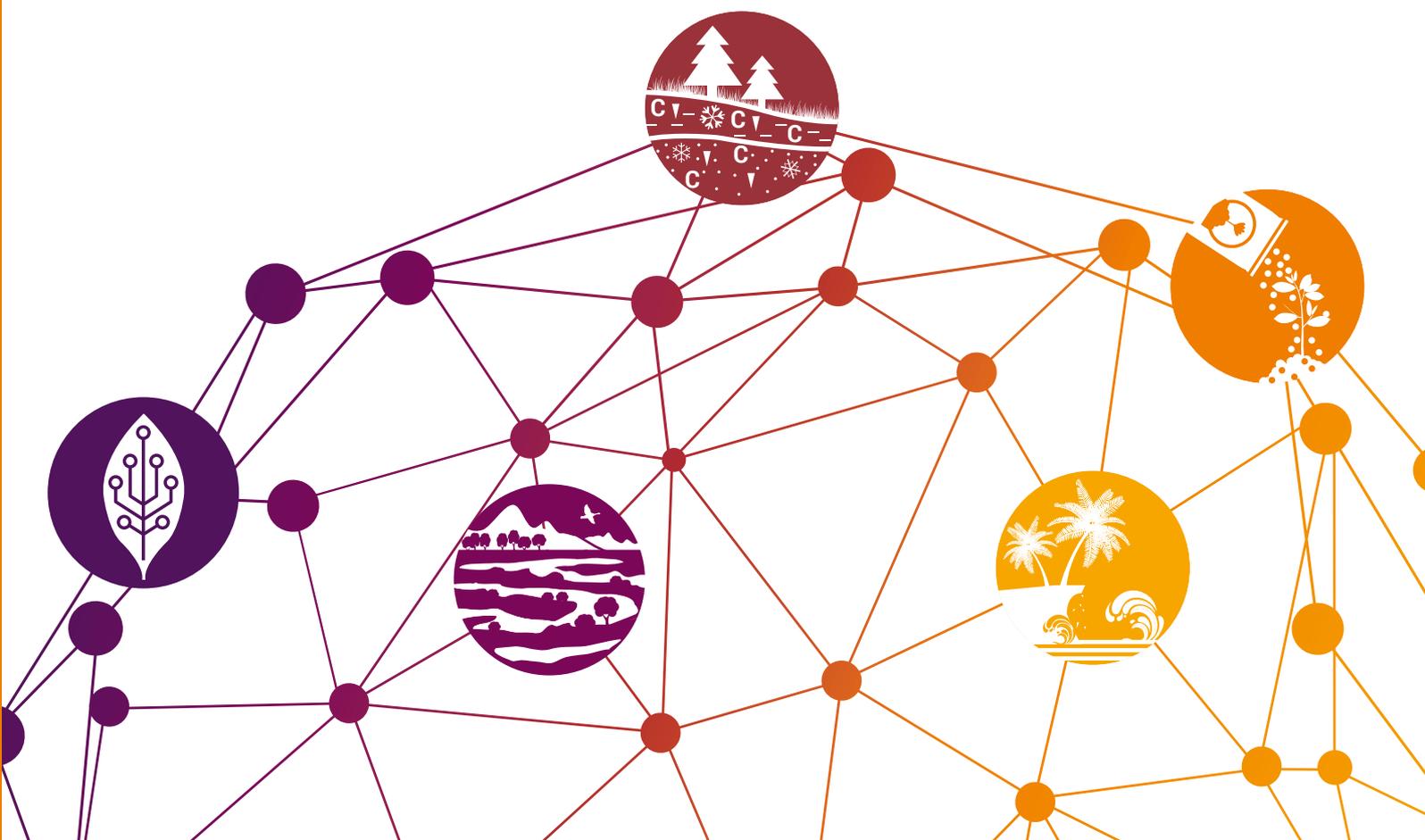


联合国
环境署



2018/19 前沿报告

全球环境的新兴问题



© 2019联合国环境署
ISBN: 978-92-807-3736-3
Job No: DEW/2220/NA

免责声明

本出版物可以全篇或部分复制，以任何形式用于教育或非营利目的，无需版权许可，但请注明来源。联合国环境署将感谢使用者向我们寄送任何使用本报告而形成的新的出版物。

未经联合国环境署事先书面许可，不得将本出版物再次出售或用于任何其他商业目的。如需申请许可，请向联合国环境署通信司司长提出申请，说明复制的目的和范围。通信地址为：P. O. Box 30552, Nairobi 00100, Kenya。

本出版物所采用的名称与材料的呈现方式并非表明联合国环境署关于任何国家、领土或城市或其当局的法律地位或其权力的任何意见，亦非关于其边界划定的任何意见。关于出版物中地图用途的一般性指导，请参阅：<http://www.un.org/Depts/Cartographic/english/htmain.htm>

本出版物中提到的商业公司或产品并不代表联合国环境署的认可。禁止在宣传或广告中使用本出版物中关于专利产品的信息。

© 地图、照片和插图来源请参照说明。

建议引用格式

联合国环境署(2019)。《2018/19年前沿报告》：全球环境的新兴问题。联合国环境署（UNEP），内罗毕，肯尼亚

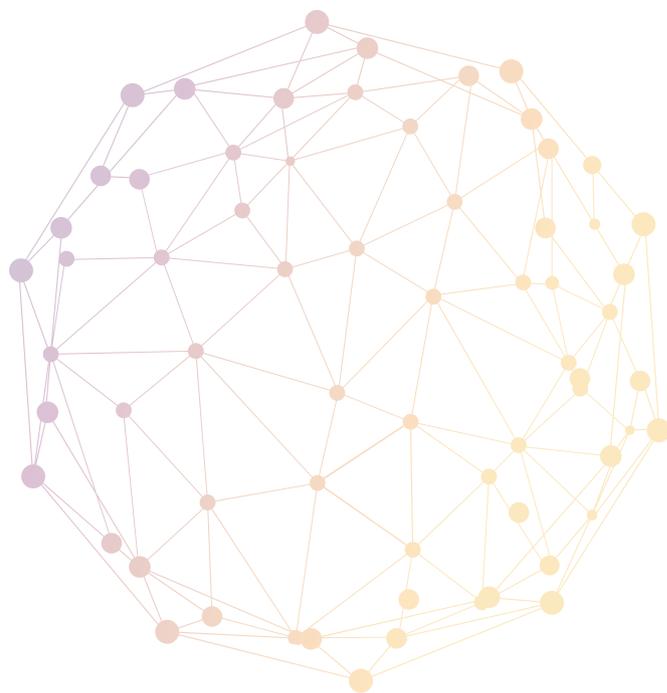
Production

Science Division
UN Environment
P.O.Box 30552
Nairobi, 00100, Kenya
电话：(+254) 20 7621234
电子信箱：publications@unenvironment.org
网站：www.unenvironment.org

联合国环境署致力
于在全球倡导环保做法，
并从自身行为做起。我们的
出版发行政策旨在减少联合
国环境署的碳足迹。

2018/19 前沿报告

全球环境的新兴问题





目录

	前言	7
	致谢	8
	合成生物学：重新设计整合环境	10
	机遇和挑战	10
	重写生命代码	12
	重新定义应用：从实验室到生态系统	16
	用智慧创新	18
	参考文献	20
	生态连接度：搭建保护生物多样性的桥梁	24
	把支离破碎的生态系统重新连接起来	24
	推动破碎化的力量	26
	推广连接度解决方案	30
	为未来的连接度设定目标	32
	参考文献	34
	多年冻土区泥炭地：拯救气候变暖下不断缩减的湿地生态系统	38
	加快北极的变革	38
	融化的永久冻土、腐烂的泥炭和复杂的相互作用	40
	增进对多年冻土区泥炭地的认识	44
	知识重点和网络扩展	46
	参考文献	48
	氮固定：从氮循环污染到氮循环经济	52
	全球氮挑战	52
	氮的已知问题和未知的未知问题	54
	政策碎片化和循环经济解决方案	58
	迈向整体式的国际氮处理方法	60
	参考文献	62
	气候变化适应不良：避免陷阱	66
	定义气候变化背景下的适应和适应不良	66
	大规模适应不良	68
	在1.5°C的受限制未来避免适应不良	73
	参考文献	74



