营养物质污染
对水道的持续威胁

自1970年代以来氮和磷的点源排放量已大幅下降，但非点源污染仍继续对水质造成严重威胁。

©Sean Brubaker/Water Rights/Corbis

1972年通过的《净水法案》（Clean Water Act）遏制了大量有毒有机污染物进入水道，大大改善了地表水的状况。但是42年之后，我们仍然未能显著减少河流、湖泊和海岸的两种主要污染物：营养氮和磷。尽管自2004年以来美国河流的氮污染总量已经有所下降，但许多水道的氮污染仍然十分严重，此外磷污染的总量明显上升。氮和磷的危害常常发生在源头数百或数千英里之外的地方，这使得氮、磷污染治理颇具挑战性。

为什么氮、磷污染如此难以得到控制？目前的监管和规划力度是否足以扭转这个局面？

营养物质过剩

营养物污染的基本原理很简单。在自然界氮和磷存在于土壤和水当中，此外氮也存在于我们呼吸的空气。氮和磷也被人为地添加到环境中，其中主要形式是肥料。然而，这些肥料在增强了田地里作物的生长能力的同时，也促进了其最终流入水道里的藻类和水生植物的生长。

当氮和磷超过一定水平时，会导致藻类生长速度超过生态系统的承受范围。藻类死亡的分解过程消耗氧气。营养物质污染也会对水下的沉水植物产生影响，但是以另一种形式：土壤冲蚀形成的富含营养物质的沉积物所形成的不透光表面减少了沉水植物的光照，进而导致其死亡。沉水植物死亡之后的分解过程同样也消耗氧气。

大范围的藻类繁殖可完全消耗水体中的氧，这种情况称为缺氧。缺氧杀死几乎所有无法逃离这些所谓“死亡区”的水生生物。弗吉尼亚海洋科学研究院（Virginia Institute of Marine Sciences）一项正在进行的研究显示，1995年到2007年之间海洋死亡区的面积增加了三分之一。尽管每年夏天在墨西哥湾新形成的缺氧区域面积有所不同，但平均而言，每年缺氧区域为近5500平方英里，约为康涅狄格州三分之一的面积。

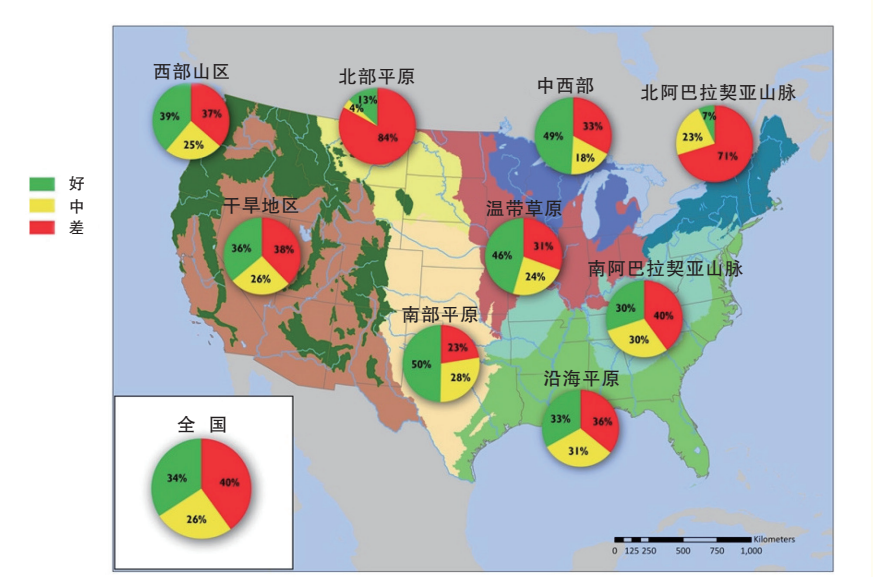
有害藻华（赤潮）产生的毒素也可以直接威胁人类健康。如果吸入或接触这些毒素，可引起皮肤刺激、胃痉挛、呕吐、恶心、腹泻、发烧、头痛、肌肉或关节疼痛、口腔水疱和肝损伤。当地水处理厂可能缺乏必需的设备对饮用水中的这些毒素进行清除。在这种情况下，只要供应水源中存在毒素，唯一一个安全的办法，就是寻找其他饮用水的来源。2014年7月发生的事件就是一个例子，当时数10万托莱多市（Toledo）居民面临“无水可饮”的局面。赤潮也对娱乐性捕鱼、商业捕鱼、商业贸易和旅游业有严重的经济冲击。美国环境保护署（EPA）估计，每年仅赤潮造成的捕鱼和划船活动减少就给美国旅游业带来了近10亿美元损失。

