

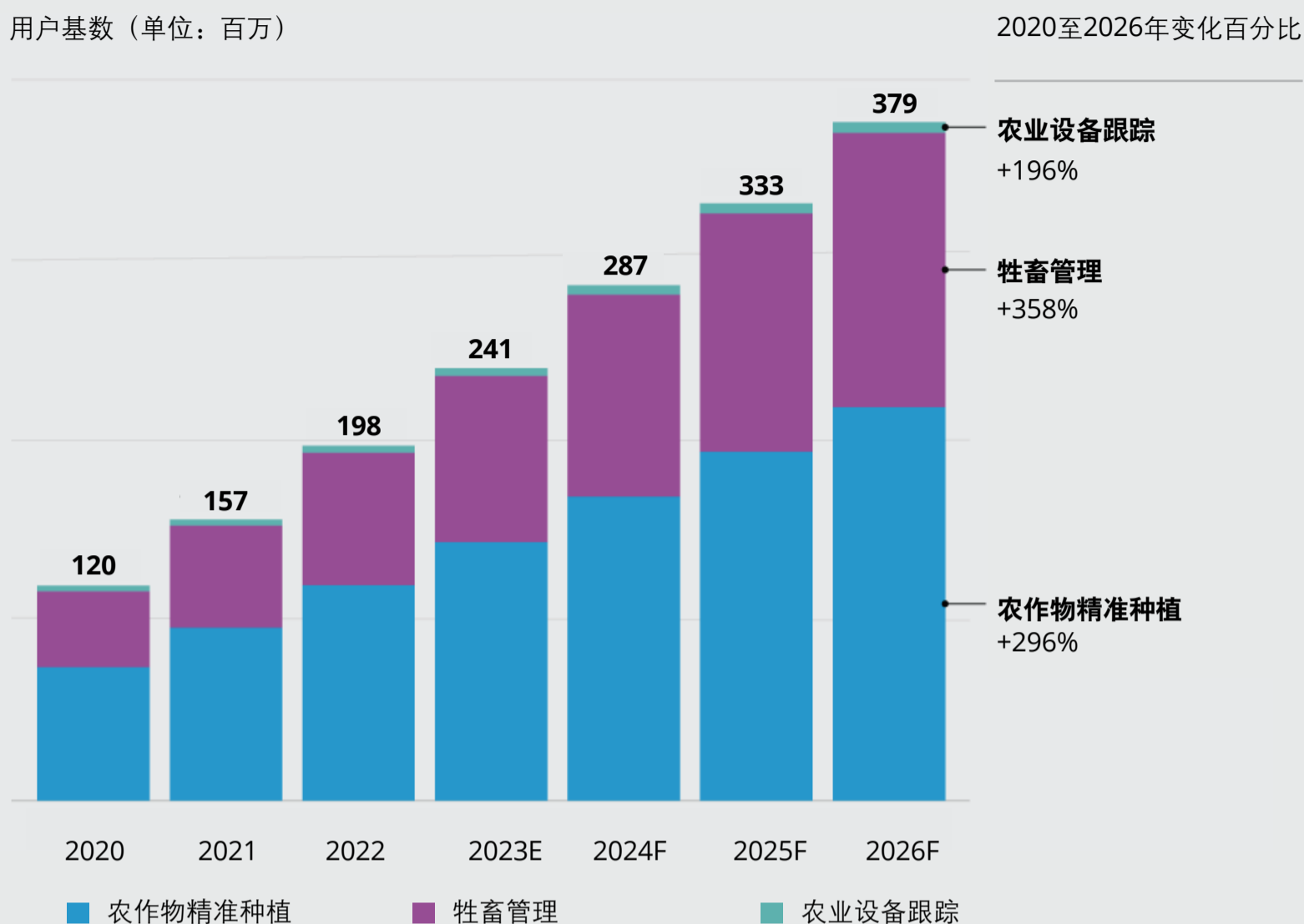
脚踏实地：科技加持可持续农业，2024年预计收入180亿美元

农业科技旨在让生产者和农民使用更少的农药、能源、水源和资源种植更多的粮食，从而提高农作物产量

德勤预计，到2024年底，农作物精准种植、牲畜管理和农业设备跟踪的物联网终端用户基数将实现近3亿，较2022年的2亿用户增长50%（图1）。此外，2024年全球农业科技收入（包括物联网端点和连接设备）将达180亿美元，2020年至2024年期间的复合年均增长率为19%。¹气候问题、地缘政治紧张局势、水和能源短缺、化肥成本上升以及生产方式效率低下都给农业生产施加了压力。农业科技解决方案有助于提高农作物产量、提升机械使用效率和妥善管理牲畜、完善收成规划以及促进采用可持续的农产品生产方法。