前言



在20世纪第一个十年，弗里茨·哈伯（Fritz Haber）和卡尔·博世（Carl Bosch）这两位德国化学家开发出了一种低成本、大规模生产合成氨的方法。他们的发明推动了氮肥的大规模生产，从而改变了全世界的农业。这也标志着我们开始长期干扰地球的氮平衡。现在每年估计有价值2000亿美元的活性氮损失到环境中。活性氮造成我们的土壤退化，污染我们的空气，造成“死区”蔓延和有毒的藻华在我们的水道中爆发。

难怪很多科学家认为“人类世”应该成为当前地质时代的正式名称。在短短几十年时间里，人类导致全球升温的速度比自然升温速度快170倍。我们还故意改变了地球75%以上的陆地表面，并永久改变了全世界93%以上河流的流动。我们不仅引起了生物圈的剧变，而且现在也有能力重新搭建（甚至从零开始创造）生命的构成单元。

每年，由来自世界各地的科学家、专家和机构组成的网络与联合国环境署携手合作，以确定和分析将对我们的社会、经济和环境产生深远影响的新兴问题。其中一些问题与能带来惊人应用和具有不确定风险的新技术有关，而另一些问题则是长期存在的问题，例如野生陆地景观的破碎化和长期冻土的融化问题。另一个问题——氮污染，代表了人类在生物圈中数十年的活动产生的意外后果。虽然这里分析的最后一个问题——气候变化适应不良，凸显了我们未能充分和恰当地适应我们周围不断变化的世界。

但还是要报告一些好消息。正如您稍后将看到的一样，应对氮管理全球挑战的整体式方法正在开始出现。在中国、印度和欧盟，我们正在看到减少氮肥损失和提高氮肥效率的新举措。最终，氮和其他有价值的营养素和材料的回收和再循环利用能帮助我们以清洁和可持续的方式耕种，这是真正的循环经济的标志。

前沿报告中审查的问题应该提醒我们，无论我们何时干涉自然，无论我们在全球范围还是在分子层面进行干涉，我们都在冒着使我们的地球家园遭受长期影响的风险。但通过具有远见的行动和共同努力，我们能够防患于未然，并制定能够惠及我们所有人以及子孙后代的解决方案。

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Joyce Msuya". The signature is stylized and fluid.

乔伊斯·姆苏亚(Joyce Msuya)
代理执行主任
联合国环境署

致谢

合成生物学：重新设计整合环境

首席作者

Bartłomiej Kolodziejczyk, H2SG Energy Pte. Ltd., 新加坡
Natalie Kofler, 耶鲁生物圈研究所, 耶鲁大学, 康涅狄格州, 美国

撰稿人和审稿人

Mariana Araya, 《生物多样性公约》, 蒙特利尔, 加拿大
James Bull, 自然科学学院, 德克萨斯大学奥斯汀分校, 德克萨斯州, 美国
Jackson Chamber, 生物统计与计算生物学系, 康奈尔大学, 纽约州, 美国
Chen Liu, 生物统计与计算生物学系, 康奈尔大学, 纽约州, 美国
Yongyuth Yuthavong, 泰国国家科学技术发展署, 巴吞他尼, 泰国

生态连接度：搭建保护生物多样性的桥梁

首席作者

Gary Tabor, 大型陆地景观保护中心, 蒙大拿州, 美国

撰稿人和审稿人

Maya Bankova-Todorova, 穆罕默德本扎耶德物种保护基金, 阿布扎比, 阿拉伯联合酋长国
Camilo Andrés Correa Ayram, 亚历山大冯洪堡生物资源研究所, 波哥大, 哥伦比亚
Leticia Couto Garcia, 马托格罗索联邦大学, 大坎普, 巴西
Valerie Kapos, 联合国环境署-世界保护监测中心, 剑桥, 英国
Andrew Olds, 科学与工程学院, 阳光海岸大学, 墨尔本, 澳大利亚
Ileana Stupariu, 地理系, 布加勒斯特大学, 罗马尼亚

多年冻土区泥炭地：拯救气候变暖下不断缩减的湿地生态系统

首席作者

Hans Joosten, 格赖夫斯瓦尔德大学 / 格赖夫斯瓦尔德大学沼泽中心, 格赖夫斯瓦尔德, 德国

撰稿人和审稿人

Dianna Kopansky, 联合国环境署, 内罗毕, 肯尼亚
David Olefeldt, 农业、生命和环境科学学院, 埃德蒙顿, 阿尔伯塔大学, 加拿大
Dmitry Streletskiy, 地理系, 乔治华盛顿大学, 华盛顿特区, 美国

氮固定：从氮循环污染到氮循环经济

首席作者

Mark Sutton, 生态与水文中心, 爱丁堡, 英国
Nandula Raghuram, 德里洲际大学, 新德里, 印度
Tapan Kumar Adhya, 卡林加工业技术研究所, 布巴内斯瓦尔, 奥里萨邦, 印度

撰稿人和审稿人

Jill Baron, 美国地质调查局, 科罗拉多州, 美国
Christopher Cox, 联合国环境署, 内罗毕, 肯尼亚
Wim de Vries, 瓦格宁根大学, 瓦宁根, 荷兰
Kevin Hicks, 斯德哥尔摩环境研究所, 约克, 英国
Clare Howard, 生态与水文中心, 爱丁堡, 英国
Xiaotang Ju, 农业资源与环境科学学院, 中国农业大学, 北京, 中国
David Kanter, 艺术与科学学院, 纽约大学, 纽约州, 美国
Cargele Masso, 国际热带农业研究所, 伊巴丹, 尼日利亚

Jean Pierre Ometto, 国家太空研究院, 圣若泽多斯坎波斯, 巴西

Ramesh Ramachandran, 国家可持续海岸管理中心, 环境、森林和气候变化部, 金奈, 印度

Hans Van Grinsven, 荷兰环境评估署, 海牙, 荷兰

Wilfried Winiwarter, 国际应用系统分析研究所, 拉克森堡, 奥地利

气候变化适应不良：避免陷阱

首席作者

Catherine McMullen, 斯德哥尔摩环境研究所, 曼谷, 泰国

撰稿人和审稿人

Thomas Downing, 全球气候适应伙伴关系, 牛津, 英国

Anthony Patt, 环境决策研究所, 苏黎世联邦理工学院, 苏黎世, 瑞士

Bernadette Resurrección, 斯德哥尔摩环境研究所, 曼谷, 泰国

Jessica Troni, 联合国环境署, 内罗毕, 肯尼亚

特别鸣谢：

Alexandra Barthelmes和Cosima Tegetmeyer, 格赖夫斯瓦尔德沼泽中心, 德国; Marin Klinger, 国家冰雪数据中心, 科罗拉多州, 美国; Salome Chamanje、David Cole、Nicolien Delange、Angeline Djampou、Philip Drost、Virginia Gitari、Jian Liu、Ariana Magini、Nada Matta、Pauline Mugo、Susan Mutebi-Richards、Shari Nijman、Andreas Obrecht、Samuel Opiyo、Moses Osani、Roxanna Samii、Rajinder Sian、Nandita Surendran和Josephine Wambua, 联合国环境署

