纳米银
利弊之衡

大量纺织品和家居用品中都会添加纳米银颗粒物作为抗菌剂。尽管银的安全使用已有几个世纪的历史，但仍有人质疑纳米银新暴露源的迅速扩张是否会产生负面影响。© Tom Fullum/Getty Images

律师在法庭辩论幼儿流口水的习惯实在是一件稀奇事。但就在2013年1月，自然资源保护委员会（NRDC）、美国环境保护署（EPA）及瑞士化学品公司HeiQ的律师在联邦上诉法庭上就1岁和3岁幼儿咀嚼、流涎和吞咽的程度展开了辩论。

在NRDC对EPA的诉讼（仍在等待判决）中的一个问题是，该署于2011年12月对HeiQ公司制造的纳米银抗菌纺织品授予有条件注册是否合宜。EPA的风险评估，部分是基于3岁幼儿通过吮吸或咀嚼含纳米银的纺织物（如衣服、毛毯和枕头）造成暴露这一假设。

然而，NRDC的律师Catherine Rahm并不认同该署的评估方法。在1月份的听证会上，她指出该署的记录显示婴幼儿比其他年龄段的儿童更可能咀嚼含有杀虫剂的纺织物，如果该署根据1岁幼儿的体重重新计算其风险评估，那么HeiQ公司产品中的纳米银含量可能会产生潜在的有害暴露。

在风险评估中，这一区别虽然微乎甚微但却至关重要。鉴于对HeiQ和其他竞相效仿的公司产生的影响，此案件已成为纳米银监管与该抗菌成分在商品中使用日渐增多之间长期矛盾的焦点。

这个诉讼不论哪一方获胜，有关纳米银的真相并不可一言蔽之。即便是NRDC中主张对纳米银采取严格监管的最强烈者也承认具体情况是关键。

“我不是纳米的支持者或反对者，”Ian Illuminato说，他是“地球之友”美国纳米技术运动的负责人，该组织已经发表了一系列有关纳米银和其他纳米材料潜在危害的报告。“我的意思是我们应该用一种成熟的、成年人的方式来对待这件事。这并不否定这种技术的益处和未来的意义。”

Greg Lowry是卡内基梅隆大学从事纳米颗粒在环境中迁移的研究人员。他认为纳米银的使用是一个平衡风险与回报的问题。“在这些产品中使用纳米银会带来巨大的潜在收益，”他说。“我们需要做的就是问问自己收益是否大于风险。”

广泛的使用

纳米银本身并非新事物。在过去的几百年中，由于各种不同目的它被广泛用于消费品和商品之中，尽管专利证书或科学文献中鲜少出现“纳米”技术。自20世纪初期，胶体银（纳米级的银粒子悬浮于液体中）就被用于健康和医疗用途，而现在则作为膳食补充剂和万能替代药销售。纳米银自1800年代晚期起就一直在照片冲洗过程中使用，1954年和1970年代起分别在EPA注册可添加于游泳池杀藻剂和饮用水过滤器。

最近在合成纳米银颗粒物方面的进展使得更多新发明涌现。大多数新发明的关键都在于合成的纳米银化合物渗透各种材料和涂层的能力。“我们学会了将银原子束集到极小的小颗粒中，这样就可以控制这些颗粒物并把它们放到以前它们不可能到达的地方，”美国地质调查局荣誉研究员Samuel Luoma如是解释，他的报道《纳米银技术与环境》（*Silver Nanotechnologies and the Environment*）由皮尤基金新兴纳米技术项目发表。

由于上述因素，纳米银在美国市售的产品中越来越多见，包括电动剃须刀、运动服、床上和浴室亚麻制品、化妆品、奶瓶、毛绒动物玩具、键盘、颜料和食品储存罐。纳米银也被用于医疗设备（包括导液管、人工支架、绷带和伤口敷料）和物体表面（包括轮椅座部和门把手）。在东南亚，纳米银的使用更为普遍和公开，例如香港的地铁、韩国的牙膏管。

> 我们学会了将银原子束集到极小的小颗粒中，这样就可以控制这些颗粒物并把它们放到以前它们不可能到达的地方。
>
> —Samuel Luoma
> 《纳米银技术与环境》（*Silver Nanotechnologies and the Environment*）作者

尽管纳米银的使用广泛，但监管机构和科学家对于这种材料仍然知之甚少。有关它如何在人体和环境中作用以及它的使用在多大程度上会导致细菌耐药性尚未达成共识。

在继续要求更严格的纳米银监管的诉求中，异议人士利用了这一不明朗的局面。例如，NRDC指出，诸如HeiQ产品等杀虫剂有条件注册的前提是及时递交完整的毒理数据。同时，纳米银技术工作团体（一个致力于收集和传播纳米银资料的行业组织）强烈认为其安全有效，并指出大部分产品中该物质的使用量都非常少。

