



合成微生物群落用于工程化气候智能型 微生物肥料

刘妍^{1#}, 陈跃^{1,2#}, 于艳雪^{3#}, Che ok Jeon⁴, Mohammad Bahram^{5,6}, 翟俊峰^{3*}, 魏海雷^{7*}, 王富强^{8*}, 曹晓风^{9*}, 贾保磊^{1*}

¹湘湖实验室, 杭州, 中国

²浙江省农业科学院园艺研究所, 杭州, 中国

³中国质量检验检疫科学研究院, 北京, 中国

⁴中央大学生命科学系, 首尔, 韩国

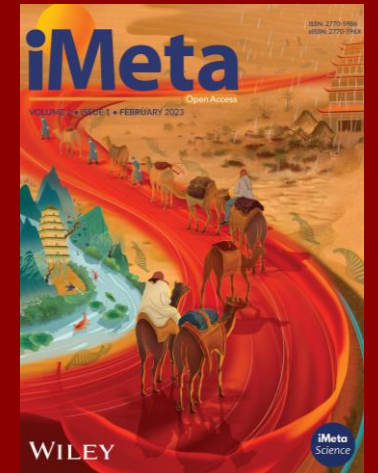
⁵奥胡斯大学技术科学学院, 斯拉厄尔瑟自治市, 丹麦

⁶瑞典农业科学大学生态系, 乌普萨拉, 瑞典

⁷中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京, 中国

⁸海南省种业实验室, 三亚, 中国

⁹中国科学院遗传与发育生物学研究所, 北京, 中国

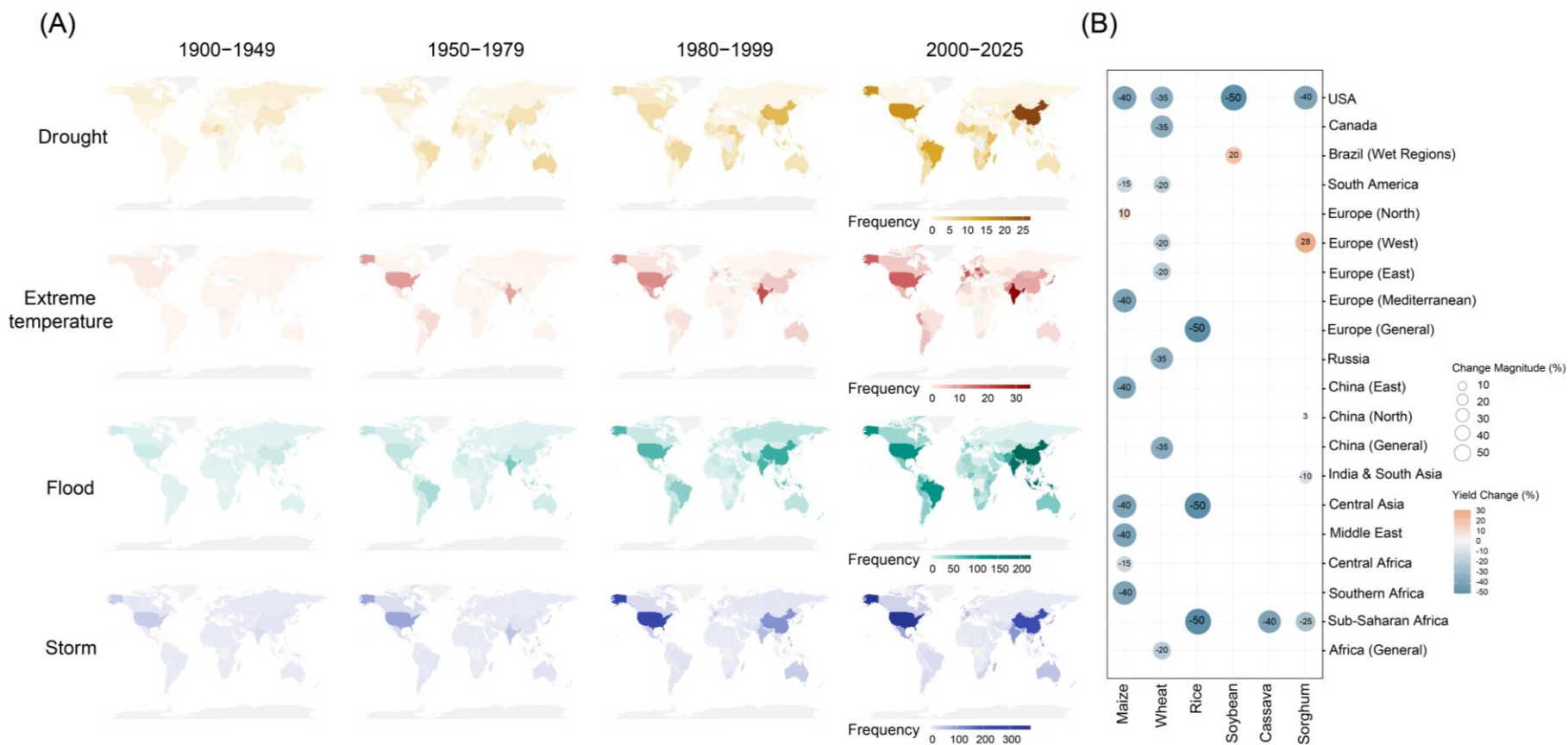


Yan Liu, Yue Chen, Yanxue Yu, Che ok Jeon, Mohammad Bahram, Junfeng Zhai, Hailei Wei, et al. 2026.
Synthetic microbial communities for engineering climate-smart biofertilizers. *iMeta* 5: e70140.

<https://doi.org/10.1002/imt2.70140>.



研究背景



气候变化正在损害粮食生产

- 极端高温、干旱、暴雨洪涝更频繁
 - 主粮作物产量下降且空间不均
 - 传统育种/投入策略不足以完全应对
- 需要“作物微生物的适应潜力”作为新抓手

图S1. 历史极端气候事件及其对未来农业生产力的预估影响



核心概念

气候智慧农业（CSA）的新路径：从“作物基因”到“作物——微生物整体（Crop holobiont）”

传统育种与管理主要聚焦

- 基因型决定的形态与生长性状
- 化肥与常规投入直接调控产量

当今气候不稳定

- 作物更难仅靠单一遗传改良稳定应对干旱、热浪、洪涝等
- 作物相关微生物群落微生物十分重要但常被忽视

Crop holobiont（全生物体）

- 作物并非由静态基因单独决定其功能
- 作物与其相关微生物共同组成一个“协同系统”
- 微生物伙伴通过多种调控途径影响作物生长发育、营养获取、胁迫响应与抗逆能力