制作顾问

Maarten Kappelle和Edoardo Zandri, 联合国环境署

制作团队

主编：Pinya Sarasas, 联合国环境署

技术支持：Allan Lelei, 联合国环境署

文字编辑：Alexandra Horton, 英国

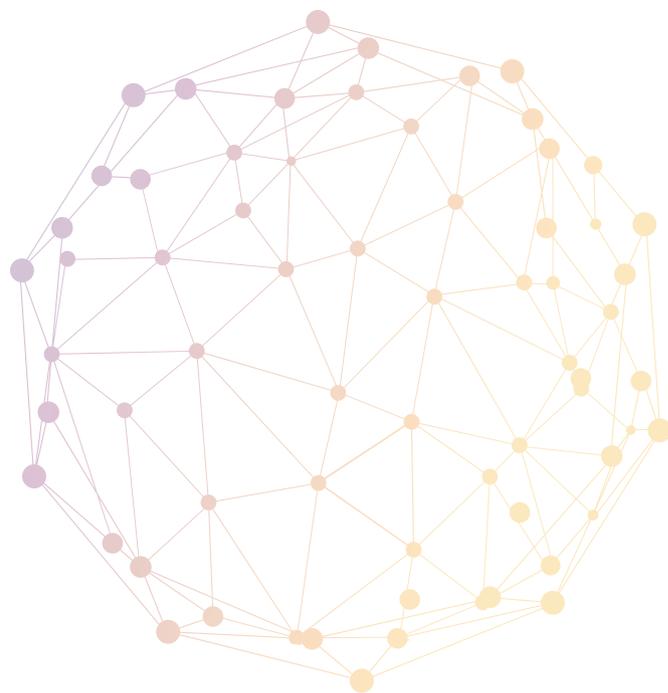
图形、设计和排版

美术设计：Audrey Ringler, 联合国环境署

制图：Jane Muriithi, 联合国环境署

印制

联合国内罗毕办事处/印刷服务科/内罗毕, ISO 14001:2004-认证





图片来源: oticki/Shutterstock.com

氮固定： 从氮循环污染到氮循环经济

全球氮挑战

《联合国环境署2014年年鉴》强调了环境中过量活性氮的重要性。¹ 其结论令人震惊。这不仅是因为氮污染的程度和复杂性，也因为在减少氮污染方面的进展甚微。确定的解决方案很少得到扩大，而世界继续排放氮污染，很大程度上导致了空气质量下降，陆地和水生环境恶化，气候变化恶化以及臭氧层枯竭。²⁻¹⁰ 这些影响阻碍了可持续发展目标的进展，因为它们影响人类健康、资源管理、生计和经济。¹¹⁻¹⁵ 但还有希望的迹象。过去四年，氮污染管理方法发生了变化。这些方法包括消费和生产的新思路，以便认真解决氮问题。¹⁶⁻²⁴

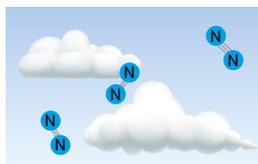
氮是地球大气中极为丰富的元素。以 N_2 分子形式出现的氮是无害的，我们呼吸的每一口空气中都有78%的氮。两个氮原子通过强的三键 ($N \equiv N$) 紧密结合，结构非常稳定并且不易发生化学反应。氮气使大气层变得安全，使生命能够在其中茁壮成长，同时避免了过多氧气容易燃烧的后果，这一切都令地球受益。对氮在环境方面的兴趣集中在将氮气 (N_2) 转化为其他能发生化学反应的形式。为简单起见，科学家将其他所有形式的氮称为“固定氮”或“活性氮” (Nr)。^{11,25} 活性氮有许多类型，效果各不相同，有的有益，有的有害——这就是使情况变得复杂之处。活性氮对地球上的所有生命都至关重要。例如，氨 (NH_3) 是氨基酸、蛋白质、酶

和脱氧核糖核酸的基础，因此是所有生命形式代谢的核心。类似地，一氧化氮（NO）是重要的生物信号传导化合物，而铵（ NH_4^+ ）和硝酸盐（ NO_3^- ）是植物生长必需的氮的主要营养素形式。这表明活性氮化合物的主要效益在于它们有助于生产食物和动物饲料。人类通过使用哈伯-博世人工“固氮”过程大规模扩大了氨、尿素和硝酸盐等化肥的生产，以维持不断增长的世界人口。²⁶ 同时，人类还受益于土壤中与豆科作物根部有关的专门细菌，它们能天然对氮气进行生物固定，使之转化为活性氮。

除了这些效益以外，还必须指出存在氨、硝酸盐、一氧化氮（NO）、氧化亚氮（ N_2O ）的大量损失和许多其他形式的氮污染，它们会对环境造成多重影响。这些污染可能在使用肥料后马上发生，而动物

粪便、人类排泄物和其他有机废物也会导致大量活性氮损失到环境。虽然人们认为从生物固氮损失到环境中的活性氮的比例小于许多从动物和人体排出后的肥料损失到环境中的活性氮的比例，但两种来源都会导致活性氮污染。活性氮也是人类活动的副产品。例如，化石燃料和生物质燃烧过程释放一氧化氮（NO）和二氧化氮（ NO_2 ），统称为氮氧化物（ NO_x ）。尽管在减少车辆和能源生产排放的氮氧化物方面付出了巨大努力，但世界上快速发展的地区的排放仍在不断增加。^{6,12} 总的来说，人类正在生产活性氮的混合物，它威胁着健康、气候和生态系统，使氮成为人类面临的最重要的污染问题之一。然而，问题的严重程度在很大程度上仍是未知的，而且未在科学界以外得到承认。

环境中不同形式的氮



氮气 (N_2)

来源

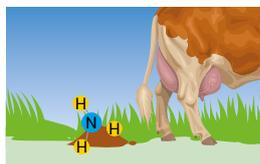
在我们呼吸的空气中，氮气含量占78%

益处

为地球的生命维持稳定的大气。它使天空呈蓝色。

影响

氮气无害，化学性质不活跃



氨 (NH_3)

来源

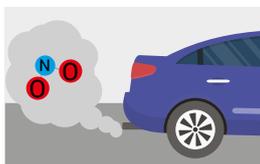
粪肥、尿、肥料和生物质燃烧

益处

氨基酸、蛋白质和酶的基础。氨常用作肥料。

影响

导致富营养化，影响生物多样性。它在空气中形成颗粒物，影响健康。



一氧化氮 (NO) 和二氧化氮 (NO_2)

来源

交通、工业和能源部门的燃烧。NO和 NO_2 统称为 NO_x 。

益处

NO是人体生理学不可缺少的。 NO_2 没有已知的益处。

影响

NO和 NO_2 （或 NO_x ）是主要的空气污染物，能引起心脏病和呼吸道疾病。



硝酸盐 (NO_3^-)

来源

废水、农业和氮氧化物氧化

益处

广泛应用于化肥和炸药中

影响

在空气中形成颗粒物，并影响健康。它会导致水的富营养化。



氧化亚氮 (N_2O)

