



跨物种代谢互补驱动维生素K2生物合成决定番茄枯萎病涌现性抑制

赵立志^{1#}, 李玉辉^{1#}, 赵建宁^{1, 2, 3}, Alexandre Jousset^{4, 5}, Francisco Dini-Andreote^{6, 7},
谭璐^{1, 2, 3}, 管秀静¹, 徐艳^{1, 2, 3*}, 韦中^{4, 5, 8*}

¹农业农村部环境保护科研监测所

²农业农村部产地环境污染防治重点实验室

³天津市农业环境与农产品安全重点实验室

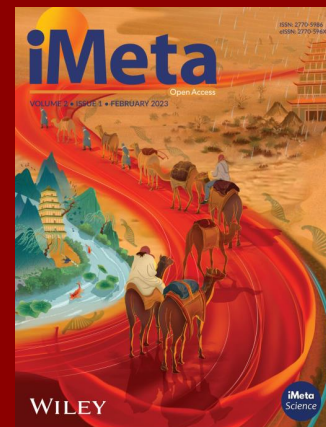
⁴江苏省有机类肥料创制与土壤健康调控重点实验室、国家有机类肥料工程技术研究中心

⁵江苏省有机固体废弃物资源化协同创新中心、教育部资源节约型肥料工程技术研究中心

⁶宾夕法尼亚州立大学植物科学系哈克生命科学研究所

⁷宾夕法尼亚州立大学哈克生命科学研究所“同一健康”微生物组研究中心

⁸南京农业大学草业学院

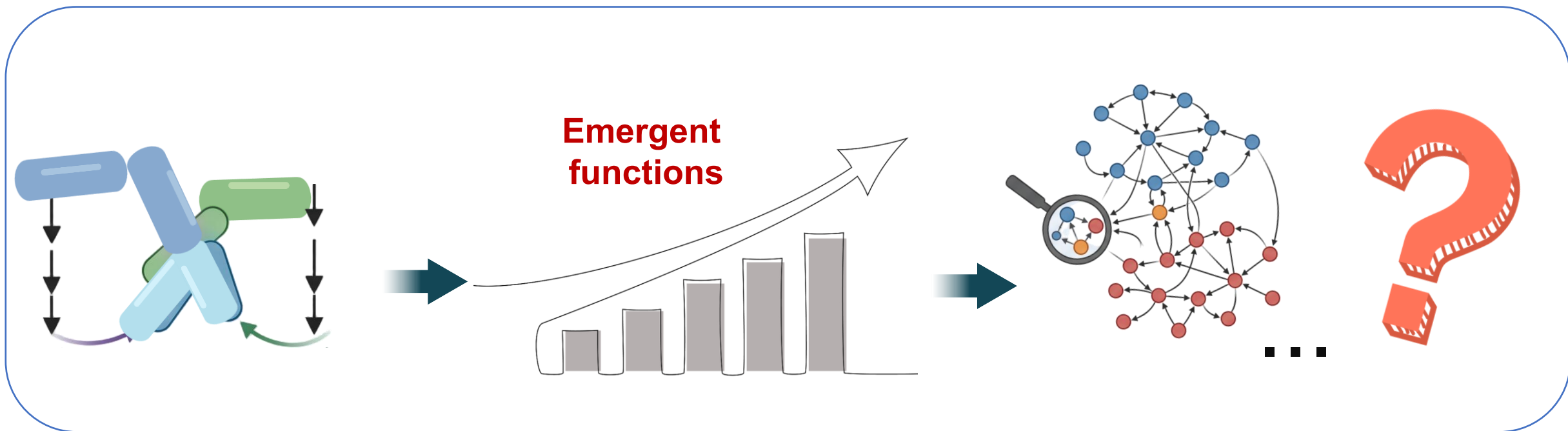


Lizhi Zhao, Yuhui Li, Jianning Zhao, Alexandre Jousset, Francisco Dini-Andreote, Lu Tan, Xiujing Guan, et al. 2026.
Cross Species Metabolic Complementation of Vitamin K2 Biosynthesis Determines Emergent Suppression of Tomato
Fusarium Wilt. *iMeta* 5: e70186. <https://doi.org/10.1002/imt2.70186>