一种强效抗菌剂

最近有证据表明纳米银的形态（内部和本身）可能不是影响其杀

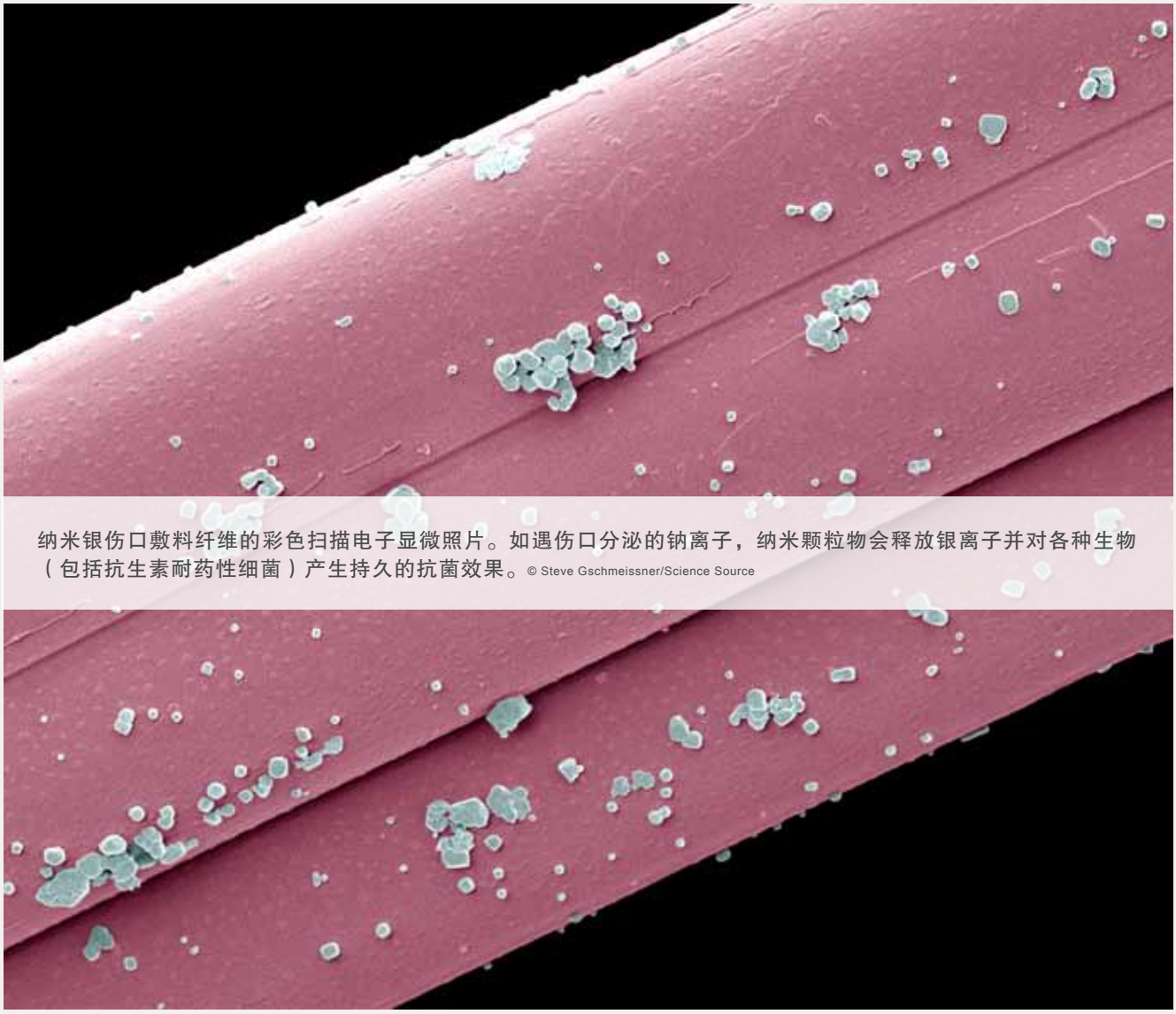
菌能力的因素。但在一些关键的方面，纳米银的确不同于大形态的银。首先，形态小则表面积与体积的比值大，这能大幅增加银离子释放的可能性，此为银和纳米银毒性作用的主要模式。此外，纳米银可以到达身体中较大的银粒子无法到达的位置，它极小的尺寸可以进入细胞或穿过血脑屏障。这一点在现实世界中意味着什么还有待研究。

