

如何促进实验室可持续发展？

Kerstin Hermuth-Kleinschmidt, PhD¹

¹NIUB Sustainability Consulting, Germany

执行摘要

当前,科学界人士越来越关注可持续发展议题。与个人生活相比,实验室的使用习惯、工作流程和相关设备想要真正实现可持续发展还有很长的路要走。我们如何优化工作流程、降低能耗并减少塑料垃圾呢?实验室的可持续发展包含许多因素。本白皮书提出了促进实验室可持续发展的初步措施。



引言

可持续发展是一种将社会、经济和生态措施纳入人类行动的整体策略,正在成为一个越来越重要的全球议题。我们在个人生活中随时都能碰到越来越多的可持续发展问题。毫无疑问,可持续发展不再是一种“锦上添花”的理念,而是政治、社会和商业领域的核心议题。各大公司正在测量自身碳足迹,并采取措施实现碳中和;政界人士正在制定《绿色政纲》等计划,以实

现 1.5 °C 的气候目标并履行《巴黎协定》;社会活动正在呼吁人们采取更多行动,同时提供可持续发展建议。我们不再使用塑料购物袋,我们骑行上班,我们关灯以节约能源,我们在日常生活中对环境影响负责。当我们步入实验室后,我们又该如何负责?

在实验室工作的一天

当您在一个普通的星期二早上到达实验室时，您可能会完成以下例行操作和实验。

- 上午晚些时候您需要使用水浴槽。幸运的是，水浴槽全天打开，温度始终保持 37°C ，以为您节省时间。您将温度调整到 $+50^{\circ}\text{C}$ ，因为您今天需要使用，并且希望确保其温度合适。
- 您关掉了整夜运行的 PCR 仪。没有了恼人的风扇噪音，真是一种解脱。
- 您准备琼脂糖胶来鉴定两个 PCR 片段。只剩下 48 槽腔室了——不管了，反正也只是琼脂糖。运行后，您切下溴化乙锭染色片段，并从一小块琼脂糖中分离出 DNA。然后，在 $+50^{\circ}\text{C}$ 的水浴槽中培养样品。
- 现在，您开始分离 PCR 片段。仪器的盖子没有合上，但温度仍然显示为 $+4^{\circ}\text{C}$ 。使用大型台式离心机操作两个微型试管实在是大材小用，但是转子的加速度确实令人印象深刻。
- 分离和纯化 PCR 片段后，进行连接，将质粒转化到大肠杆菌中。这时，您发现专用于已污染塑料垃圾的垃圾箱已经装满，而昨天剩下的 3 大袋还没有高压灭菌。
- 您在 -86°C 冰箱里寻找感受态细胞来完成转化。这需要一些时间，因为细胞不在您上次放置的地方。时间太长，冰箱在哔哔作响——多么恼人的声音！此外，这个小房间里还有另外 3 台冰箱，所以室温较高。
- 您注意到冰箱里面结了很多冰，是时候给冰箱除冰了。稍后应该安排人来完成这项工作……
- 这时，您有了一些空闲时间。于是您开始查看飞往下一个会议地点的航班——终于可以现场参会了。您也可以乘坐火车，但那要多花一个小时，所以您决定坐飞机（机票也更便宜）。
- 下午，您对细菌培养基进行高压灭菌，为明天的细胞培养做准备。虽然只有一瓶，但真的很有必要，因为您明天一早就要用。
- 为了明天的实验，您还需要一种特殊的限制性内切酶。您打开 -20°C 冰箱，发现这种特殊的限制性内切酶已经用完了。所以您必须尽快补货订购。与生活用品一样，供应商提供 24 小时内从英国直接发货的服务。太好了！

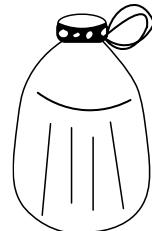
等等，这样真的好吗？您在实验室中做过多少类似的事情？您是否对其中的一些操作感到良心不安？