背景简介

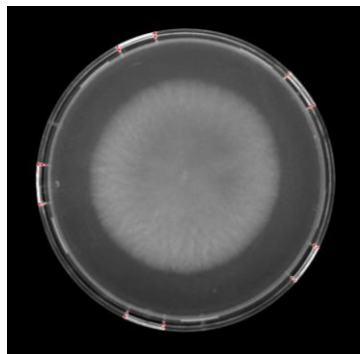
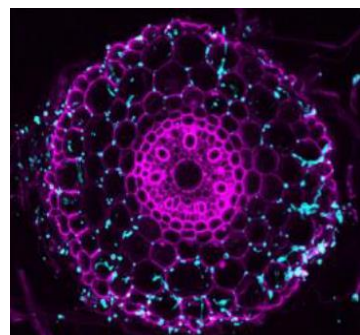
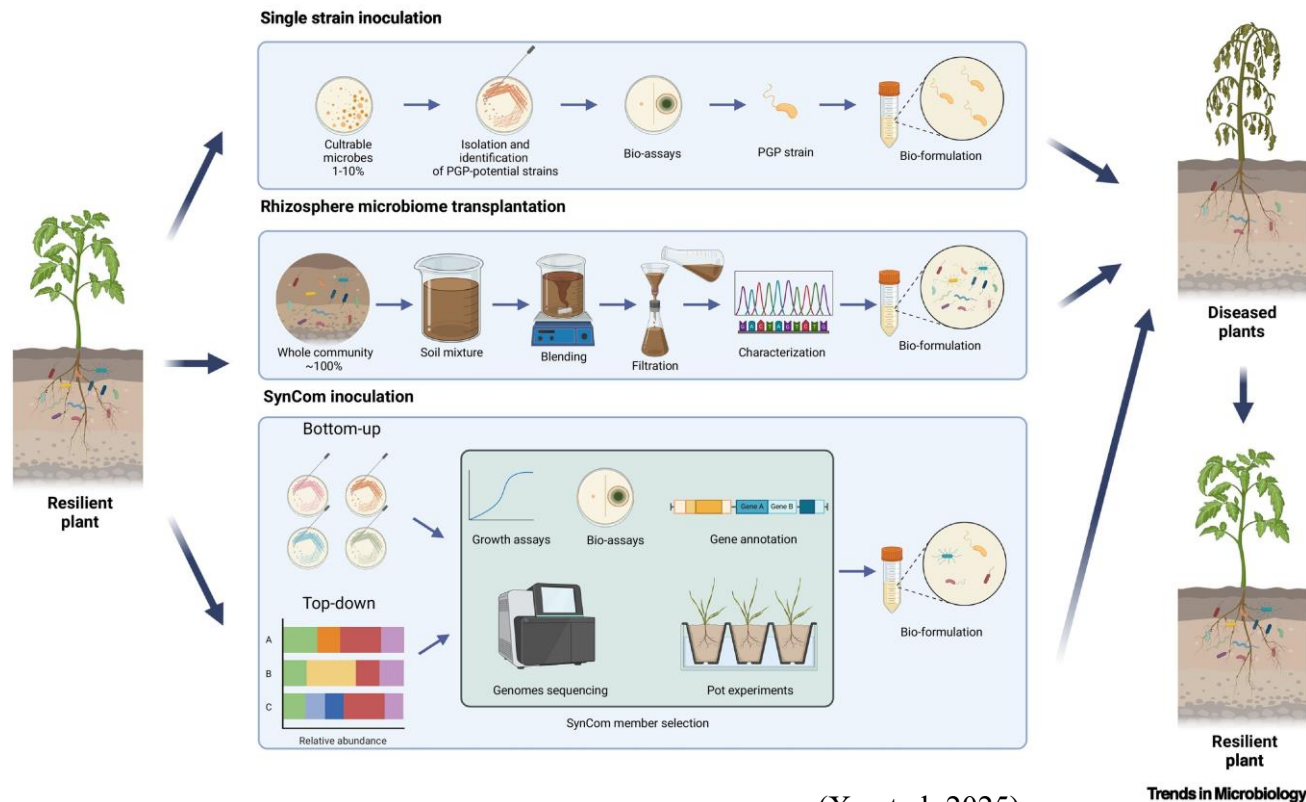
微生物群落涌现性功能现象背后的机制仍不清楚？