来源

农业、工业和燃烧

益处

用于火箭推进剂并作为笑气用于医疗程序

影响

氧化亚氮是一种暖化效能比二氧化碳强300倍的温室气体。它还消耗平流层臭氧。

氮的已知问题和未知的未知问题

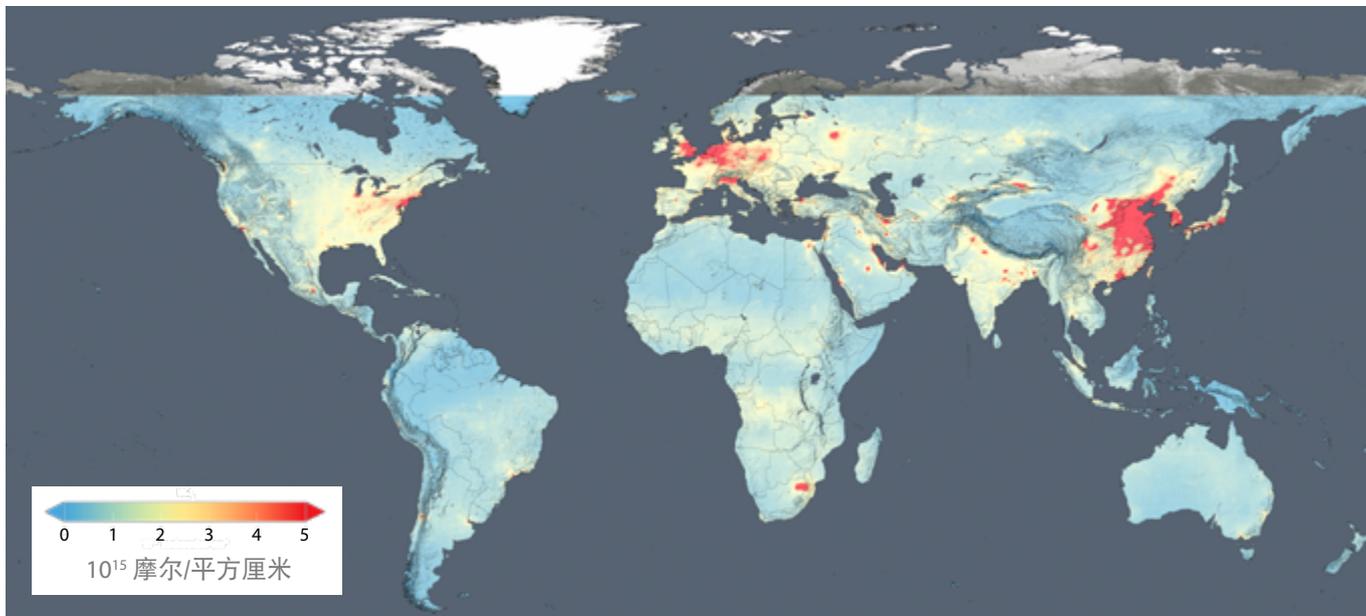
氮化合物的循环和人类的影响都有充分的文献记载。^{4,12,27,28} 然而，与碳在气候变化中的作用相比，很少有关于对氮采取行动的必要性的公开辩论。城市和农业区域上空空气中的活性氮化合物含量的增加是可测量的，例如氮氧化物、氨和细颗粒物，或PM_{2.5}。在全世界几个地区的农业区的地下水中，以及污水很少得到处理或根本没有处理的城市下游的河流中，升高的硝酸盐水平都可以量化。温室气体二氧化氮的大气浓度正在加速累积。这些都传递出明确的信息：人类正在大规模改变全球氮循环，造成多种形式的污染和影响，从地方到全球范围，活性氮成为了要解决的主要污染物。²²

欧洲氮评估确定了氮污染的五个主要威胁：水质、空气质量、温室气体平衡、生态系统和生物多样性

以及土壤质量。⁴ 它强调氮污染本身不是一个新问题，但氮管理需要成为许多现有环境问题解决方的一部分。在粮食生产方面，全世界氮的使用效率极低。^{20,29} 如果考虑整个食物链，在添加到农业的活性氮中，只有约20%最终进入了人类的食物。^{11,17} 这意味着令人担心的80%的活性氮被浪费掉了，它们以污染和氮气的形式进入了环境，表明活性氮污染是宝贵资源的巨大损失。

虽然过去的工作集中在用于不同形式的活性氮的分散方法，但把它们放在一起考虑有几个好处。首先，它能使我们开始研究活性氮效益和不同类型的活性氮污染之间的协同作用并进行权衡。其次，也是同样重要的是，它鼓励我们量化氮污染造成的所有影响的社会成本，以便为政策和公众提供信息。^{13,30} 成本估算能帮助指导缓解政策，但是，活性氮污染的真实成本实际上是已知的未知问题，因

2014年对流层中二氧化氮（NO₂）的平均浓度



二氧化氮是主要来自汽车、发电厂和工业活动排放的气体。二氧化氮和其他氮氧化物与其他空气污染物发生反应，形成有害的地面臭氧、酸雨和颗粒物。

图片来源：NASA Goddard Space Flight Center

视频：拯救大湖，使它们免受有毒藻的侵害



视频链接：<https://www.youtube.com/watch?v=b6JzL4NG26k>

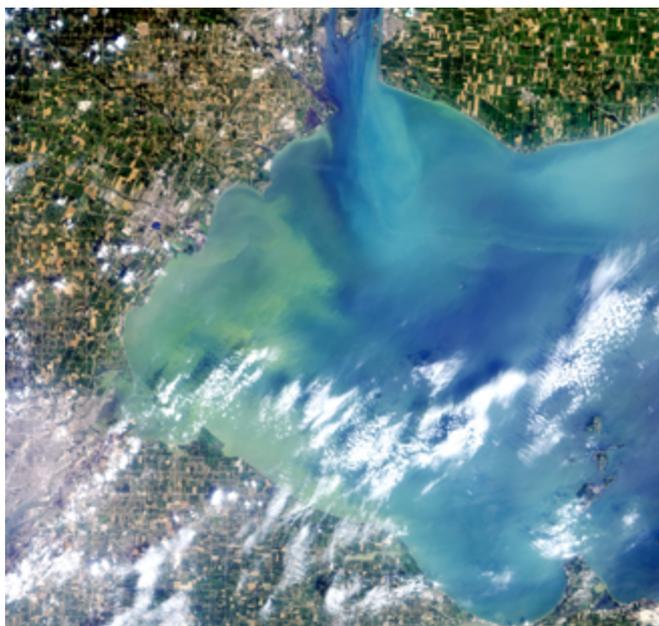
© PBS NewsHour

照片：伊利湖东南部皮利岛的藻华

图片来源：Tom Archer / Michigan Sea Grant (www.miseagrant.umich.edu)

为影响往往根本“无法同单位度量”，也就是说，很难找到一个共同的衡量标准。对健康、生态系统和气候成本进行比较就像试图比较苹果和橙子。根据人们减少活性氮污染风险的意愿或对生态系统和医疗保健服务的成本估算获得的估计值仍然能提供信息，并表明全球的成本约为每年3400亿美元至34000亿美元。¹¹

然而，一种简单得多的计算可能更有说服力。每年全球约有2亿吨活性氮资源以活性氮和氮气的形式进入环境。^{11,28} 如果我们用每公斤氮1美元的名义化肥价格乘以这个数字，那么每年的现金损失总额约为2000亿美元。这体现了采取行动的强烈动机。对于活性氮过少的地区而言，这一讯息也息息相关，例如撒哈拉以南非洲，在那里减少活性氮污染将有助于用有限的活性氮源进一步支持粮食生产。³¹ 把活性氮化合物转化回氮气（称为“反硝化作用”）没有提供避免活性氮污染的安全方法。相反，它意味着需要投入新的活性氮，这往往会增加污染。实际上，如果要提高整个经济范围内的氮利用效率（NUE），就需要减少所有的氮气和活性氮损失。



2014年8月3日，加拿大和美国之间的伊利湖西部的藻华（用奶绿色显示）。伊利湖频繁爆发的藻华是由含有肥料和粪便的农业径流、城市污水排放和大气沉降造成的氮和磷负荷导致的。

图片来源：Jeff Schmaltz / NASA Goddard Space Flight Center

视频：人类对全球空气质量的影响



视频链接：https://www.youtube.com/watch?time_continue=7&v=aMnDoXuTGS4

© NASA Goddard Space Flight Center

图片来源：Doin / Shutterstock.com

运输、能源和工业部门的化石燃料燃烧

煤、石油和天然气的高温燃烧释放出大量一氧化氮 (NO) 和二氧化氮 (NO₂) 形式的活性氮 (N_x)，统称为氮氧化物。

运输部门贡献了65%以上的氮氧化物排放量。

化石燃料燃烧占被人为固定为活性氮的氮气的13%



肥料生产

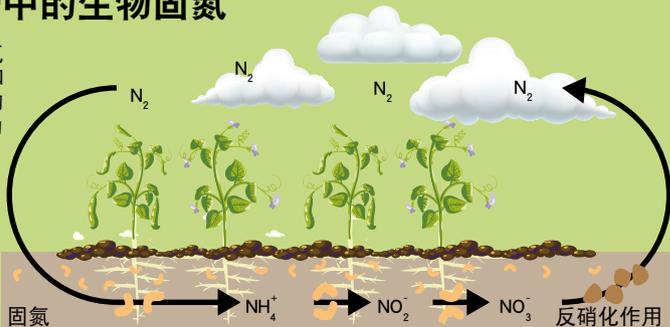
100多年前发明的哈伯-博世法满足了日益增长的大规模工业生产活性氮肥料和氨基炸药的需求。就像细菌的天然固氮一样，它人为地把大气中的氮气转变成氨 (NH₃) 固定下来。