您的实验室工作对环境的影响

实验室工作需要耗费大量资源。实验室的日常工作、典型流程和实验运行需要耗费大量能源、水或塑料等资源。



一个标准实验室就会产生大量塑料废物。一家拥有七名员工的微生物实验室可以在一个月内产生 97 公斤塑料废物^[1]。平均而言,一名科学家每天会产生 300-400 克塑料废物^[2a]; 2014 年,全球生命科学实验室总共产生了 550 万吨塑料废物^[3]。这占 2015 年全球塑料废物总量的 1.8%^[2b]。



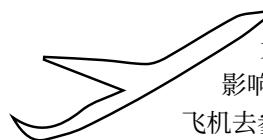
此外,实验室还会产生大量化学品和试剂浪费情况。2020 年,德国德累斯顿工业大学产生了约 35 吨化学废物,包括溶剂、无机和有机化学品以及洗涤液和母液。此外,还有 13 吨是在对受到有害物质污染或含有有害物质残留物的废物进行包装时产生。^[4] 奥地利格拉茨大学在其《2020 年环境报告》中指出,该校总共产生了约 10 吨化学残留物、实验室废物和溶剂混合物。



这些是许多实验室工作人员每天或每周都会看到的资源消耗。但是,实验室的其他环境影响可能并不能一眼看到。实验室建筑的能源和水资源消耗是办公楼的 3-5 倍^[5]。平均而言,一台 700 升超低温冰箱的能耗(4000 千瓦时 / 安)相当于德国一个四口之家的总能耗^[6],旧款冰箱甚至更高^[7],通风柜消耗的能量也差不多。^[7] 但电能仅是实验室资源消耗的一个方面。许多实验室工作都需要用水,例如制备缓冲液或 HPLC 溶剂以及加热或冷却等。您知道制备 1 升实验室用水需要 3-5 升自来水吗?^[8] 高压灭菌设备更是需要消耗大量电能,以及水和蒸汽。为整栋实验室大楼成员设计的大型高压灭菌设备每天的水资源消耗高达 2,453 升。^[9]

CO₂

最后,信息和数字化技术的日益普及导致了更高的二氧化碳当量排放(CO₂e),这也是我们看不到的环境影响。100 份土壤样品的宏基因组分析会排放 14-186 公斤二氧化碳当量^[10]。烟草花叶病毒的 100 纳秒分子动力学模拟会排放 17.8-95 公斤二氧化碳当量。由于大量采用数字化技术和连网设备,实验室的二氧化碳排放将进一步增加。



除日常工作外,还有其他对环境造成重大影响的实验室活动。乘飞机出行无疑是影响最大的一种行为。过去,科学家们会乘坐飞机去参加会议,介绍研究成果,与同行交流想法,并建立关系网络。虽然这些会议很有意义,但由此造成的二氧化碳当量排放也不容忽视。最近的一项研究将 2019 年的现场会议与 2020 年的数字会议进行了比较。现场会议的出行总排放量约为 1,855 吨二氧化碳当量。相比之下,数字会议的碳足迹减少了 3,000 倍,仅为 582 公斤。与此同时,参与数字会议的科学家人数反而更多。^[11] 有鉴于此,我们不应完全采用过去的会议习惯。



当我们深入研究不同的排放来源时,我们应该区分一家组织的直接和间接碳排放当量。直接碳排放包括用电、供暖和制冷产生的排放。间接碳排放与组织的所有间接行为有关,例如员工差旅,但也与组织所采购产品的制造和运输以及产品在使用寿命结束时的处置和回收有关。^[12] 丹麦哥本哈根大学的一项研究发现,该大学 85% 以上的排放是由此类间接排放造成的。实验室耗材、教学和研究中使用的化学品以及实验室中使用的化学品估计占这些排放量的 15% 至 20%。^[12] 有鉴于此,我们必须改变实验室的使用习惯和工作流程。



作为科学家,我们接受专业训练,旨在理解自然界的各种过程。在大学时代,我们都听到过关于有限资源、多样性、浪费和循环利用的指导意见。现在,我们从事实验室工作,制造了大量塑料垃圾。我们在实验室里使用大型设备,每天 24 小时不间断地运行,消耗大

量能源。我们还需要处理有毒物质。我们无法完全阻止这一切,因为科研工作需要继续。安全法规要求我们使用一次性耗材和资源密集型消毒方法。许多实验需要复杂的仪器来进行分析。但是,我们总能找到办法来促进实验室的可持续发展。这当然也包括您自己的实验室。