使用上述技术有望减少排放，降低农业成本投入。例如，2022年德勤与美国环保协会合作的一项研究预计，2020年至2050年期间仅精准农业科技解决方案就有可能减少98亿吨二氧化碳排放，到2030年预计可为农民节省400亿至1,000亿美元的成本。²

图1: 到2024年底, 农作物精准种植、牲畜管理和农业设备跟踪的物联网终端用户基数将实现近3亿
2020-2026年全球农业科技用例终端用户基数 (出货量单位: 百万)



价格上涨和供应问题加剧粮食安全忧患

农业养活数十亿人口的同时, 消耗了自然资源, 加剧了气候变化。当今全球农业和食品行业的二氧化碳当量占全球总排放量的20%以上³。灌溉用水占淡水取用量的40%。与此同时, 2023年面临粮食安全威胁的人口或从疫情前的1.35亿增至3.45亿。⁴预计到2050年, 世界人口将接近100亿 (比目前多20亿⁵), 粮食需求压力必然日益加剧。同时, 农民平均年龄不断上升, 而以农业为主业的农民数量却在急剧下降。⁶

虽然粮食危机迫在眉睫, 解决问题刻不容缓,⁷但采用现有的耕作方法扩大粮食生产规模或将导致资源浪费和效率低下。劳动力、化肥和设备成本增加, 商品价格随之上涨。⁸俄乌战争、贸易制裁、疫情影响以及其他地缘政治问题导致物流和粮食供应中断。⁹如今, 即使是发达国家, 粮食安全问题也备受关注。¹⁰

然而, 农业科技有助于解决其中许多问题。

发挥技术在农田和牲畜中的应用价值，实现粮食增产

新的农业科技解决方案有望以高效率、低成本的方式扩大农业生产规模（图2）。例如，水耕法无需使用土壤，而是在养分丰富的水中栽培作物，还能提高产量。¹¹

此外，至少有10家大型科技和电信公司正在通过创新解决方案推动农业产业发展，如基于人工智能的种植方法；农场和牲畜数据管理平台；以及卫星、宽带和物联网支持的智能农业和垂直农业。¹²此外，俄乌战争在一定程度上导致宏观经济走势不乐观，但鉴于乌克兰对全球粮食供应至关重要，风险资本家（VC）仍继续投资农业科技初创企业。2022年，风险资本家投入106亿美元，¹³2023年第一季度，风险投资家与172家农业科技初创企业达成交易，投资额共计19亿美元。¹⁴

农业科技解决方案有助于彻底改变农业生产方式，尤其是在耕地、种植和作物保护、采摘以及牲畜管理等领域（图2）。具体如下：



耕地

物联网设备和卫星连接可多方面获取重要的农场数据。例如，农民和农业顾问可以收集土壤类型、土壤湿度和天气条件的相关数据，使用手持设备记录观察结果并上传至数字农场管理平台。深入分析相关数据有助于估算植物所需的水肥量、确定作物保护需求，从而实现精准农业。¹⁵预测性种植解决方案甚至还能分析土壤湿度和预期降雨量等小气候数据，以便选择合适的农业种植区域和采摘区域。¹⁶

安装在喷水器臂或喷头上的传感器有助于调节水流、提升精度、精确喷洒水量，并对农田类型和计划种植的作物进行分析。¹⁷相较于传统灌溉方法，精准移动灌溉系统可节水30-50%。¹⁸此外，经证实，与效率较低的灌溉方式相比，滴灌和微灌系统可提升高达70%的用水效率。¹⁹