肥料生产占被人为固定为活性氮的氮气的63%



作物栽培中的生物固氮

自然界中，氮气可以通过闪电和固氮细菌的生物固氮作用转化为活性氮

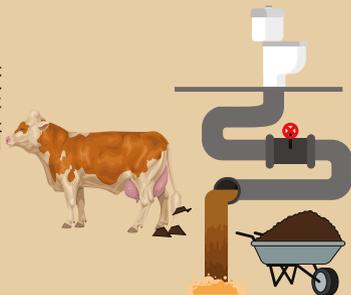


通过厌氧菌的反硝化作用，也可以将活性氮转化回氮气。这些自然过程保持了氮的平衡循环，但是增多的固氮作物（如豆类）耕种显著增加了输入的活性氮和损失到环境的活性氮。

作物生产过程中被转化为活性氮的氮气的24%

废物

食物生产和化石燃料燃烧是减轻活性氮排放的关键，除此之外，废物管理在防止更多活性氮逐级进入环境方面也发挥了重要的作用。



与污水和废水不同，大量的食物垃圾是可以避免的。

污水、废水和食物垃圾中含有蛋白质。约16%的蛋白质是氮。



谷物、水果、蔬菜、根茎和块茎构成了最大的食物损失和浪费。

每年全球生产的供人类食用的食物中约有1/3被损失或浪费掉

氮连锁效应

空气中78%
是氮气

氧化亚氮 (N_2O)
是一种暖化效能比
二氧化碳强300倍的
温室气体。它还会破坏
臭氧层。

氮氧化物
和氮氧化物影响城市
空气质量。急性和慢性接触
二氧化氮与呼吸和心血管疾病
以及死亡率有关。儿童、
老年人和哮喘患者容易受
二氧化氮的伤害。

近80%的人为
氧化亚氮排放
来自农业。

全球80%的
氨 (NH_3) 排放
来自人类活动，主要
是化肥使用和畜牧业。

氨和硝酸反应
在颗粒物中形成
硝酸铵，增加呼吸
和心脏病的风险。

活性氮的排放会
与雨水混合产生
硝酸雨

50%添加到农田
的氮肥最终会造成
污染，或者通过
反硝化作用变回
氮气被浪费掉了。

农作产生的硝酸盐
(NO_3^-) 会通过土壤渗透到
地下水中，影响饮用水
供应的质量，对人类健康
构成重大风险

活性氮富集
加剧了富营养化，
导致淡水和海洋环境中
出现有害的藻华、死区
和生物多样性丧失。

2016年，全世界
使用了1.05亿吨氮肥，
相当于420万卡车
肥料。

长期施用铵基肥料
会使土壤变酸，对
作物生产造成
不利影响

氮污染导致
富营养化、土壤酸化
和生物体的直接毒性，
降低物种丰富度
和多样性。



政策碎片化和循环经济解决方案

正如环境相和各种活性氮形式已使氮科学变得支离破碎一样，氮政策也属于这种情况。活性氮的影响跨越多个政策领域，如空气污染、气候、淡水和海洋政策、生物多样性、健康和粮食安全。这种碎片化在许多国家的国内政策中广泛存在，在可持续发展目标（SDG）中也同样明显。对可持续发展目标和基本指标的审查表明，氮在几乎所有地方都是有关的，但几乎同样不显眼。目前仅在可持续发展目标14.1关于水下生命的拟议指标中制定与氮有关的指标。³² 目前尚未采纳把氮利用效率或氮损失纳入可持续发展目标指标的提案。^{20,33}

在政策权衡中可以很容易看到这种政策碎片化在整个氮循环中的后果。例如，欧盟减少水的硝酸盐污染的政策导致禁止在冬季“封闭期”内施用粪肥。然而，该政策也导致了春夏季粪肥施用量的增加，从而导致大气氨浓度峰值升高。³⁴ 仅有几个欧盟国家通过要求施用氮排放低的粪肥避免了这种时间效应。³⁵ 另一个例子涉及在室内养牛以减少与气候相关的二氧化氮排放的建议。然而，即使采用最佳技术措施减轻排放，这种做法通常也会导致氨排放增加。³⁶ 此种权衡也和燃烧源有关。例如，在20世纪90年代，为减少氮氧化物而引入的催化剂增加了一氧化二氮和氨的排放。

这些例子说明迫切需要将对多种威胁的氮科学和政策结合起来。^{11,30,37} 例如，中国政府的2015年“肥料使用量零增长行动方案”旨在到2020年防止合成肥料的使用量增长，同时不减少粮食产量，这将限制所有形式的活性氮污染。有人建议下一步应重点关注与农场规模、创新和信息转移有关的社会经济障碍。³⁸