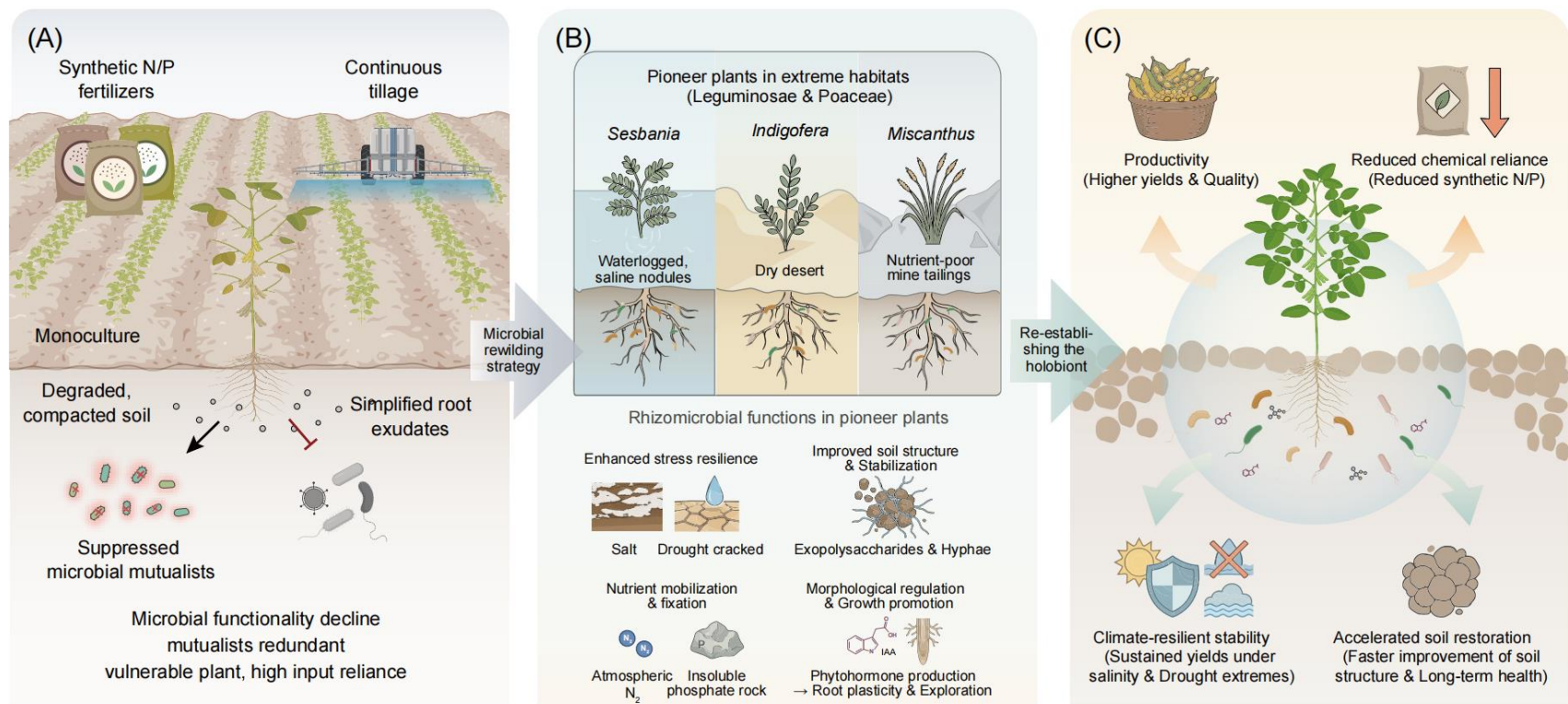
基于 holobiont 的 CSA 提升路径

- 让微生物成为“功能性调节者”
- 支持气候智慧农业的三大目标：提高产量/生产力、增强气候韧性（抗逆）、降低对合成肥料等投入的依赖

未来CSA需要从“作物中心模型”转向“作物-微生物系统工程”，本文提出利用合成微生物群落（SynComs）把这种调控能力工程化、可重复地部署到田间。



植物微生物组再野化