种植和作物保护

农民还可以利用农业科技实时做出作物种植决策并监测作物健康状况。印度的农业智能应用便是一例。²⁰值得一提的是农田红外测绘：农民将红外测绘和光谱传感器、芯片，以及无人机上安装的摄像头相结合，收集大量数据（如土壤湿度、植物健康状况等），再由人工智能模型进行分析并分享洞察，以便农民开展定向喷洒作业。²¹早期休耕除杂草的系统（开发于2020-2021年）显示，有可能节省97.5%的化学品使用量。无人机拍摄的空中图像可定位杂草，并将图像上传至处理平台，农民可借助这些洞察在杂草所在地点精准施药。²²近期，人工智能识别杂草的准确率高达96%，还能精确喷洒目标作物。²³

自动除草机每小时可除10万株杂草，一天可除草15英亩以上的洋葱地，而工人在相同时间内只能除草一英亩洋葱地。²⁴德勤预计，2023年全球农业无人机出货量将达到700-800万架。²⁵按照每台设备500美元至700美元的均价计算，无人机市场价值至少可达到40亿至50亿美元。²⁶先进的大型无人机价格高达20,000美元。²⁷假定无人机市场每年增长10%，到2024年，由无人机带动的半导体芯片、传感器和连接模块的收入有望达到约5亿美元（或占农业无人机市场的10%）。

采摘

美国和英国的果蔬种植者在农忙季节时都会面临采摘工人不足，²⁸农业机器人便足以解决这一难题。新鲜番茄和草莓等浆果类需要轻拿轻放，此前并不适合机器人采摘。为了满足这一特殊需求，农业科技初创公司正在试用拥有仿生手臂的农业机器人，它们可以在复杂环境下使用路径规划，并判断水果的品质和成熟度。²⁹

澳大利亚昆士兰州的一家仓库尝试利用配备计算机视觉、机器学习和机器人抓取功能的机器人，使其配合普通员工打包鳄梨。³⁰同样，采摘机器人利用计算机视觉、人工智能成熟度检测和机器人的灵活性，将水果从藤上轻轻摘下。传感器对数据进行三角测量，确保农业机器人在采摘过程中能够区分水果与其他物体（如叶子、茎等）。³¹

生产力和效率的提高以及劳动力短缺问题的缓解将带动对农业采摘机器人的需求。2022年，全球农业采摘机器人的产值约为7亿美元，到2025年，全球采摘机器人的产值有望达到10亿美元，年增长率为15%-20%。³²

牲畜管理

澳大利亚、美国和拉丁美洲正在试验以虚拟围栏代替传统的实体围栏来管理牲畜。³³借助于全球定位系统跟踪、音频刺激和温和电信号，牛群的放牧可以控制在限定范围内，农民可以管理放牧时间及地点，监测牛群的健康状况，提高其生产率。例如，澳大利亚的农民利用运动传感器技术分析牛群的运动情况，并利用这些数据将牛的生产率提高了约20%。³⁴此外，牧场主还可以灵活改变牧场边界，例如让牛群远离近期遭烧毁或牧草匮乏的草地等生态脆弱的区域。³⁵全球定位系统和加速度计传输的数据可提供大量有关动物健康状况和牛群内部社会互动的洞察。³⁶

按每个牛项圈装置50美元、每个基站12,500美元计算，³⁷为100头奶牛建造一个完整的、一英里长的虚拟围栏需要花费近20,000美元，而传统的实体围栏因类型和所用材料而异，价格10,000美元至100,000美元不等。³⁸

变革之路

尽管有一系列解决方案和大量投资，但通过技术改造农业的道路并非一路顺遂。

全球大部分粮食由小农户生产，但他们面临筹资难题，无法满足农业综合企业的基础需求。³⁹对于农民来说，上述农业技术风险大、成本高，而且他们往往并不全然了解可用于农业用途的物联网设备连接选项，因此拒绝采用技术。

然而，2023年，随着相关法规日渐严格，农业综合企业承受着更大的去碳化压力。此外，农民还面临着利润压力和高昂的资源成本，因此农业科技成为助力农业加速向数据驱动决策转变的重要手段。农民、研究实验室和农业顾问开始携手解决各种障碍，例如，搭建数据集成平台，连接数据孤岛，以此解决互操作性问题。⁴⁰

小结

若农业科技解决方案提供商力求提高农业可持续发展程度并提高农业生产效率，不妨考虑如下几项举措：

推进农民的农业科技选项培训：让农民学习各种类型的网络连接和物联网回程连接选项。如果他们能与农业生态系统参与者密切合作，发现针对特定用例的连接需求（例如在作物浇灌系统中使用Wi-Fi或2G/3G，无需更先进的4G/5G或卫星网络），就可能有改进的空间。⁴¹