如何降低您的“实验室足迹”

您可能希望提高实验室的可持续性,但不知道从何处着手最好。此时,请首先审视您的日常工作和方法,以确定各种实验室流程的优化潜力。您还可以采取一些简单的措施,来改善实验



1) 能耗——大力践行节能措施

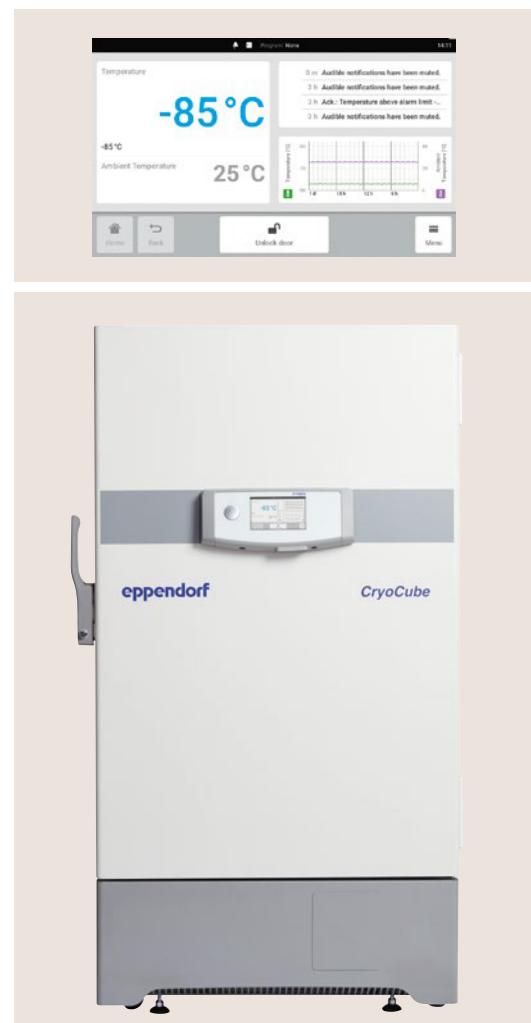
重点关注像通风柜或生物安全柜(BSC)这样的“能耗大户”。尤其是老款机型,其鼓风系统和照明效果一般不大理想。英国诺丁汉大学通过实施“关闭移门”计划,节省了 5%-25% 的能源。在采取此类措施时,您应该对员工作出简要介绍,并在移门正面贴上标签,提醒大家在不使用通风柜时将其关闭。

这些节能措施不用花钱,但可以产生巨大影响。询问通风柜或生物安全柜供应商,了解破损的老款灯泡是否可以换成 LED 灯。检查样品储存温度是否真的需要低至 -86 °C; 是否可以将冰箱温度设置为 -80°C 甚至 -70°C。哥本哈根大学的一项研究发现,将冰箱温度设置为 -70°C 可以节省高达 22% 的电能^[13]。表 1 显示了将温度设定值从 -80°C 降至 -70°C 时, Eppendorf 超低温冰箱的平均节能量。

平均而言,该措施可节省约 30% 能耗。数据基于三台空载冰箱(230 V)在 20°C 室温下同时开展的 Eppendorf 外部测试。温室气体排放计算基于 275 克 CO₂/ 千瓦时(2019 年)。

www.eea.europa.eu

室的可持续性状况。这些措施看似简单,但却能带来很大的积极影响。以下是一些帮助您提高实验室可持续性的实用建议:



CryoCube® 系列冰箱						
节能量	F740hi	F740h	F570h	F570n	F440h	F440n
-70 °C能耗 (千瓦时/天)	7.5	8.1	4.9	5.7	4.8	5.7
-80 °C能耗 (千瓦时/天)	10.5	11.8	7.4	8.3	6.8	8.3
-80 °C -> -70 °C 节能量 (千瓦时)	3.0	3.7	2.5	2.6	2.0	2.6
-80 °C -> -70 °C 节能量 (%)	-28%	-31%	-34%	-31%	-29%	-31%
年节能量 (千瓦时)	1,095 KWh	1,350 KWh	913 KWh	949 KWh	730 KWh	949 KWh
年碳减排量 (公斤)	301 kg	371 kg	251 kg	261 kg	201 kg	261 kg