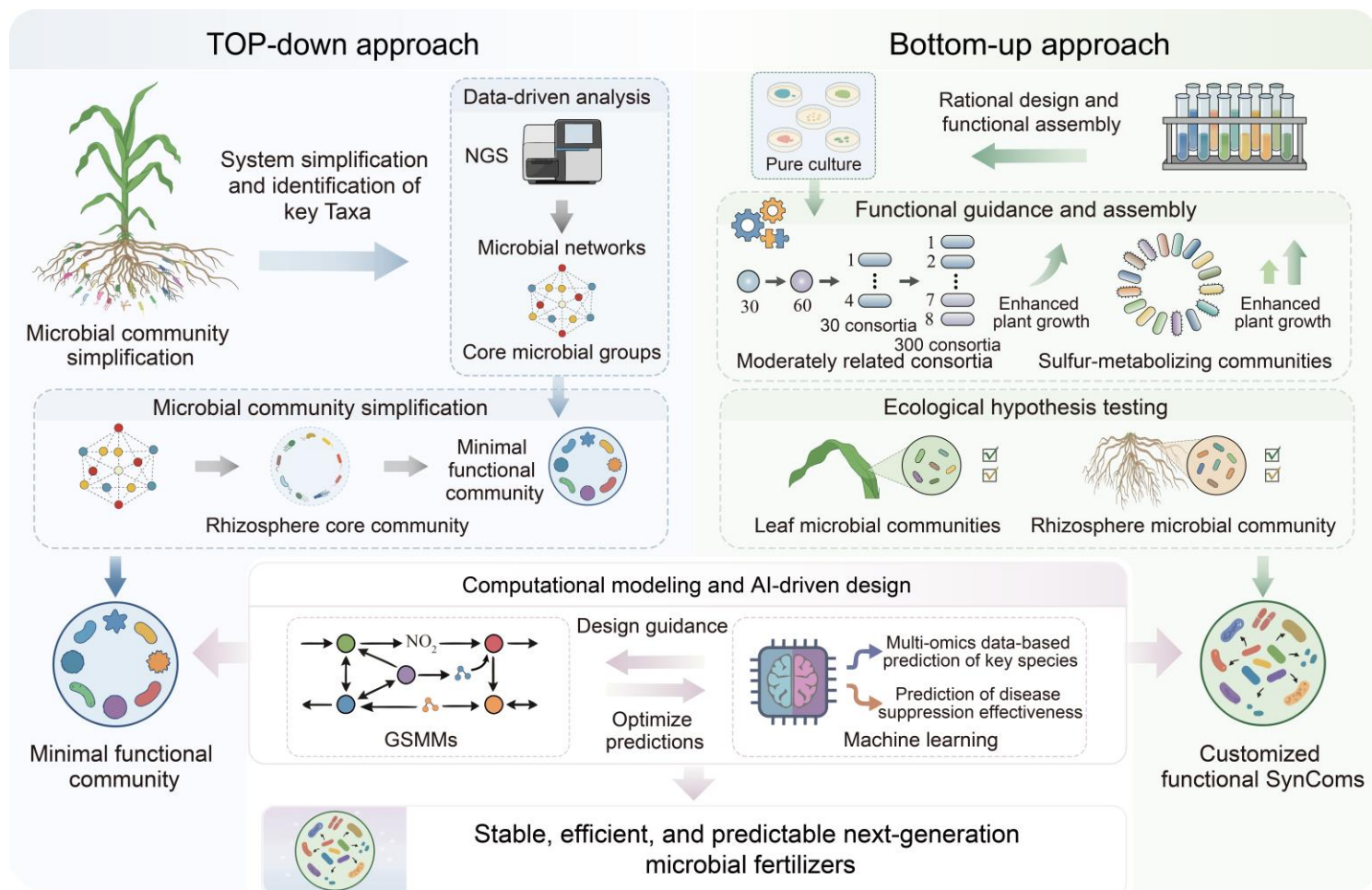
- 传统农业导致微生物功能下降
- 微生物再野化：把“丢失的生态功能”找回来
- 极端生境植物根际筛选压力适应微生物
- 构建合成菌群（SynCom）并实现植物促生与抗逆

图1. 利用先锋植物的微生物实现退化作物微生物再“野化”

以极端生境植物为“微生物资源库”，利用微生物再野化与SynCom工程把促生与抗逆功能重新接入农业系统。



SynCom构建策略 (Top-down & Bottom-up)