也很容易设想将农业中的氮循环转变为氮循环经济模型。在其中提高效率和减少肥料、生物固氮、尿液和粪便造成的损失，可使更多新鲜的氮能够到达



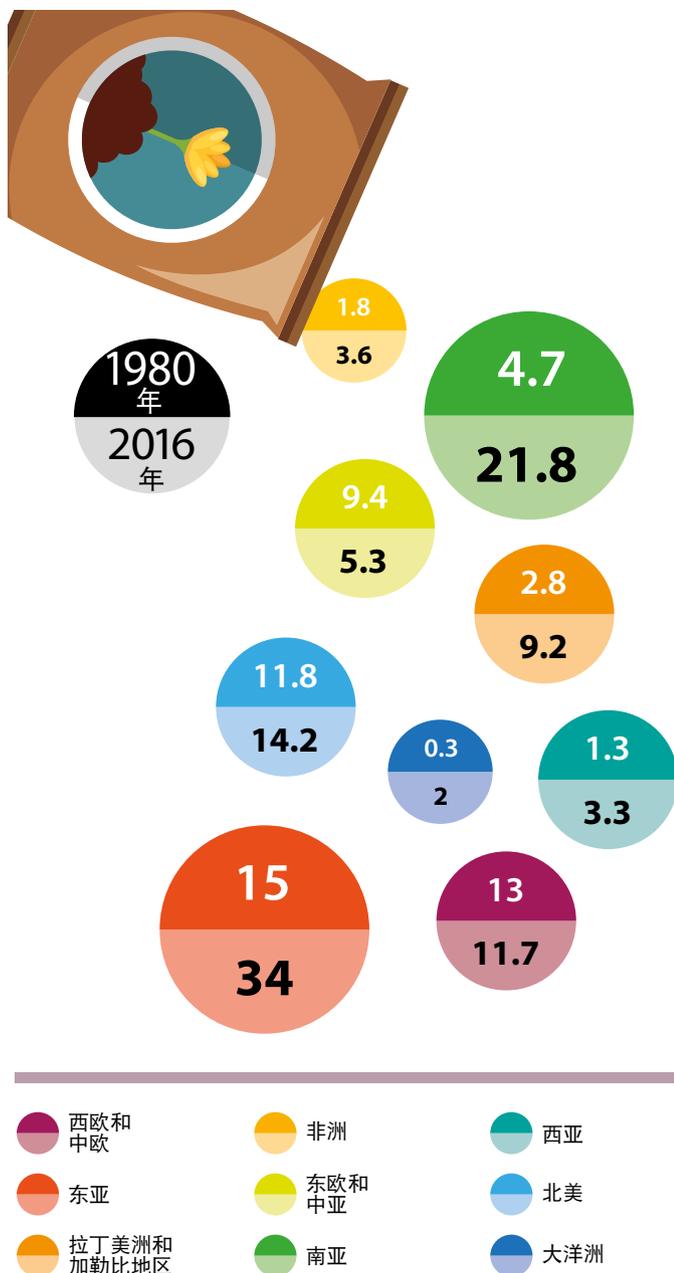
氮、营养素和循环经济

欧盟于2015年通过的循环经济一揽子计划旨在最大限度地提高包括生产、消费、废物管理和二次原材料回收在内的价值链各环节的资源利用效率。^{42,43} 该计划承认有机肥料和用废物制成的肥料的管理和贸易是回收和再利用生物营养素（如氮和磷），使它们重新回到欧盟经济中的关键。新法规鼓励使用国内可用的生物废物、动物副产品（如干燥粪肥或粪肥残渣）和其他农业残留物持续和创新地生产有机肥料。目前在欧盟内部只有5%的有机废物材料被回收利用并用作肥料。实现生物肥料的自由跨境流动将在欧盟内部创造新的二级原材料市场空间和供应链。据估计，这将创造约12万个工作岗位。预计从生物废物中回收氮会减少或替代对合成氮肥或无机氮肥的需求，这些肥料的生产具有很高的碳足迹和能量足迹。同时，这将有助于进一步减少损失到环境的活性氮。

为了氮和其他营养素的循环经济动员始于农场，在这里减少氮的损失可以更有效地提供营养素，以支持作物生长。这方面的主要需求是提供实用工具，以指导农民减少氮投入，从而减少氮污染造成的损失，这是通过实施减缓方法来实现的。应通过适当的土壤测试提供支持，以使农民有信心微调营养素水平。

然而，在生产具有附加值的、可销售的产品时增加氮和其他营养素的再利用也有巨大潜力。正如重大投资正在改变社会使之转向“低碳经济”（例如通过可再生能源）一样，氮的价值意味着通过对“氮循环经济”投资产生的重大经济机会。

1980年和2016年所有类型氮肥的区域消费量（百万公吨）



数据来源: 国际化肥工业协会 (<https://www.ifostat.org/databases/plant-nutrition>)

期望的食品和生物能源产品。与此同时，将牲畜和人类排泄物再加工成新肥料为销售再生肥料产品提供了机会。

对于氮氧化物的燃烧源，情况则有很大不同，因为现有的所有技术，例如催化还原和非催化还原，都集中在将氮氧化物脱氮使之转化为氮气。但这意味着巨大的资源损失。如果把全球氮氧化物排放量乘以活性氮的肥料价格，那么全球每年将获得价值500亿美元的资源，这表明需要重新捕获氮氧化物，以得到硝酸盐的技术。^{11,39}

在印度，财政观点也为政府的政策提供了依据，政策要求从2016年开始所有尿素肥料表面都涂上印度楝树油，以减少损失到环境的活性氮和对未用于农业的尿素补贴造成的金融漏损。同样的原则也是印度总理2017年11月呼吁农民到2020年将化肥使用量减半，以及为印度一些州的零预算自然农业（ZBNF）提供政府支持的基础。零预算自然农业运动的重点是避免从外部投入昂贵的化肥和农药，帮助农民避免债务，同时促进改善土壤有机质、土壤生物学和生产力的有机机会。在普拉得什邦，法国巴黎银行（BNP Paribas）、联合国环境署（UNEP）和世界农林中心国际复合农林业研究中心之间的伙伴关系正在通过可持续印度财务基金（SIFF）支持在数千名满怀热情的农民中迅速扩大零预算自然农业的规模。政府偿还用于支持投资和扩张的贷款是这使种创新方法的基础，因为当化肥使用量减少时，需要的化肥补贴就要少得多。^{40,41}

迈向整体的国际氮处理方法

鼓舞人心的消息是一些国家正在试行更为综合的氮管理方法。例如，德国通过制定综合氮战略迅速对欧洲氮评估作出反应。^{23,44} 许多国家面临的困难是应对氮威胁的反应由多个部门负责，这使协调行动变得困难。例如，在巴西，农业仍在广大地区扩张，更好地把作物和动物生产与环境影响脱钩的需求尚未得到专门解决。⁴⁵ 在国际上，活性氮的跨界影响也需要明确的立法和政策行动。

国际氮倡议（INI）的成员对这些挑战进行了相当多的思考。第一步是与联合国环境署合作，以“国际氮管理系统（INMS）”的形式建立科学支持国际政策制定的协调办法。

在全球环境基金和80个伙伴组织的支持下，国际氮管理系统正在制定关于氮管理、流动和影响的融合、成本效益评估和未来氮情景的指导。国际氮管理系统还正在开展区域性多国示范，以展示整体氮管理如何提供帮助。一项关键成果是即将于2022年首次公布的《全球氮评估报告》。

视频：农业造成的空气污染



视频链接：https://www.youtube.com/watch?v=07P_wXTTusI
图片来源：[gillmar / Shutterstock.com](#)

© European Union

视频：为什么肥料对环境和您的利润很重要



视频链接：<https://www.youtube.com/watch?v=5TzzPOy1T3g>
图片来源：[Visual Generation / Shutterstock.com](#)

© Environmental Defense Fund

下一个挑战是为氮循环制定更加一致的政策框架。联合国环境大会关于氮的众多决议清楚地表明了这项工作的必要性：2/6号（巴黎协定）、2/7号（化学品和废物）、2/8号（可持续消费和生产）、2/9号（食品废物）、2/10号（海洋）、2/12号（珊瑚礁）、2/24号（土地退化）、3/4号（环境和健康）、3/6号（土壤）、3/8号（空气质量）和3/10号（水污染）。^{46,47} 第3/8号决议明确提出鼓励各国政府“利用减少空气、海洋和水污染的有效氮管理的协同效应”。

科学界和政策界最近的讨论探讨了如何更有效地协调氮政策的参与。⁴⁸ 一些可能性包括：

- 方案1：跨政策框架的氮破碎化——现状
- 方案2：现有政策框架下的氮领导。这对每一个多边环境协定的任务提出了挑战，因为现有的多边环境协定（MEA）只解决挑战的一部分。
- 方案3：应对氮挑战的新国际公约。目前对采用这种方法的准备不足。

方案4：“公约间氮协调机制”，可能在联合国环境大会的授权下为机构间氮合作提供政府间论坛。

目前缺乏协调机制，这限制了现有多边环境协定相互学习的程度，同时也无法要求国际氮管理系统单独和多个多边环境协定合作。协调机制将有助于会员国和相关多边环境协定积极参与。联合国环境署的主要团体和利益攸关方已促进了企业和民间团体的参与。应该注意的是，方案4仍然只是一个方案。各国政府应讨论哪种方法最敏捷、最有效和最具成本效益。

然而，这种讨论指向另一个好处。全球社会需要氮科学和氮政策的整体式方法，这一点正在变得越来越明显。首先，多源、多部门的观点允许考虑协同效应和权衡。这将通过为商业决策提供更加一致的基础，让农业和工业受益。其次，整体方法为形成循环经济观点奠定了基础，该观点对于动员变革至关重要。此外，这种氮处理方法也说明了未来的环境政策如何能够更有效地在问题之间进行协调。随着联合国环境署努力实现其“零污染的地球”战略，在相互作用的污染问题领域，经验教训可能更加重要。