- ◆ 微生物系统中的群落级功能通常源于种间相互作用，而非单个成员的内在特性；
- ◆ 涌现功能的来源，目前仍存在争议，它究竟是源于群落成员间固有的组成型代谢物交换，还是源于群落环境唤醒了原本在单个类群中沉默的代谢途径？



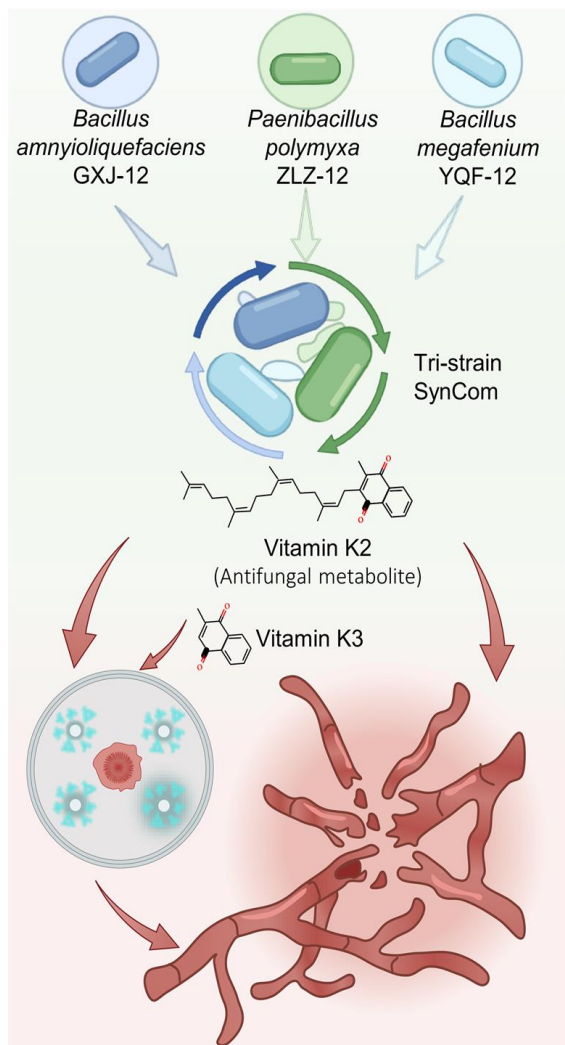
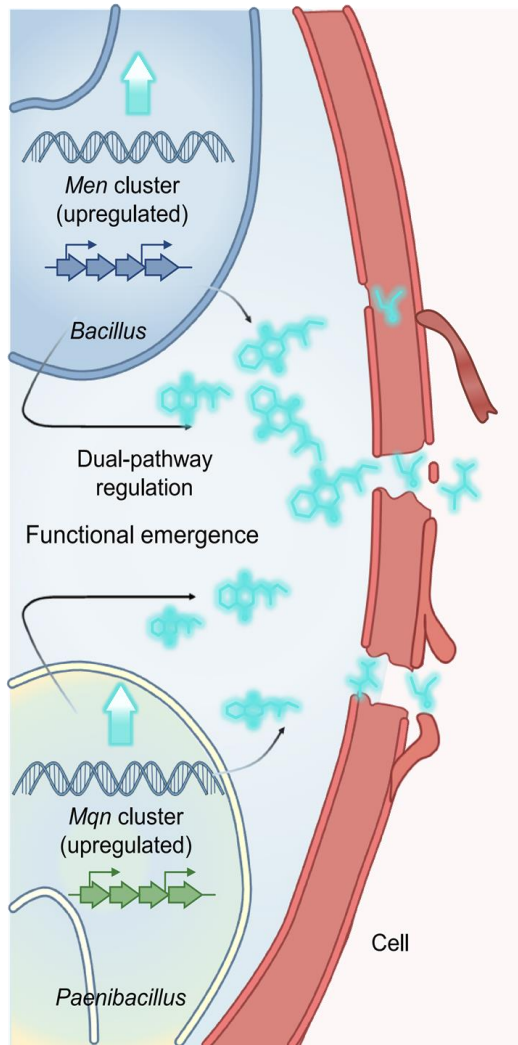
背景简介