根据EPA最新的国内河流和溪流评估（National Rivers and Streams Assessment），如果按支持水生生物存活的能力来衡量水体质量，则美国约40%的河流和溪流磷水平升高，28%氮水平升高。而这些营养物质来自哪里呢？磷和氮的主要来源是非点源污染——各种来源的污染不断扩散，最终累积成了流域层面的营养物质污染问题。

尽管各个流域的营养物质相对污染量有所不同，但一般来说美国水道的非点源营养物质污染最主要还是来自农田的肥料和动物粪便浸出物。其他非点源营养物质污染包括暴雨积水夹带草坪肥料和宠物粪便形成的地表径流以及大气沉降物，其中大气沉降物中的营养物质污染很大一部分来自机动车尾气和燃煤、燃油电厂排放的废气。

个体农场也可能是点状污染源之一，这取决于他们是否直接将污水排放到水道中。联邦政府通过国家污染物排放消除系统对点状污染源进行控制，尽管自20世纪70年代以来这一系统显著降低了营养物质的排放量，然而在污水中仍含有由人的粪便、食物、某些肥皂及洗涤剂带来的大量氮和磷，而在污水处理过程中并不能完全去除这些氮和磷。此外，技术较落后的污水处理厂仍是相当部分的营养物质点源污染。

美国河流和溪流的磷污染



在EPA定义的九个生态区中有八个生态区里至少三分之一长度的河流和溪流中磷水平一致被评为差（即，磷水平高）。北部平原和阿巴拉契亚山脉地区被评为差的河流长度所占比例最高（分别为84%和71%）。南部平原生态区被评为好的河流最长（50%），只有23%长度的河流被认为磷水平高。
资料来源：EPA。由于四舍五入，百分比相加可能不等于100%。

最大日负荷总量方法（TMDL）

营养物质污染范围广、来源多，因此，美国政府要解决营养物质污染问题面临着政治、技术以及经济上的挑战。1972年通过的《净水法案》及后续的修改法案对点源排放的许多化学污染物设置了具体数字限值，然而磷和氮并不在监管的名单上其中。此外，该法案也没有纳入对非点源污染的监管。

《净水法案》第303节要求各州提交其辖区内受污染损害和威胁的水体清单，并确定建立TMDL的优先顺序。TMDL是通过计算在符合联邦水质标准条件下，该水体所能承受的污染物最大负荷量。TMDL是为反映如何使用特定水体而制定的。例如，对提供饮用水的湖泊可能会比仅用于娱乐的湖泊磷含量限制更严格。因此，虽然联邦政府没有对氮、磷污染进行统一限制，但可以把它们作为TMDL实施计划的一部分进行管理。

20世纪70年代和80年代，由于政府重点致力于将点源污染纳入《净水法案》，很大程度上忽视了TMDL方法。然而近年来，政府的注意力已经转向建立TMDL，以处理点源污染之外的其他污染源。

但建立TMDL的步骤不仅耗时而且昂贵。各州必须首先确定哪些水体不符合《净水法案》，然后确定建立TMDL的优先顺序。由于缺乏资金和人才，大多数的州机构仅能对一小部分水域进行足够稳定的检测以发现水的质量问题。