公约间氮协调机制



视频：农业氮挑战



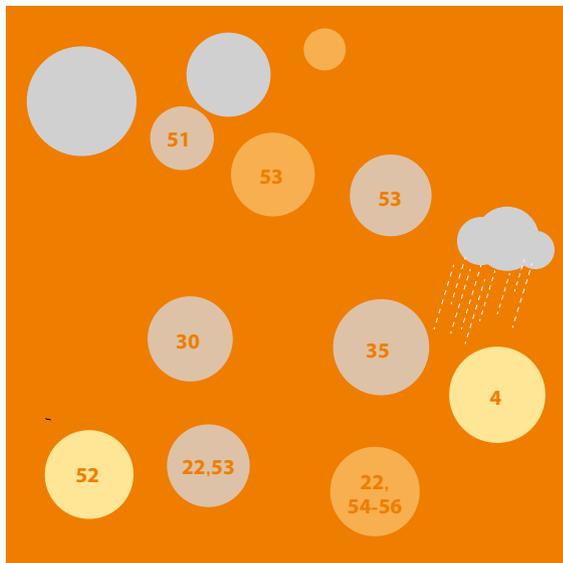
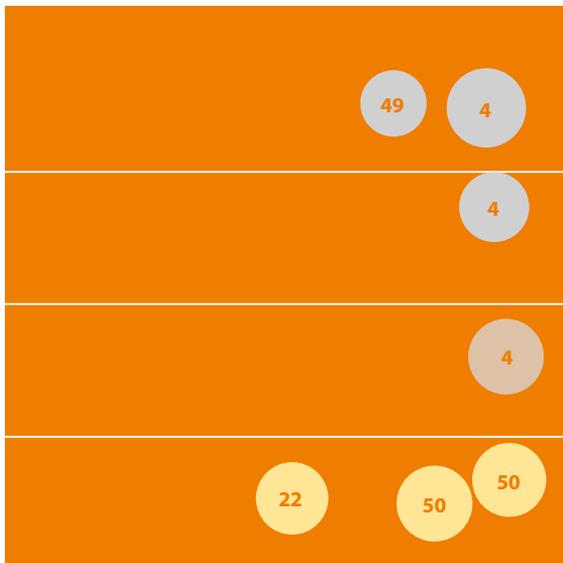
视频链接：<https://www.youtube.com/watch?v=y0IG5mOWyA> © CAFREtv
图片来源：Mark Sutton

参考文献

- United Nations Environment Programme (2014). *UNEP Year Book 2014*. Nairobi. <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/9240>
- Duce, R.A., LaRoche, J., Altieri, K., Arrigo, K.R., Baker, A.R., Capone, D.G. *et al.* (2008). Impacts of atmospheric anthropogenic nitrogen on the open ocean. *Science* 320, 893–897. <https://doi.org/10.1126/science.1150369>
- Voss, M., Bange, H.W., Dippner, J.W., Middelburg, J.J., Montoya, J.P. and Ward, B. (2013). The marine nitrogen cycle: recent discoveries, uncertainties and the potential relevance of climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 368, 20130121–20130121. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0121>
- Sutton, M.A., Howard, C.M., Erisman, J.W., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P. van Grinsven, H. and Grizzetti, B. (eds.) (2011). *The European Nitrogen Assessment*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. <http://www.nine-esf.org/node/360/ENA-Book.html>
- Pearce, F. (2018). Can the world find solutions to the nitrogen pollution crisis? *Yale Environment 360*, 6 February. <http://e360.yale.edu/features/can-the-world-find-solutions-to-the-nitrogen-pollution-crisis>
- Liu, X., Zhang, Y., Han, W., Tang, A., Shen, J., Cui, Z. *et al.* (2013). Enhanced nitrogen deposition over China. *Nature* 494, 459–462. <http://dx.doi.org/10.1038/nature11917>
- Fowler, D., Steadman, C.E., Stevenson, D., Coyle, M. Rees, R.M. Skiba, U.M. *et al.* (2015). Effects of global change during the 21st century on the nitrogen cycle. *Atmospheric Chemistry and Physics* 15, 13849–13893. <https://doi.org/10.5194/acp-15-13849-2015>
- Lelieveld, J., Evans, J.S., Fnais, M., Giannadaki, D. and Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature* 525, 367–371. <https://doi.org/10.1038/nature15371>
- United Nations Environment Programme (2013). *Drawing Down N₂O to Protect Climate and the Ozone Layer: A UNEP Synthesis Report*. Alcamo, J., Leonard, S.A., Ravishankara, A.R. and Sutton, M.A. (eds.) Nairobi. <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8489>
- Suddick, E.C., Whitney, P., Townsend, A.R. and Davidson, E.A. (2012). The role of nitrogen in climate change and the impacts of nitrogen–climate interactions in the United States: foreword to thematic issue. *Biogeochemistry* 114, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10533-012-9795-z>
- Sutton, M.A., Bleeker, A., Howard, C.M., Bekunda, M., Grizzetti, B., de Vries, W. *et al.* (2013). Our nutrient world: the challenge to produce more food and energy with less pollution. Edinburgh, UK: NERC/Centre for Ecology & Hydrology. <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/500700/>
- Abrol, Y.P., Adhya, T.K., Aneja, V.P., Raghuram, N., Pathak, H., Kulshrestha, U., Sharma, C. and Singh, B. (eds.) (2017). *The Indian Nitrogen Assessment: Sources of Reactive Nitrogen, Environmental and Climate Effects, Management Options, and Policies*. UK: Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128118368/the-indian-nitrogen-assessment>
- Van Grinsven, H.J.M., Holland, M., Jacobsen, B.H., Klimont, Z., Sutton, M.A. and Willems, W.J. (2013). Costs and benefits of nitrogen for Europe and implications for mitigation. *Environmental Science & Technology* 47, 3571–3579. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es303804g>
- Organisation for Economic Cooperation and Development (2018). *Human Acceleration of the Nitrogen Cycle: Managing Risk and Uncertainty*. Paris. <https://doi.org/10.1787/9789264307438-en>
- Brunekreef, B., Harrison, R.M., Künzli, N., Querol, X., Sutton, M.A., Heederik, D.J.J. *et al.* (2015) Reducing the health effect of particles from agriculture. *Lancet Respiratory Medicine* 3(11), 831–832. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(15\)00413-0](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(15)00413-0)
- Westhoek, H., Lesschen, J.P., Rood, T., Wagner, S., De Marco, A., Murphy-Bokern, D. *et al.* (2014). Food choices, health and environment: Effects of cutting Europe's meat and dairy intake. *Global Environmental Change* 26, 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.02.004>
- Westhoek, H., Lesschen, J.P., Rood, T., Leip, A., Wagner, S., De Marco, A. *et al.* (2015). *Nitrogen on the Table: The influence of food choices on nitrogen emissions and the European environment*. European Nitrogen Assessment Special Report on Nitrogen and Food. UK: Centre for Ecology & Hydrology. https://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/Nitrogen_on_the_Table_Report_WEB.pdf
- Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B.J., Lassaletta, L. *et al.* (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature* 562, 519–525. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>
- Brownlie W.J., Howard, C.M., Pasda, G., Nave, B., Zerulla, W. and Sutton, M.A. (2015). Developing a global perspective on improving agricultural nitrogen use. *Environmental Development* 15, 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.05.002>
- EU Nitrogen Expert Panel (2015). *Nitrogen Use Efficiency (NUE) - an indicator for the utilization of nitrogen in food systems*. Wageningen, NL: Wageningen University. <http://www.eunep.com/wp-content/uploads/2017/03/N-ExpertPanel-NUE-Session-1.pdf>
- Sutton, M.A., Howard, C.M., Brownlie, W.J., Skiba, U., Hicks, K.W., Winiwarer, W. *et al.* (2017). The European Nitrogen Assessment 6 years after: What was the outcome and what are the future research challenges? In *Innovative Solutions for Sustainable Management of Nitrogen*. Dalgaard, T. *et al.* (eds). Aarhus, Denmark, 25–28 June. Aarhus, DK: Aarhus University and the dNmark Research Alliance. http://sustainableconference.dnmark.org/wp-content/uploads/2017/06/JYC_Final_Book-of-abstracts160617.pdf
- Reis, S., Bekunda, M. Howard, C.M., Karanja, N. Winiwarer, W., Yan, X. *et al.* (2016). Synthesis and review: Tackling the nitrogen management challenge: from global to local scales. *Environmental Research Letters* 11, 120205. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/12/120205/meta>
- Umweltbundesamt (2015). *Reactive Nitrogen in Germany: Causes and effects - measures and recommendations*. Dessau-Roßlau: The German Environment Agency (Umweltbundesamt). <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/reactive-nitrogen-in-germany>