表1：显示了将温度设定值从 -80°C 降至 -70°C 时, Eppendorf 超低温冰箱的平均节能量。数据基于三台空载冰箱(230 V)在 20°C 室温下同时开展的 Eppendorf 外部测试。

妥善存放您的样品

重点优化冰箱管理。这不仅有助于节省能源，还可以提高安全性。
英国爱丁堡大学的一项案例研究表明^[14]：



冰箱维护

除霜不到位会导致更高的能耗,而且结冰也会破坏密封层,使冷空气逸出或暖空气进入冰箱内部,从而损害样品的完整性。

样品储存

使用袋子或非标准化容器进行无效的样品存储会限制冰箱的可用空间,并阻碍了高效、快速地搜寻样品。使用带盖的标准冻存盒有助于充分利用冰箱空间。



样品识别和跟踪

库存管理有助于缩短冰箱开门时间。即使将冰箱打开一分钟,也需要大约 30 分钟(或更长时间)才能再次达到 -80 °C 的冰箱设定温度



样品管理

库存管理有助于节约空间,例如,通过移除废弃样品

与其他实验室团队进行交流和沟通,获得更多知识。国际冰箱挑战赛(International Freezer Challenge)是一项全球性赛事,每个实验室都可以参加,能够学到很多最佳实践。^[15]

我们不仅需要关注实验室中的“能耗大户”,还应该关注其他辅助设备,例如加热模块、PCR 仪、摇床、混匀仪等。



您可以使用功率表测量设备能耗,清楚掌握能耗最高的仪器有哪些并且有针对性地执行“关闭”节能措施

这些设备尽管较小,但也会对实验室整体能耗产生影响。您可以仔细审查工作流程,然后执行节能措施。请不要使用设备的待机功能,而应在不用时将其关闭。通过调整实验室设备的运行时间,我们能够节省 30% 的能耗。^[16] 这可以通过一些简单的措施来实现,如使用计时器(请与当地安全官员核实是否可行)或培训实验室人员。

如果有多台离心机可供使用,请选择最适合您需求的那台。如果仅需离心 2 个微型试管 60 秒,4 升多用途离心机就显得大材小用了。您可在使用前选择可编程离心机进行冷却,不要让离心机在预冷却模式下运行数小时。

最后,您知道自己实验室的用电类型吗?我们通常无法决定这件事情,但您还是应该询问设备管理或采购部门,要求使用绿色电力。如今,绿色电力与煤、石油或天然气发电价格相差不大。因此,我们不应再拿价格作为借口,继续使用传统电力。

2) 水——降低水资源消耗

高压灭菌器是电能和水资源消耗大户。不要让高压灭菌器半空运行,因为在运行时的能源和水资源消耗相差不大。大型高压灭菌器每天的用水量和用电量分别高达 2,450 升和 84 千瓦时。^[17] 水主要用于加热和冷却,但也有替代方案。您知道金属压条可以代替水浴槽里的水吗?我们通常使用冰来冷却酶和样品。但是制冰机是全天候运转的,需要消耗大量电能和水资源。冷却块是一种可行的替代方案,因为它们可以保持低温长达一个小时。如果温度过高,它们会通过改变颜色来通知用户。



冷却块通过颜色变化显示实施化学品库存计划时要求的温度变化
(^[18]以7°C为界)。

一般而言,您可以根据具体任务选择可接受的最低水质等级。为什么?水质越高,就需要更多净化步骤才能达到具体质量要求。而每道净化步骤都会消耗更多水和其他资源(例如电能、耗材等)。

最后,请不要使用直流式冷却水系统,因为水会直接进入排水管道,请更换为再循环系统。

3) 数字化——请勿忽略无形影响

请将数字化纳入您的能源足迹减少计划。云数据存储、数据分析或模拟实验都会消耗大量能源,并释放大量温室气体。请了解云供应商耗能的用电类型,或者根据服务器绿色能源的使用情况选择下一个云供应商。100 份森林土壤样品的宏基因组分析会排放 14-186 公斤二氧化碳当量,具体取决于使用的软件版本。

