 1报告中一项关键建议的价值。通过将该研究区域内大约17%的地区的沟渠灌溉改成控制性更佳的洒水灌溉，减少了化肥用量，而作物产量有所增长，这意味着该地区内的植物吸收了更多的氮。因此，地下水中的硝酸盐浓度在1994年到2003年间得以缓慢但是稳步地下降，研究人员因而预测在未来几十年后，其浓度将远低于有害水平。

然而在其他地区，很多社区仍然在努力控制活性氮。在人口稠密的切萨皮克湾(Chesapeake Bay)流域，居民不得不应对一些氮来源，如发电厂的烟囱、污水处理厂和农田径流。虽然该地区的空气质量和水质自20世纪90年代以来有所改善，但是由于持续的发展和人口的增长，很难降低进入海湾的氮量，而湾内的酸度和硝酸盐含量升高已经影响了当地的渔业。由于有6个州以及哥伦比亚特区毗邻这个巨大河口，使得减少排放的法规监管力度更加复杂化。

与此同时，美国农业部的保护效果评估项目在关于降低密西西比河流域硝酸盐浓度的最佳方式上得出了相互矛盾的结果。该流域的硝酸盐最终导致了墨西哥湾的大量缺氧区，号称“死区”。在河流上游限制径流氮的努力收效甚微，而沿岸一些地方的硝酸盐浓度自1980年以来增幅高达76%。但是这条河的主要支流并没有硝酸盐浓度增加的迹象，而密西西比河本身的硝酸盐浓度在春季融雪和降雨后出现季节性增加，表明其硝酸盐来源实际上可能是周围的地下水。

SBX2 1报告侧重于加利福尼亚州图莱里湖盆地和萨利纳斯山谷的硝酸盐污染。该地区涵盖了美国5个农业产量最高县的其中4个，一年四季为整个北美大陆提供数百种不同的食物。这个地区的土壤自二战以来就一直被密集耕种，自2006年到2010年间许多地方地下水的硝酸盐浓度普遍超过州最高污染物水平45 mg/L。大约25万使用这些地下水的人们是由不具备处理这种硝酸盐污染能力的水处理系统供水。

解决方案：简单却不易行

SBX2 1报告的另一个作者Harter警告说，地下水的硝酸盐污染问题没那么容易解决，如果不改变农业政策和耕作方式的话，情况很可能会继续恶化。这些硝酸盐污染绝大多数是由长期施肥造成的，而近来施用的肥料将继续在未来几十年内逐步进入蓄水层，没有什么好的技术方案可以就地解决这些污染，即使有也是代价不菲。

然而，SBX2 1报告提出了一系列颇有前景的解决方案来应对活性氮带来的挑战，作者说所有这些方案不需要进一步的科学研究或技术开发就可以实施。唯一的前提是政策取向，包括现有法规的执行或者增加新的法规以改善水管理的公众监督。

SBX2 1报告中提到一个具有成本效益的方法：以一种更有效的方式用含氮丰富的地下水灌溉作物。其它的实用方法则是在更接近其来源的地方处理活性氮，而不是等它已经进入到土壤或水体之后。例如，人工湿地或农业用地外围安装的生物反应器能够获取并处理富含硝酸盐的径流，阻止其进一步扩散到外围环境中。

作者们也指出，遗憾的是这种基础设施耗资巨大，会增加农业经营者的工作负担；囊中羞涩的加州政府很难为这些设施提供财政补贴，农业经营者们也无力承担。一个更简单的策略也许是化肥税，这会提供一个直接动力以减少肥料的应用，从而减少进入土壤中的氮，同样也可以向氮流量——根据农田径流及其他废水流测得——征税。但是模型分析表明农业产出和收入可能会减少，这取决于如何征这些税。

SBX2 1报告指出了区域和州一级的水委员会实施监测和评估的关键作用。

但是作者在他们的研究中也指出“在获取由众多地方、州以及联邦机构已经收集到的地下水和地下水污染数据的过程中，我们经常遇到无法逾越的困难。水井记录的保存、标签以及命名的不一致性，使得不同数据库中、或由不同机构收集的数据中的同一口井的数据合并非常困难。需要全国一起努力来整合具有一系列不同司法权限的众多州级机构和地方机构的各种与水有关的数据收集活动。”作者认为这些活动可以通过征收化肥和水的使用费得到强化。

将会处于这种监督前沿的人物之一是Celeste Cantu，圣安娜流域工程管理局的总经理。作为SBX2 1报告发布后的小组讨论成员，她强调任何解决方案都应采取合作的方式。