第三个步骤是为每种污染物建立TMDL。这一步可能需要花好几年，特别是像切萨皮克湾（Chesapeake Bay）这样的大型水体，切萨皮克湾流域包括6个州和哥伦比亚特区6.4万平方英里的面积。该地区有关部门通过开会敲定目标、行动和时间表。拟议的限

值必须提交给EPA以获批准。2000年开始计划在切萨皮克湾建立TMDL，直到2010年EPA才批准了该计划（切萨皮克湾的TMDL实际上是由92个切萨皮克湾潮段的小TMDL组成。）

最后，TMDL必须付诸实践。减少污染的目标是分阶段的，同样，在EPA批准TMDL计划之后可能需要好几年实现这一目标。就切萨皮克湾的TMDL而言，预计2017年将实现60%减少营养物和沉积物的目标，2025年实现100%目标。然而和大多数相同性质的复杂计划一样，实际的达标可能需要更长的时间，而且成本是惊人的。例如，马里兰州如果要全面落实其管辖范围内的切萨皮克湾TMDL，预计花费如下：农场主需要9.28亿美元，市政污水系统需要23.7亿美元，暴雨积水系统需要73.9亿美元，化粪池升级需要37.2亿美元。

最佳管理措施

处理营养物污染的手段不只限于TMDL。包括由美国农业部管理的美国土地休耕保护计划（Conservation Reserve Program, CRP）在内的联邦项目，给环境敏感土地退耕，实施植被保护措施的农场主直接支付补贴。EPA为各州提供资助，以修建、升级污水处理厂或支持州内各种非点源污染管理项目。

我们使用各种最佳管理措施（best management practices, BMP）减少来自城市的营养物质污染。蓄滞洪区、人工湿地、植物洼地以及生物滞留设施（如雨园）等技术都可以用于减慢暴雨积水，在营养物质进入水道之前进行生物降解。减少发达地区营养物质地表径流的措施包括扫集落叶、狗粪装袋和草坪肥料禁磷。而农业上采用的BMP完全不同，但已被证明有效，其中包括冬季种植土地覆盖作物、优化施肥时机和用量以及在河流沿岸建立植被缓冲区。

然而，即使经过几十年的研究，氮和磷在环境中如何相互作用这一领域仍然有许多未知。例如，最近关于苏必利尔湖（Lake Superior）的研究提示，降低磷负荷可能实际上降低了水生生物从水中去除氮的能力。然而作者指出，“这不应该被视为放松[磷]控制措施的理由。”相反，他们写道，该研究结果提示我们需要更多关注对氮、磷污染的联合控制——他们补充道，由于氮污染源往往比磷污染源更分散，联合控制很有挑战性。

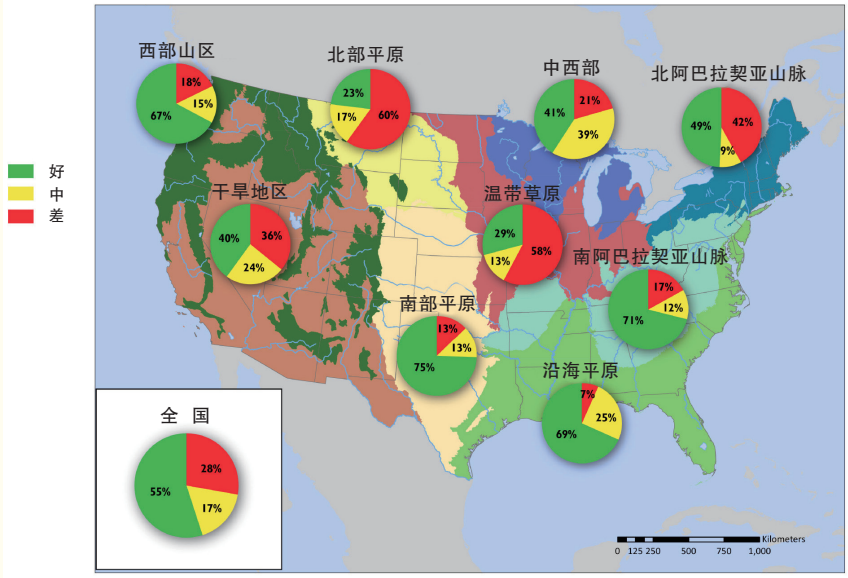
在农场主方面，政府的重心一直放在鼓励农场主自愿采用低污染的措施。这些方法通常使用财务、教育和技术援助作为刺激物。然而，调查表明，在关键的农业州如爱荷华州，总体参与率较低，而在参与的农场主中，在植被保护方面的投资趋小。根据2011年对爱荷华州农场主的一项民意调查，非盈利性的爱荷华政策项目的一份报告指出，51%的受访者在过去的10年中没有植被保护方面的支出，超过三分之一的受访者对许多爱荷华州的植被保护项目并不知情。