如果使用最新的软件版本,您可以减少二氧化碳当量排放。^[10] 如果使用得当,软件产品将带来积极的环境影响。样品管理软件可以帮助您跟踪所有信息。它使您的库存保持最新,并防止冗余样品堆积在冰箱中,占用不必要的空间。您还可以通过样品管理软件更容易地找到样品,节省大量时间(和电能,如上所述)。改用数字实验室记录本也可以节省大量纸张和时间。

4) 减少浪费——践行 4R 方法

请反思实验室耗材、化学品和试剂的使用情况,以减少总体浪费。

实验室物品的储存和整理至关重要。您可以建立一个库存系统,高效追踪样品和其他物资,并节省资金。英国伦敦大学学院(UCL)为我们做出了示范。通过实施化学品库存计划,他们每年可以节省约 9 万英镑。^[18]



一次性耗材会产生垃圾袋的污染废物

减少浪费还意味着重新思考您的实验和方法。您可以践行“减少、重用、替换、反思”的4R方法,减少实验室浪费情况。^[19]请看下列4R方法示例:

- a.减少: 单板连续稀释点样法(SD-SDS)是一种简单、小型的细菌和酵母平板计数测定方法。请不要在一个稀释系列中使用总共六个琼脂平板,而是将每个稀释系列中的10-15个微滴涂抹到分为六个部分的琼脂平板上。^[20, 21]
- b. (b) 重用: 如果实验室执行重复使用50毫升锥形管的规定,可在一个月内节省1,670根塑料锥形管。这相当于一年内节省20,000根锥形管^[1]。一项研究表明,与一次性试管相比,重复使用50毫升试管可以减少11倍碳足迹^[22]。当然,这仅限于对无菌和纯度没有严格要求的应用。
- c. 替换: β -巯基乙醇在生物化学中常用作还原剂,但也有毒有害。我们可以使用二硫苏糖醇(DTT)来代替它,例如在RNA提

取应用中^[23]。胎牛血清(FCS)是细胞培养基的常见成分。人们开展了大量研发工作,以替代这种成分。本网站对无FCS培养基进行了全面概述^[24]。

- d.反思: 实验室通常遵循固定的工作流程。DNA和RNA的储存温度必须是-80°C吗?这视情况而定。相关实验表明,DNA可以在4°C下储存12个月^[25],RNA可以在-20°C下储存1个月^[26]。您可以根据这个结果检查一下自己的样品。重新考虑您的移液习惯。您可以使用分液器,而不是每完成一种溶剂的移液操作后就使用新的移液器或更换移液器吸头。通过调整附件,您甚至可以完成微升级移液操作。请针对试剂、化学品和试剂盒执行“先进先出”的方法,以免忽略试剂和超过有效期使用。

最后,您可以分享关于实验失败的经验。通过报告失败的实验,您可以阻止其他人浪费时间和资源。请分享最佳实践。

实验室环境——保持井然有序

妥善整理实验室物品也有助于提高实验室的可持续性。实验室里有很多特殊仪器——但它们每天实际使用了多少小时呢?其他拥有相同需求的实验室是否同样购买了这些仪器呢?这真的有必要吗?我们为什么不将共享车概念应用于实验室仪器呢?目前,已经存在类似openiris的免费在线数据库平台。^[27]

我们还可使用集成在PCR循环仪或中央云仪器管理系统中的预约系统。

当我们在生活中购买产品时,我们已对上面的环保和有机认证标志了如指掌。那么,实验室产品呢?