协助技术实施工作：科技公司可以支持开发成本效益评估工具，帮助农民评估和权衡非农业科技与农业科技耕作方法。此外，科技公司还可以协助农业生态系统参与者找出特定问题所需的连接技术，例如，利用边缘计算和2G/3G蜂窝链接，在畜牧场实施卫星连接牛圈，建立虚拟围栏。⁴²这一过程可能需要评估贯穿整个供应链数据的性质、来源、时间和数量；从农场到餐桌允许实施可信数据交换。⁴³重要的是，农业科技公司需带着敏锐的眼光去收集适量数据和建立数据管理流程，以便消除农民对隐私和数据使用的顾虑。

创建农业生态系统的综合数据视图：在一个共享数字平台上融合与土地、土壤、气候和水有关的细粒度数据，可帮助农民和生态系统的其他参与者深入了解提高生产率和质量的最有力工具。亟需整合来自云、卫星、移动设备、传感器网络和农业机器人的数据，并利用人工智能进行分析，在农民、科学家、研究人员、农业顾问和咨询师都能使用的通用数据共享平台上提供洞察。⁴⁴

实现可持续发展并衡量成效: 从社会责任的角度来看, 农民可能需要提供对自然、气候和动物福利的影响数据。目前已有一些新颖的方案, 如使用甲烷抑制剂来控制牛打嗝时的牲畜排放⁴⁵, 以及在农田上安装太阳能光伏板来产生太阳能 (又称农业光伏) ⁴⁶。此外, 农业科技提供商还可以开发对相关指标进行测量、报告和验证的技术, 帮助农民证明其可持续农业实践的成效。环境、社会和治理 (ESG) 法规层出不穷, 能够获取数据以便遵守可持续发展框架 (如科学碳目标倡议和自然相关财务信息披露工作组) 并跟踪排放信息的技术将变得至关重要。关于用水方面, 监测和优化灌溉用水的技术或备受重视, 例如, 基于LoRA的分析技术, 配合D2D⁴⁷或基于移动 (4G/5G) /Wi-Fi的传感器网络, 便能跟踪、规划和分配精确的植物用水量。⁴⁸

农业科技潜力无限, 不仅有助于解决困扰农业数十年的长期挑战, 还能为农民和消费者带来切实利益: 降低成本、提高投资回报率、通过减少资源压力来推动可持续增长, 以及提升食品的多样性和实惠性。

作者

Karthik Ramachandran
India

Gillian Crossan
United States

Ben van Delden
Australia

Duncan Stewart
Canada

Ariane Bucaille
France

尾注

1. 数据和分析基于公开数据来源。第三方资料显示, 2020年农业科技(包括作物管理解决方案、GPS田间测绘、供应链管理解决方案以及软件和分析)的收入将达到90亿至100亿美元。根据农业科技专家访谈以及我们对该市场的分析, 预计2020-2025年期间农业科技市场收入的年均复合增长率为19%, 预计2024年农业科技收入将进一步达到180亿美元, 到2025年将超过210亿美元。
2. Environmental Defense Fund and Deloitte, [Pathways to net zero: Innovation Imperative](#), October 2022.
3. 2019年, 农业食品系统承担了全球人为二氧化碳当量排放的31%。进一步阅览: FAOSTAT Analytical Brief 31, [“The share of agri-food systems in total greenhouse gas emissions, Global, regional and country trends, 1990-2019”](#), 2021年。
4. 基于[World Food Programme: A global food crisis](#)发布的数据。此外, 由于粮食价格上涨和供应问题, 全球仍有数百万人无法获得基本食品。2020年, 全球三分之一的人口(约24亿人)营养不良, 较2019年增加了3.2亿人。进一步阅览: 联合国统计司, [“End hunger, achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture”](#)。
5. United Nations page, [“World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100,”](#) accessed September 28, 2023.
6. 根据[the World Bank data on employment in agriculture](#)的数据, 农业就业率从1991年的43%降至2021年的26%。另外, 根据[Employment in Agriculture - Our World in Data](#) (访问于2023年9月28日)的数据, 全球农业就业比例从2000年的18%下降到2019年的12%。数据来源: Max Roser (2023年), [“Employment in Agriculture”](#), 在线发表于OurWorldInData.org。摘自: <https://ourworldindata.org/employment-in-agriculture> [在线资源]。
7. 世界卫生组织相关数据(2021年6月9日)证实, [营养不良](#)是一项全球性挑战, 对于发展中国家来说更是如此。
8. 特别是在劳动力问题上, 移民限制(其中包括几项新冠疫情期间出台的移民限制措施)影响了澳大利亚等地区的劳动力流动性, 因为其农业地域类型对熟练劳动力的需求更大, 并依赖于外来劳动力。
9. 例如, 18个国家(截至2022年6月30日)采取了与贸易有关的政策措施, 影响了全球卡路里市场5.5%的贸易。更多详情, 参见IMF报告: [“Tackling the global food crisis: Impact, policy response, and the role of the IMF”](#), 2022年。
10. 例如, 2022年的某段时间, 美国12.8%的家庭处于粮食不安全状况(高于2021年的10.2%)。其中, 5.1%(或680万户)的家庭面临重度粮食不安全状况(高于2021年的3.8%)。进一步阅览: Rabbitt, M.P., Hales, L.J., Burke, M.P., 以及Coleman-Jensen, A. (2023年)。 [Household Food Security in the United States in 2022](#) (Report No. ERR-325), 美国农业部经济研究所。
11. Habeeba I, Vinothini G, Rajasekar G, [“Hydroponics-The Future Farming,”](#) Just Agriculture, Vol. 3 Issue-7, March 2023.
12. 基于德勤对部分全球大型科技和电信公司在开发和推出农业科技解决方案和产品方面的努力和举措所做的研究和分析。