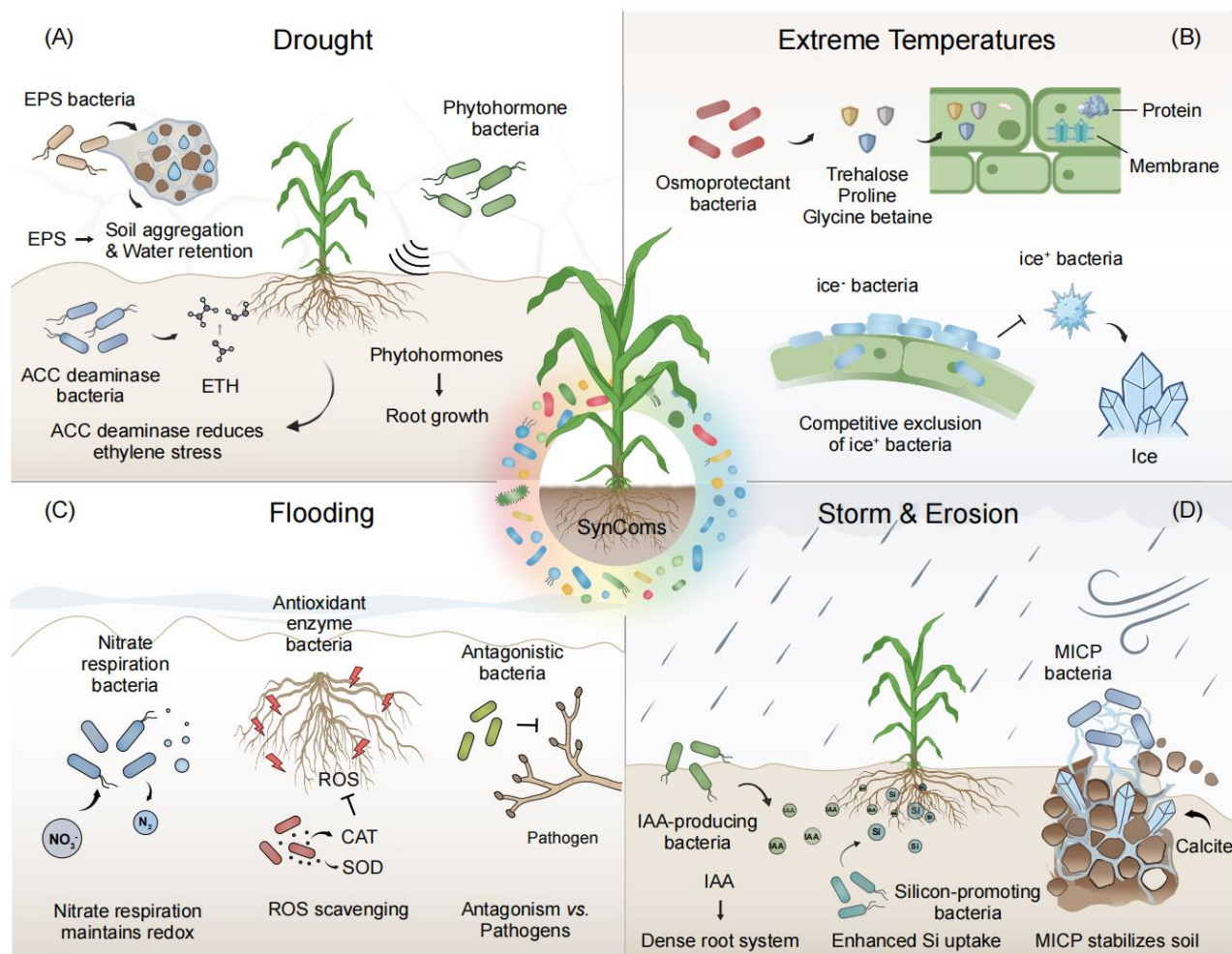


- 自上而下的方法通过基于网络的分析，将复杂的天然微生物群落提炼为最小的功能单元。
- 自下而上的方法利用特征明确的微生物分离株，并以生态学原理为指导来构建群落。
- 整合计算建模技术，通过模拟种间相互作用，能够实现对 SynComs 的理性工程化设计，使其具备可预测的代谢互补性与稳定性。

图S2. 合成微生物群落 (SynComs) 的设计策略



SynCom作为“气候缓冲器”助力气候智慧型农业



- 干旱：EPS/渗透保护物质/ACC脱氨酶/根系调控 → 提高耐旱
- 高温/低温：渗透保护剂、膜蛋白保护；冷害用抑制冰成核菌 → 稳定细胞结构
- 洪涝：硝酸盐呼吸维持氧化还原；CAT/SOD缓解ROS；抑制根腐病原
- 风暴/物理扰动：MICP钙质沉积加固土壤；硅增强细胞壁；IAA调控根系；生物膜保护伤口