- ◆ *Fusarium*可以引起多种作物的枯萎病，例如番茄、黄瓜、香蕉等。此类病害在多个国家均有发现，严重威胁世界各地的作物生产；
- ◆ 合成微生物群落（SynCom）已成为研究此类功能涌现现象的优势实验系统。



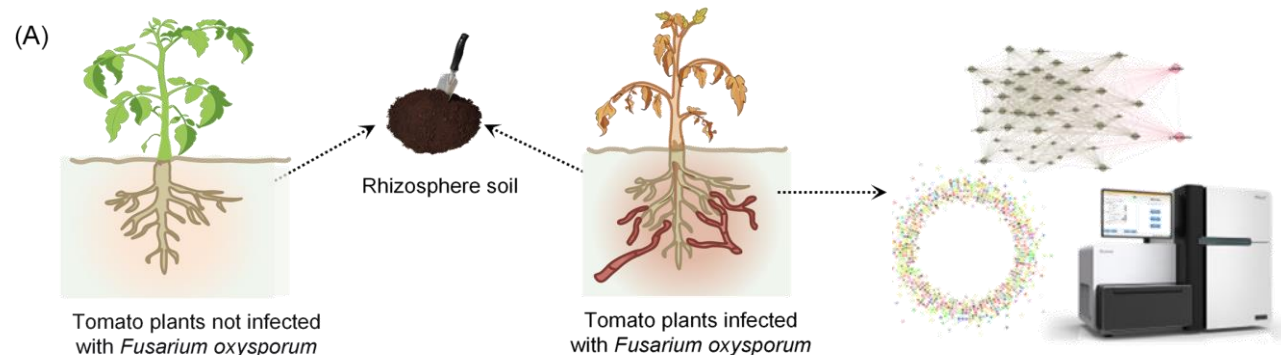
亮点



- 三菌株合成菌群对尖孢镰刀菌表现出显著的涌现性抑制;
- 维生素K2作为关键效应物介导群落的抗真菌活性，一种低成本类似物维生素K型醌维生素K3可重现其涌现性抗真菌功能;
- 分布于不同物种的 *Men* 和 *Mqn* 代谢途径在三菌株合成菌群中协同激活，驱动跨物种维生素K2生物合成;
- 研究揭示微生物群落可依赖种间互作触发的潜在代谢激活实现涌现性功能，而非简单的组成型代谢物交换或加性效应。