13. PitchBook, [2022 Agtech Overview](#), March 16, 2023.
14. PitchBook, [Q1 2023 Agtech Report](#), May 4, 2023.
15. 例如, 美国的农业研究人员已结合使用无人机、专业相机和传感器, 更深入地了解作物、土壤和天气, 从而帮助农民准确掌握灌溉时间和灌溉量。进一步阅览: Dan Elliott, [“Farmers are using drones to help save an endangered US river”](#), 2019年8月14日。
16. 基于行业专家的访谈洞察。亦可参见: Leilei He et al, [“Fruit yield prediction and estimation in orchards: A state-of-the-art comprehensive review for both direct and indirect methods,”](#) 《Computers and Electronics in Agriculture》, 第195卷, 2022年4月 (2023年9月29日通过ScienceDirect访问)。
17. Drashti Bhavsar et al, [“A comprehensive and systematic study in smart drip and sprinkler irrigation systems,”](#) Smart Agricultural Technology, Volume 5, October 2023 (accessed via ScienceDirect, September 29, 2023).
18. GeoPard Agriculture blog, [“Role of precision irrigation methods in modern farming,”](#) accessed September 29, 2023.
19. AGRIVI, [“Water sustainability: How to grow your farm and take care of the environment,”](#) Agronomy blog, accessed September 20, 2023.
20. 在印度, 智能农业技术助力农民根据当地基本条件, 就作物选择和病虫害管理做出更好的决策。农作物选种技术、一揽子农业实践和病虫害防治技术的采用有望大幅提高农业生产率。初创公司利用智能农业技术为农民提供信息, 使其能够根据当地条件更好地调整作物种植方式。进一步阅览: B K Jha, [“Revolutionising farming through agronomic intelligence,”](#) altLIPI (2021); Suparna Dutt D’ Cunha, [“For India’s Farmers It’s Agtech Startups, Not Government, That Is Key,”](#) 福布斯 (2018年)。
21. 安装在拖拉机上的摄像头可以通过传感器实时分析田间状况, 并根据情况施用或喷洒作物所需的特定产品且保证最佳用量, 无论是氮肥、植物生长调节剂、脱叶剂、杀菌剂还是除草剂。进一步阅览: Dan Miller, [“Raven, Augmenta launch Sense and Act tech,”](#) DTN Progressive Farmer, 2023年4月39日; Heather Hall, [“The smart future of agriculture,”](#) Design World, 2023年7月11日。
22. Solar Impulse Foundation, [“Fallow weed detection,”](#) January 15, 2021.
23. Coco Liu, [“AI weed-jilling drones are coming for the mega farms,”](#) Bloomberg, April 19, 2023.
24. Kristin Houser, [“Farming robot kills 200,000 weeds per hour with lasers,”](#) Freethink, October 19, 2022.
25. 德勤分析基于公开数据来源, 包括[Future farming](#) (2023) 和[Counterpoint Research](#) (2023)。
26. JOUAV blog, [“How much does a drone cost in 2023? Here’s a price breakdown,”](#) September 15, 2023.
27. UAV Training Australia (UAV & Drone blog), [“Drones in Agriculture: Weighing up the costs involved,”](#) March 15, 2022.