如今,我们可以通过各种认证标志,例如化学品、耗材和仪器的ACT[®]标志,冰柜和冰箱的ENERGY STAR[®]标志等,让我们的实验室采购更加可持续。请您在下次采购时,选择这些带有独立认证标志的产品。



实验室产品可持续性能的独立产品认证

采用可持续的方式简化您的采购流程。如上所述，产品运输是间接二氧化碳当量排放的一部分。请将库存保持在最新状态，定期检查并收集需求，合并订单采购。这不仅可以节约成本，还可减少运输距离和排放。良好的库存管理可以将 24 小时内的直运需求降至最低。

如果受邀参加现场会议，请重新思考自己的出行习惯。请选择火车而非飞机出行。您可以利用在火车上多余的时间工作或者放松。

建立可持续实验室始于一些简单的举措

实验室工作会对能源、水和其他资源造成巨大影响。然而，我们每个人都可以身体力行，做出自己的贡献。请使用本文提供的措施清单来指导您的行动。您可以参照这些清单，即

刻采取行动。也许当您下次走进实验室的时候，又会涌现更多好的改进想法。

参考文献

- [1] [Online]: <https://doi.org/10.1099/acmi.0.000173>
- [2a] [Online]: <https://www.chemistryworld.com/opinion/reducing-plastic-waste-in-the-lab/4011550.article>
- [2b] [Online]: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- [3] [Online]: <https://doi.org/10.1038/528479c>
- [4] [Online]: <https://tu-dresden.de/tu-dresden/arbeitsschutz-umwelt/umweltschutz/umweltberichte>
- [5] [Online]: <https://benchlearning.de/wp-content/uploads/2020/12/IFMA-Benchmarking-Newsletter-2020.pdf>
- [6] [Online]: [https://www.co2online.de/energie-sparen/strom-sparen/stromspartipps/stromverbrauch-im-haushalt/#c120951](https://www.co2online.de/energie-sparen/strom-sparen/strom-sparen-stromspartipps/stromverbrauch-im-haushalt/#c120951)
- [7] [Online]: https://www.etcc-ca.com/sites/default/files/reports/ceel_market_assessment_et14pge7591.pdf
- [8] [Online]: <https://www.labmanager.com/business-management/make-every-drop-count-4975>
- [9] [Online]: <https://chesc.org/wp-content/uploads/UCR-Autoclave-study-2016-PROCUREMENT-DF.pdf>
- [10] [Online]: <https://doi.org/10.1101/2021.03.08.434372>
- [11] [Online]: <https://doi.org/10.1038/s41550-020-1207-z>
- [12] [Online]: University of Copenhagen, https://sustainability2030.ku.dk/pdfer/B_redygtighedsm_I_2030_UK.pdf_copy
- [13] [Online]: https://groencampus.ku.dk/pdf/freezer_test.pdf
- [14] [Online]: https://www.ed.ac.uk/files/atoms/files/efficient-ult-freezer-storage_0.pdf
- [15] [Online]: <https://www.freezerchallenge.org/the-challenge.html>
- [16] [Online]: <https://doi.org/10.3390/en11113105>
- [17] [Online]: <https://chesc.org/wp-content/uploads/UCR-Autoclave-study-2016-PROCUREMENT-DF.pdf>
- [18] [Online]: <https://www.ucl.ac.uk/sustainable/case-studies/2019/aug/chemistrys-chemical-cataloguing>
- [19] [Online]: https://www.eppendorf.com/uploads/media/Poster_epT.I.P.S_How-to-Become-More-S_eng_01.pdf
- [20] [Online]: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X15000454?via%3Dihub>
- [21] [Online]: <https://www.youtube.com/watch?v=LEqmWmBVIpA>
- [22] [Online]: <https://doi.org/10.1101/2022.01.14.476337>
- [23] [Online]: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.027>
- [24] [Online]: <https://fcs-free.org/>
- [25] [Online]: https://www.colorado.edu/ecenter/sites/default/files/attached-files/seracare_stability_of_genomic_dna_at_various_storage_conditions_isber2009.pdf
- [26] [Online]: <https://www.sustainable.pitt.edu/wp-content/uploads/2020/05/RNA-stability-4-20-10-FzTh-ISBER-Poster-2011.pdf>
- [27] [Online]: <https://iris.science-it.ch/landing/?ReturnUrl=%2f>
- [28] [Online]: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.12.015>
- [29] [Online]: https://sustainability2030.ku.dk/pdfer/B_redygtighedsm_I_2030_UK.pdf_copy

www.eppendorf.cn

艾本德中国

服务热线: 400 885 6070 电子邮件: marketinfo@eppendorf.cn