“我们没有什么捷径可走，但有很多蹊径可辟，”她这样说，同时指出任何可行的解决方案都应该是多层面的，把各种成本和收益分摊给各个合作伙伴。“应该按区域不同来分别打造，每一次都应视其独特的土壤和独特的情况来制定独特的方案，”她说道。

至于饮用水水质已经受损、并会这样持续一段时间的地区，作者认为在用水地点进行处理是最可行的方案。通过购买必要的设备来去除硝酸盐污染，可以在短期内解决各家各户的问题。最终可以将这种援助扩展到较小的城市，帮助他们升级原有的水处理设施，或把这些处理设施与已经具备去除硝酸盐能力的较大的区域性工厂进行整合。

扼住活性氮命运的咽喉

但是这些措施只是摆在我们面前的大量工作的第一步，加州大学戴维斯分校的社区发展、环境科学与政策教授Tom Tomich如是说。他是一个独立但又相关的项目——加州氮评估项目——的课题主任。该项目已经运行三年左右，得到当地倡议团体以及重要农业生产商等的广泛参与。这一举措是受另一条加州法律——全球变暖法案AB 32的启发，该法案把科学家和立法者汇集到一起来磋商关于N_2O（一种很强的温室气体）的排放问题。

氮现在被认为可以帮助调节碳循环，并且可以对气候产生冷却和暖化的影响。例如，氮化合物能通过刺激树木生长和减缓某些土壤中有机物质的衰变，来增加碳封存而产生一种降温效应；也可以通过增加颗粒物污染来调节太阳的辐射量，从而产生一种短期的冷却效果。另一方面，寿命较长的N_2O的暖化能力大概是二氧化碳的300倍。

虽然大气数据表明N_2O在所有温室气体中只占很小比例，但是加州氮评估项目中也出现了一些更清晰的见解。例如，在所有以肥料的形式进入土壤的氮中，实际上只有大约一半随后被作物吸收利用，其它的都流失在周围环境里。“每一个进入加州的氮原子，”Tomich说，“有四分之一最终以硝酸盐的形式进入到地下水中。”

据《生态学议题》(*Issues in Ecology*)报告的合著者、目前担任美国国家科学基金会环境生物部主任的Alan Townsend说，氮污染研究工作面临的更大挑战是：这些研究依赖于间接监测氮流量。在2008年《科学》杂志的一篇文章中，Townsend和同事们认为，大量的不确定性会阻碍任何扼制活性氮命运的努力。他们认为大约氮总量的三分之二会积聚在土壤、植被和地下水中，在这里它可以被除氮化，生成简单的氮气然后排放到大气中，但这些不断积聚的氮的最终命运仍不清楚。

“活性氮被除氮化的速度越快，你就能够越快地将这些活性氮分子从其‘疯狂作案’中捉拿归案，把它放回到不会产生危害的地方，”Townsend说，“但是这一进程由于太细微而很难在任何尺度上衡量，例如实验室或条件控制的野外。”

Townsend和同事Stephen Porder在一份新的报告中指出，从地质角度来说，人类对自然界氮循环的大量干扰所持续的时间不过是一眨眼的功夫。因此我们只有一个很短的观察窗口，以此来预测这种干扰造成的最终环境后果，其“遗留问题将会延续几代人。”同时，活性氮生产在全球范围内加快并可能会这样持续下去，这取决于各个国家是否改变其农业战略。

尽管如此，Townsend仍认为《清洁空气法案》在减少大气活性氮上获得的巨大成功——美国环保署估计仅在2010年就防止了将近16.5万例的过早死亡——证明了在相对较短的时间内就可以取得如此成绩。“你可以看到这种方法是有成效的，并不需要某种形式的巨大的社会或经济剧变，”他说。

在这方面，他认为这些倡议比如SBX2 1和加州氮评估项目可以作为模板，使已经证明自身价值的政策获得公共和私人的支持。他说，“不仅仅是概述问题和获取数据，还要与所有利益相关者进行深入交流，寻求共同点和解决方案，这才是前行之道。”

Tim Lougheed，来自加拿大渥太华。1991年成为自由撰稿人，加拿大科学作家协会前任主席。他写作题材广泛，涉猎科学、技术、医学和教育方面。

译自*EHP* 120(5): A200–A203 (2012)
翻译：周 江

★本文参考文献请游览英文原文

原文链接
http://dx.doi.org/10.1289/ehp.120-a200