28. Stephen Gossett, "[How Root AI's agricultural robots are powering the farmtech revolution](#)," Built In, May 19, 2020.
29. Stephen Gossett, "[How Root AI's agricultural robots are powering the farmtech revolution](#)," Built In, May 19, 2020.
30. Australian Tree Crop, "[Trials underway for new packing and sorting technology at avocado packhouse](#)," October 22, 2020.
31. Stephen Gossett, "[How Root AI's agricultural robots are powering the farmtech revolution](#)," Built In, May 19, 2020.
32. Astute Analytica report on [Harvesting Robot Market](#), published February 21, 2023 (summary news release, accessed September 29, 2023).
33. WIPO website, [Chipsafer – the Cattle Tracking System that locates livestock](#).
34. Telstra article, "[IoT in focus: Transforming the agriculture industry](#)," October 4, 2018.
35. USDA Northwest Climate Hub, "[Virtual Fencing: A Climate Adaptation Strategy](#)."
36. Future Learn, "[Automated Farming: Virtual Fencing](#)."
37. Association for Computing Machinery (ACM Tech News), "[Virtual fences for cattle find a home on the range](#)," May 22, 2023.
38. Andy Sparhawk, "[How much does farm fencing cost?](#)," Angi, May 27, 2021.
39. 基于与德勤澳大利亚和欧洲农业综合企业专家的访谈，我们注意到，澳大利亚和南亚地区的大多数农民不仅是小规模农户，而且他们的农业综合企业都是家族企业，因此难以筹集资金和获得信贷。
40. 例如，Data Farming针对农民和农学家推出了基于云的平台 ([Digital Agronomist](#))，这是一个作物监测工具，可综合访问1,000万幅卫星地图，使用户能够绘制全球数百万公顷的地图。
41. National Broadband Network and National Farmers Federation (Australia), [Connecting Australian Agriculture](#), November 2021.
42. 一项对照实验显示，虚拟围栏处理牧场中的奶牛仅4%的时间在焚烧区吃草，而没有虚拟项圈提示的奶牛有40%的时间在焚烧区吃草。进一步阅览：USDA Northwest Climate Hub, "[Virtual Fencing Excludes Cattle from Burned Areas in Sagebrush Steppe](#)。”
43. Integrity Systems, [Australian AgriFood Data Exchange](#).
44. 例如，gaiasense系统将包括大数据、云、物联网、人工智能/机器学习和语义网在内的各种技术，以及土壤科学、农业工程、气象学、农艺学、生物科学和环境科学等跨学科领域。参见：Neuropublic page, [gaiasense smart farming system](#).

45. Rod Nickel, "[Canadian dairy cows among first in world bred to belch less methane](#)," CBC/Radio-Canada, August 8, 2023.
 46. pv magazine, "[TSE and the agrivoltaic development in France](#)," June 8, 2023.
 47. 欲了解更多有关D2D技术的优势和价值, 请参阅2024科技、传媒和电信行业预测中的“卫星直连手机”章节。
 48. 全球85%的淡水资源用于灌溉, 因此需酌情采用基于农业科技的方法对当前的灌溉方法进行重大升级。例如, 与传统的浇灌方法相比, 基于LoRA (大型语言模型的低阶适应) 的机器学习解决方案耗水量更少, 用水量减少46%, 而且植物状态比传统浇灌方法更好。进一步阅览: G.S. Prasanna Lakshmi等, "[An intelligent IOT sensor coupled precision irrigation model for agriculture](#)," Measurement: Sensors, 第25卷, 2023年2月 (通过ScienceDirect)。
-

致谢

The authors would like to thank **Dr. Daniel Terrill, Panos Kalogiorgas, Pete Edmunds, Negina Rood, Gautham Dutt, and Ankit Dhameja** for their contributions to this article.

Cover image by: **Manya Kuzemchenko**