但伴随着抗生素耐药性感染成为全球日益关注的问题，研发新的抗菌方法有了强大的动力，而纳米银成为这一领域的巨大希望。SilvrSTAT™是一种新的纳米银凝胶，于2012年秋由总部位于犹他州的ABL医药公司作为伤口护理抗菌剂引进，据ABL医药公司药品管理主任Keith Moeller介绍，实验室试验证实该物质能够在几分钟内杀灭耐甲氧西林金黄色葡萄球菌（MRSA）和耐万古霉素肠球菌（VRE）。Moeller说，SilvrSTAT也通过了美国食品药品管理局（FDA）的批准，可在老年人护理中心使用，有助于糖尿病性和感染性溃疡、手术创面和移植部位的治疗，此外EPA也批准它作为消毒剂用于无孔硬表面。

“我们从未真正发现过我们不能杀灭的病原体，”Moeller说。“这就是到处都使用银的原因。它非常安全且广谱抗菌，它是天然形成而且真的很有效。”

纳米银也具有预防作用，可用于糖尿病人专用的特殊袜子、鞋子和绷带中，防止脚、脚踝和足部溃疡的发展；或用于军队专用袜，在卫生条件较差的情况下可预防战壕足、脚气和其他真菌感染；还可用于普通运动服，以减缓MSRA及其他由紧贴运动衣物导致的细菌感染的传播速度。

Silver Nanotechnology Working Group（SNWG）的执行董事Rosalind Volpe认为，纳米银也可以用于普通家居用品中。SNWG在一篇文章中解释到，“纳米银抗菌处理实现诸多目



纳米银伤口敷料纤维的彩色扫描电子显微照片。如遇伤口分泌的钠离子，纳米颗粒物会释放银离子并对各种生物（包括抗生素耐药性细菌）产生持久的抗菌效果。© Steve Gschmeissner/Science Source

的，对消费品而言是保质期更长（如化妆品）、使用更安全、损耗更少，并最终给顾客带来更低的价格；对塑料而言可防止细菌的分解作用（如退色）；对纺织品而言可预防因细菌定植而产生的臭味（如运动服），最终使产品更舒适、使用时间更长。其他的益处如在低温天气降低清洗频率可以大幅节约用水和能源。”

> 我们从未真正发现过我们不能杀灭的病原体。这就是到处都使用银的原因。它非常安全且广谱抗菌，它是天然形成而且真的很有效。
>
> —Keith Moeller
> ABL 医药公司

多少才算多?

但开发纳米银的新用途也可能产生独特的风险。纳米银用途增多意味着其广泛的使用导致细菌对银产生耐药性的可能性增加，相似的例子有青霉素、四环素和三氯生这三种常见的抗生素。

瑞士联邦材料科学与技术研究所的Bernd Nowack说，存在于洗涤、消费品和涂层中的纳米银会缓慢地从底材中脱落，脱落的量和时长不等，这要看材料中的浓度以及粘合的强度。他指出，纺织品的行业标准是针对抗菌抑菌效果制定的，洗涤次数至少为50次；但有一些研究表明纳米银可以在最初的几次清洗过程中就从某些产品中释放出来。

一些批评家质疑使用如此强大的武器来攻击危害相对较小的常见细菌是否为明智之举。“在糖尿病专用鞋中使用一些纳米银是一回事，在所有内衣、袜子、床单中都添加纳米银是另外一回事。我们排放到环境中的纳米银的量呈大幅、指数式增长。”非营利性机构国际技术评估中心的政策总监Jaydee Hanson如是说到。

居住在墨尔本的微生物学家Gregory Crocetti曾参与过澳洲“地球之友”纳米运动，他对此态度更谨慎。“纳米银应该只能用于医疗用途，”他说。“在家庭产品中毫无节制地随意使用会使临床的效用降低……纳米银很可能提高的不仅是对银的耐药性，还有对抗生素的耐药性，这是联合选择导致的。”联合选择，即受某一种抗菌素抑制的细菌通过与对另一种抗生素具有耐药性的细菌交换DNA来找到一种相应的耐药性基因。

> 在糖尿病专用鞋中使用一些纳米银是一回事，在所有内衣、袜子、床单中都添加纳米银就是另外一回事。我们排放到环境中的纳米银的量呈大幅、指数式增长。
>
> —Jaydee Hanson
> 国际技术评估中心

环境因素

到目前为止，有关银耐药性的文献记录非常有限。这些有限的案例主要是体外研究，而非临床研究或以环境为背景的研究。然而，1975年有文章报道在马塞诸塞州的一个烧伤病房中分离出了耐银鼠伤寒沙门氏菌；20多年后才提出了银耐药性的分子机制。

一些研究人员和行业组织认为，银和微生物共存已有亿万年之久，如果存在这样的威胁，那么耐药性早就显现。但Crocetti指出，以前银的使用环境并不如现今抗生素耐药性那么无处不在。