报告进一步指出，在联邦CRP中农场主少报了他们的土地面积。“爱荷华州纳入CRP的土地正在下降，从2007年的1,970,486英亩到2012年的1,525,012英亩，下降了近四分之一。”他们写道。“CRP登记土地量的下降与酒精的暴涨和玉米价格的上涨相吻合，这表明农场主重视经济效应这一底线影响其采取保护耕地措施的意愿。当[政府]的补贴低于租金时，保护耕地的做法很难实施。”

点源和非点源之间的营养物质（污染）交易是成本分摊的一种替代方式。在这种自发的系统，农场主通过实施减少营养物质负荷的环境保护措施来积累和转手信用。在同一流域的污水处理厂，通过购买农场主的信用而不是投资新技术，来达到联邦政府降低营养物质排放量的要求。

在长岛同一片流域有许多污水处理厂和农场，因此营养物质（污染）交易实施效果很好。Patrick Parentea是佛蒙特法学院的法学教授，也是环境和自然资源法律诊所的高级顾问，他指

美国河流和溪流的氮污染



许多地区氮污染的危害比磷污染更小。北部平原地区氮污染严重的河流长度所占比例最高（60%），随后是温带草原（58%），北阿巴拉契亚山脉（42%），和干旱地区（36%）。在4个生态区（沿海平原、南部平原、南阿巴拉契亚山脉和西部山区）的大部分河流和溪流被评为氮污染程度轻。
资料来源：EPA。由于四舍五入，百分比相加可能不等于100%。

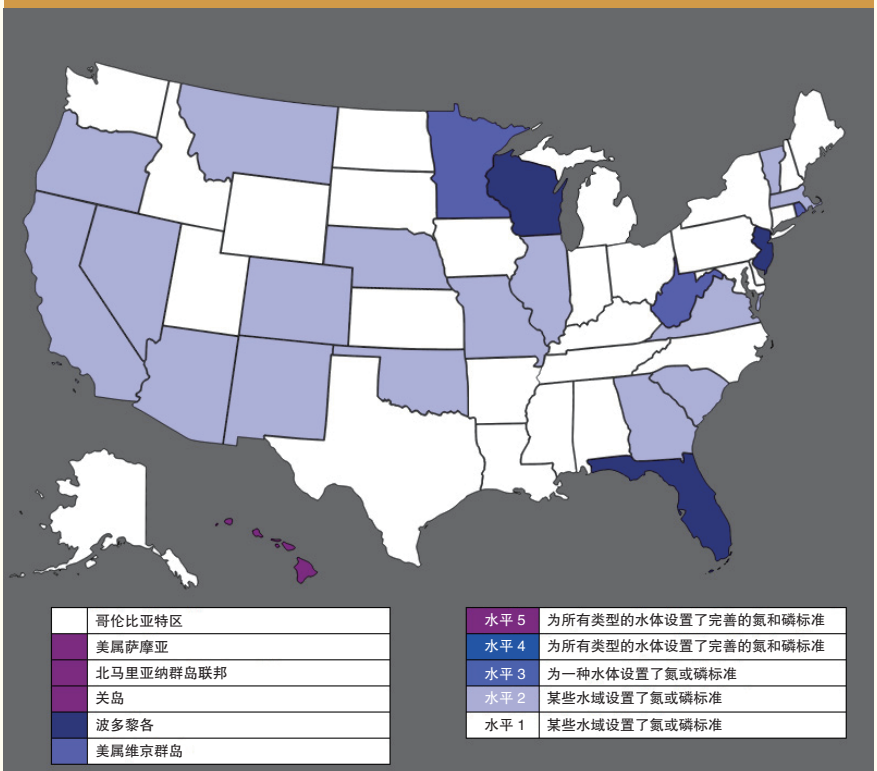
出目前在点源之间进行营养物质（污染）交易，主要集中在康涅狄格州公水处理工作场所。“已经有一些关于将非点源污染纳入方案的对话，”他说，“但时机还不成熟。”