24. Tomich T.P., Brodt, S.B., Dahlgren, R.A. and Scow, K.M. (eds.) (2016). Davis, CA: University of California Press. <http://asi.ucdavis.edu/programs/sarep/research-initiatives/are/nutrient-mgmt/california-nitrogen-assessment>
25. Galloway, J.N., Townsend, A.R., Erisman, J.W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J.R. et al. (2008). Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions and Potential Solutions. *Science* 320, 889-892. <https://doi.org/10.1126/science.1136674>
26. Erisman, J.W., Sutton, M.A., Galloway, J., Klimont, Z. and Winiwarter, W. (2008). How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience* 1, 636-639. <https://doi.org/10.1038/ngeo325>
27. Davidson, E.A., Davidson, M.B., David, J.N., Galloway, C.L., Goodale, R., Haeuber, J.A. . (2012). Excess nitrogen in the U.S. environment: trends, risks, and solutions. 15. The Ecological Society of America, Washington. <http://www.esa.org/esa/wp-content/uploads/2013/03/issuesinecology15.pdf>
28. Fowler, D., Coyle, M., Skiba, U., Sutton, M.A., Cape, J.N., Reis, S. (2013). The global nitrogen cycle of the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society, B* 368, 2130164. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0164>
29. Bleeker, A., Sutton, M., Winiwarter, W. and Leip, A. (2013) *Economy Wide Nitrogen Balances and Indicators: Concept and Methodology*. OECD, Environment Directorate, Environment Policy Committee, Working Party on Environmental Information, Paris, France ENV/EPOC/WPEI(2012)4/REV1. Paris. <http://inms.iwlearn.org/inms-meeting-lisbon/NBalancesandIndicators.pdf>
30. Sutton, M.A., Oenema, O., Erisman, J.W., Leip, A., van Grinsven, H. and Winiwarter, W. (2011). Too much of a good thing. *Nature* 472, 159-161. <https://doi.org/10.1038/472159a>
31. Masso, C., Baijukya, F., Ebanyat, P., Bouaziz, S., Wendt, J., Bekunda, M. et al. (2017). Dilemma of nitrogen management for future food security in sub-Saharan Africa – a review. *Soil Research* 55(6), 425-434. <https://doi.org/10.1071/SR16332>
32. United Nations Statistic Division (2018). *Global indicator framework for the Sustainable Development Goals and targets of the 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York. A/RES/71/313 E/CN.3/2018/2. <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/indicators-list/>
33. Zhang, X., Davidson, E.A., Mauzerall, D.L., Searchinger, T.D., Dumas, P. and Shen, Y. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. *Nature* 528, 51-59. <https://doi.org/10.1038/nature15743>
34. Sutton, M.A., Reis, S., Riddick, S.N., Dragosits, U., Nemitz, E., Theobald, M.R. et al. (2013). Toward a climate-dependent paradigm of ammonia emission & deposition. *Phil. Trans. Roy. Soc. (Ser. B)* 368, 20130166. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0166>
35. Van Grinsven, H.J., Tiktak, A. and Rougoor, C.W. (2016). Evaluation of the Dutch implementation of the nitrates directive, the water framework directive and the national emission ceilings directive. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences* 78, 69-84. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2016.03.010>
36. Bittman, S., Dedina, M., Howard C.M., Oenema, O. and Sutton, M.A. (eds.) (2014). Options for Ammonia Mitigation: Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen. Edinburgh: Centre for Ecology and Hydrology. <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/510206/1/N510206CR.pdf>
37. Gu, B.J., Ju, X.T., Chang, J., Ge, Y. and Vitousek, P.M. (2015). Integrated reactive nitrogen budgets and future trends in China. 112, 8792-8797. <https://doi.org/10.1073/pnas.1510211112>
38. Ju, X.T., Gu, B.J., Wu, Y.Y. and Galloway, J.N. (2016). Reducing China's fertilizer use by increasing farm size. 41, 26-32. <https://doi.org/10.1073/pnas.1806645115>
39. Mangano E., Kahr, J., Wright, P.A. and Brandani, S. (2016). Accelerated degradation of MOFs under flue gas conditions. *Faraday Discussions*, 192. <https://doi.org/10.1039/C6FD00045B>
40. Food and Agriculture Organization (2016). Zero Budget Natural Farming in India. *Agroecology Knowledge HubTrends in BiosciencesCircular Economy Package: Questions & Answers*. 2 December. http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-6204_en.htmClosing the loop – An EU action plan for the Circular Economy.Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regionshttps://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-0614-final
41. Bishnoi, R. and Bhati, A. (2017) An Overview : Zero Budget Natural Farming. *Trends in Biosciences* 10(46), 9314-9316
42. European Commission (2015). Circular Economy Package: Questions & Answers. 2 December. http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-6204_en.htm
43. European Commission (2015). Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM(2015) 614 final. <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-0614-final>
44. Sachverständigenrat für Umweltfragen (2015). *Nitrogen: Strategies for resolving an urgent environmental problem - Summary*. Berlin. https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/EN/02_Special_Reports/2012_2016/2015_01_Nitrogen_Strategies_summary.html
45. Austin, A.T., Bustamante, M.M.C., Nardoto, G.B., Mitre, S.K., Perez, T., Ometto, J.P.H.B. et al. (2013). Latin America's Nitrogen Challenge. *Science* 340, 149. <https://doi.org/10.1126/science.1231679>
46. United Nations Environment Programme (2018). *Resolutions and Decisions: UNEA 2*. Nairobi. <http://web.unep.org/environmentassembly/resolutions-and-decisions-unea-2>
47. United Nations Environment Programme (2018). *Documents: Third session of the UN Environment Assembly*. Nairobi. <http://web.unep.org/environmentassembly/node/40741>
48. Sutton, M. (2018). The global nitrogen challenge: a case of too much and too little nutrients. A presentation to the Committee of Permanent Representatives to the United Nations Environment Programme, 24 October 2018. <http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26379/Sutton%20Global%20Nitrogen%20Challenge%20%28UNEP%20CPR%20Oct%202018%29.pdf?sequence=24&isAllowed=y>

图片参考文献



49. Zhang, R., Tie, X. and Bond, D.W. (2002). Impacts of anthropogenic and natural NO_x sources over the U.S. on tropospheric chemistry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(4), 1505-1509. <https://doi.org/10.1073/pnas.252763799>
50. FAO (2011). Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf>
51. Ussiri D., Lal R. (2013) Global Sources of Nitrous Oxide. In: *Soil Emission of Nitrous Oxide and its Mitigation*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5364-8_5
52. IFA (2018). International Fertilizer Association database (IFASTAT). International Fertilizer Association, Paris. <https://www.ifastat.org/>
53. Behera, S.N., Sharma, M., Aneja, V.P. and Balasubramanian, R. (2013). Ammonia in the atmosphere: a review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(11), 8092-8131. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2051-9>
54. Field, C.D., Dise, N.B., Payne, R.J., Britton, A.J., Emmett, B.A., Helliwell, R.C., Hughes, S, et al. 2014. The Role of Nitrogen Deposition in Widespread Plant Community Change Across Semi-natural Habitats. *Ecosystems*, 17, 864-877. <https://doi.org/10.1007/s10021-014-9765-5>
55. Payne, R. J., N. B. Dise, C. J. Stevens, D. J. Gowing, and Begin Partners. 2013. 'Impact of Nitrogen Deposition at the Species Level'. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(3): 984–87. <https://doi.org/10.1073/pnas.1214299109>
56. Sheppard, L. J., Leith, I. D., Mizunuma, T., Cape, N., Crossley, A., Leeson, S., Sutton, M.A., Dijk, N. and Fowler, D. (2011). Dry deposition of ammonia gas drives species change faster than wet deposition of ammonium ions: evidence from a long-term field manipulation'. *Global Change Biology*, 17: 3589-3607. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02478.x>