“人们普遍认为，不同类型的抗生素耐药性基因直到近几十年才根据细菌归到可动遗传因子这一个大类中，尤其是质体，”Crocetti说。“必须指出，在许多具有临床意义的质体中，主要耐银基因*sil*操纵子通常与抗生素耐药性基因同时出现。这意味着银耐药性通常主动或被动地联合选择具有抗生素耐药性基因。”

另一份研究显示，纳米银颗粒物暴露在某些情况下可能提高细菌存活率。莱斯大学一项被引率极高的研究的作者提醒道，低剂量的银可能会提高细菌的存活率，作者称之为“明显的低剂量刺激效应”。Volpe也认为设置和规范银的最低抑制浓度及拐点

（即多少剂量能够有效杀灭细菌）是审慎之举。

也有研究调查了纳米银对水生生物的毒性以及体外实验中其对人体细胞的影响。另一个研究关注点——具有相当的不确定性——是纳米银颗粒物涌入环境中的行为，尤其是考虑到单质银对水生生物的毒性很高，仅次于金属汞。潜在的影响始于污水处理厂和化粪池，在这些地方纳米颗粒物的结局是被排入下水道。纳米银在这些地方的存在至少产生了两个问题：它们是否会杀死用于分解废物细菌；如果污水处理厂的污物被用作肥料应用于农田，由此它们得以进入土壤和水道的话，会造成什么后果？

最新的研究结果表明，在某些无氧环境（比如污水厂）中存在着硫化物，一些纳米银颗粒物可迅速地转化为更为稳定的硫化银。这大幅降低了颗粒物释放银离子和杀死细菌的能力（颗粒物释放银离子需耗氧）。然而，Lowry表示研究人员现在还不知道总共有多少纳米银会转化为硫化银，也不知道未硫化的银或已硫化的银的去向，因为无论银是否硫化都会与氧反应。

Luoma认为，环境监测是“未来风险管理战略的必要条件”。鉴于目前缺少纳米材料常规监测的方法，他认为对水、底泥或生物监测物中的银本身进行监测，“在研究出针对纳米材料的方法前，可能是一个可行的临时性方法”。

> 人们普遍认为，不同类型的抗生素耐药性基因直到近几十年才根据细菌归到可动遗传因子这一个大类中，尤其是质体。必须指出的是，在许多具有临床意义的质体中，主要耐银基因 *sil* 操纵子通常与抗生素耐药性基因同时出现。这意味着银耐药性通常主动或被动地联合选择具有抗生素耐药性基因。
>
> —Gregory Crocetti
> 澳大利亚“地球之友”

掌握数量

上述讨论是基于我们所做的工作切实有意义这一假设——即从消费品和医疗用品中释放到环境和我们身体中的银的数量（包括纳米银）与环境中的本底水平有明显关联。

纳米银技术工作团体对这一情况并不确定。在美国，纳米银的产量估计为每年2.8~20吨，而全球为250~312吨。Volpe说这只是银总产量的一小部分——据白银行业估计，银总产量超过31250吨——也只是环境中银总量的一小部分。

因此Volpe表示，尽管许多用途可能会在商业上获得巨大的成功，但纳米银的新用途不会对未来10~15年银需求水平产生明显影响。相反，NRDC认为“如果证实纳米银比常规的银毒性更强，那么少量的释放所造成的危害未必会小”。

Luoma在《纳米银技术与环境》中指出，银在地壳中很稀有、含量极低。他写到，“因此，即使只有很少量的银因人类活动而排入水体中，也会使自然条件产生相当大的改变”。但他同时指出，“金属银在环境中的变化会以复杂的方式影响生物利用度和毒性作用。”

目前实际的纳米银产量数据不可公开获取。Lowry认为精确掌握目前及今后几年进入环境的纳米银总量的唯一途径是对纳米银的合成及生产数据进行综合清查。“使用这样的方法，我们可以了解水体中的纳米银负载有多少，”他说。“不进行数据清查的话，真的很难了解其浓度是多少……如果你不知道负载是多少，那么你就不会知道环境中的浓度是多少。”

Nate Seltenrich，居住在加利福尼亚州奥克兰市，他的写作领域涵盖科学和环境领域。其作品发表在《高乡新闻》（*High Country News*）、《塞拉》（*Sierra*）、《地球岛杂志》（*Earth Island Journal*）、《旧金山纪事报》（*San Francisco Chronicle*）及其他地方性或全国性出版物上。

译自*EHP* 121(7):A220−A225 (2013)
翻译：汪 源

***本文参考文献请浏览英文原文**

原文链接

http://dx.doi.org/10.1289/ehp.121-a220