但在其他流域如伊利湖西部的莫米谷（Maumee Valley），农场比仅有的几个污水处理厂排放的营养物质多得多，所以营养物质（污染）交易的机会有限。此外，营养物质（污染）交易项目很复杂，也需要时间来建立。

“农场主对营养物质（污染）交易既心怀希望又感到失望，” 宾夕法尼亚农业局政府事务顾问John Bell说，“宾夕法尼亚州建立一套合理的营养物质（污染）交易基本规则，但即使这样，也很难让农场主对营养交易感兴趣，因为他们采取环境保护措施得到的信用很有限。”他解释说，一个农场主可能采取措施减少了对流经其农场的溪流100磅的氮排放，但所获得的营养物质（污染）交易信用值只是可能对数百英里以外的水域产生影响。“很少有减少非点源污染的措施对整片流域有立竿见影的效果”，他说，“常常在开始实施措施若干年之后还是无法衡量其效果的好坏。”

一些专家认为，如果不设具体的氮和磷的水质标准，降低营养物质污染的努力将会落空。现在，近一半的州已经至少在州内一些水体建立了氮和/或磷具体的限值。夏威夷是唯一一个为所有类型水体建立了完善的氮、磷含量标准的州。这些州是否能够保持和执行有意义的标准仍有待观察。

各州对总氮量（N）和总磷量（P）的数值标准



这张地图概述了当前全国范围内 EPA 批准的总氮量和总磷量数值。根据各州提供的信息，在不久的将来将增加更多的标准。“水体类型“指的是 3 种类型的水体：湖泊 / 水库，河流、溪流和河口。
资料来源：EPA

John Manuel，定居于北卡罗来纳州Durham市，定期为《环境与健康展望》（*EHP*）撰稿，也是《北卡罗来纳海岸自由旅行者》（*Natural Traveler Along North Carolina's Coast*）和《独木舟者》（*The Canoeist*）的作者。

译自*EHP* 122(11):A304–A309 (2014)
翻译：李 杏

***本文参考文献请浏览英文原文**

原文链接

http://dx.doi.org/10.1289/ehp.122-A304

《环境与健康展望》中文版

《环境与健康展望》（*Environmental Health Perspectives*，以下简称*EHP*）是由隶属美国卫生与人类服务部（Department of Health and Human Services, DHHS）的国立卫生研究院（National Institute of Health, NIH）下属的环境卫生科学研究所（National Institute of Environmental Health Sciences, NIEHS）出版的专业学术月刊。为了让更多中文读者了解环境健康的信息，*EHP*将其英文版新闻、专家论坛以及评述栏目的部分文章翻译成中文。2001年6月，*EHP*的中文版问世。从2002年开始，中文版以季刊形式出版。从2004年起，*EHP*与上海市疾病预防控制中心正式合作出版中文版。

《环境与健康展望》读者服务部