图2. SynComs通过增强作物对干旱、极端温度、洪涝和风暴的抵御能力为气候智慧型农业提供支持



落地问题与未来研究方向：让SynCom真正进入田间应用

关键落地问题

- SynCom田间定殖能力
- 功能稳定性不足
- 生态安全与长期风险未充分评估



提出解决策略

- 利用优先效应提升占位能力
- 工程化递送体系提高上根与存活
- 用“功能模块/功能群”进行组
装设计
- 增强竞争适应性与抗干扰能力
- 从实验到田间的机制验证
- 开展长期生态风险评估



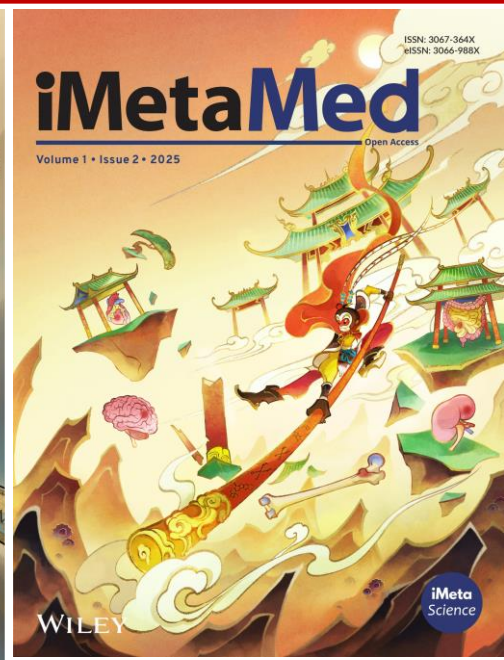
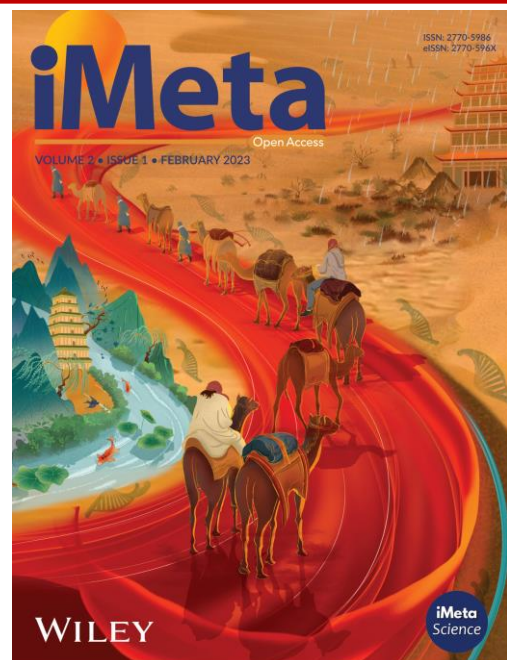
未来研究方向

- 提升田间可预测性
- 增强跨季节持久性
- 建立可规模化的安全评估体系
- 与现有农业实践耦合



iMeta(宏): 生物和医学顶级成果发表平台

iMeta WILEY



iMeta(宏)期刊由宏科学创办，对标**Cell**的生物/医学综合期刊，**SCIE**、**PubMed**收录，影响因子(IF)44.4，位列全球第47，中国第4，**分区表生物学1区Top**，外审平均21天，投稿至发表中位数87天(比同水平期刊快3倍)，欢迎高影响力的研究、方法和综述投稿，CNS外审稿件可带意见和回复转投。

iMetaOmics (宏组学)，定位IF>15对标**NC/SA**的生物/医学综合期刊，已被**ESCI**、**PubMed**等收录。

iMetaMed (宏医学)定位IF>15的医学综合期刊，欢迎投稿！


主页: <http://www.imeta.science>

出版社: <https://wileyonlinelibrary.com/journal/imeta>

iMeta: <https://wiley.atyponrex.com/journal/IMT2>

投稿: iMetaOmics: <https://wiley.atyponrex.com/journal/IMO2>

iMetaMed: <https://wiley.atyponrex.com/journal/IMM3>

 office@imeta.science
imetaomics@imeta.science

 宣传片

 [iMeta](#)



更新日期
2026/6/17