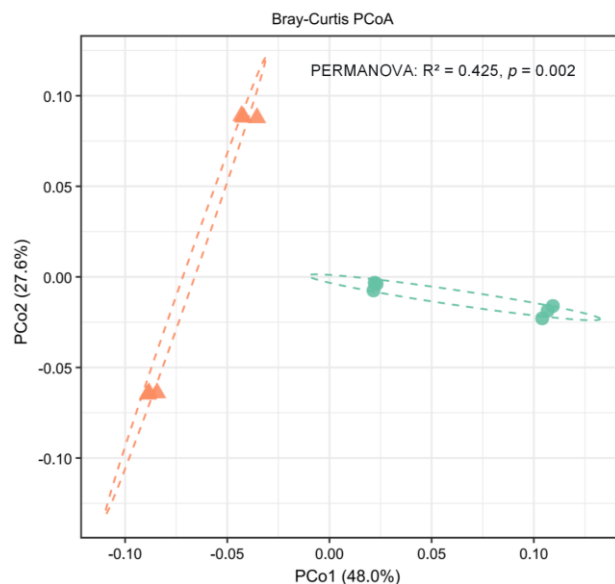
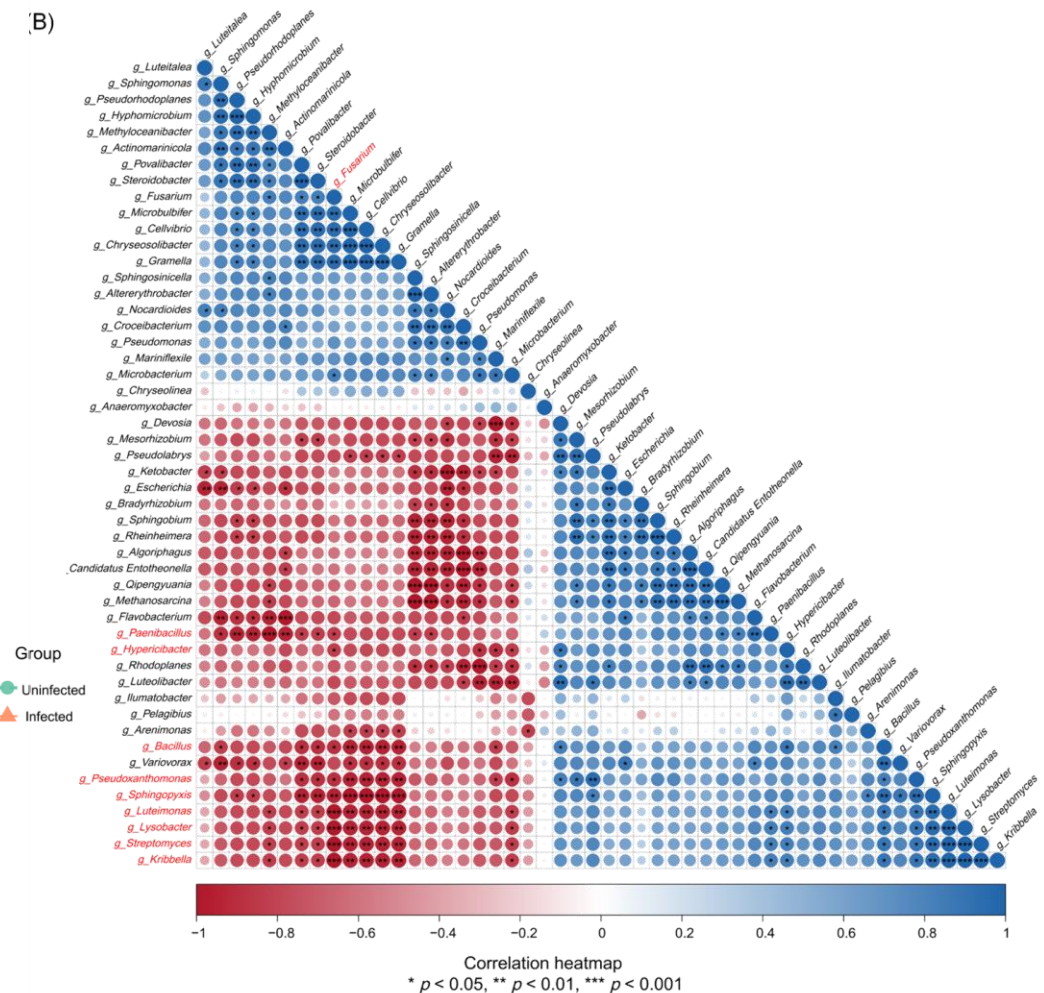


研究概述



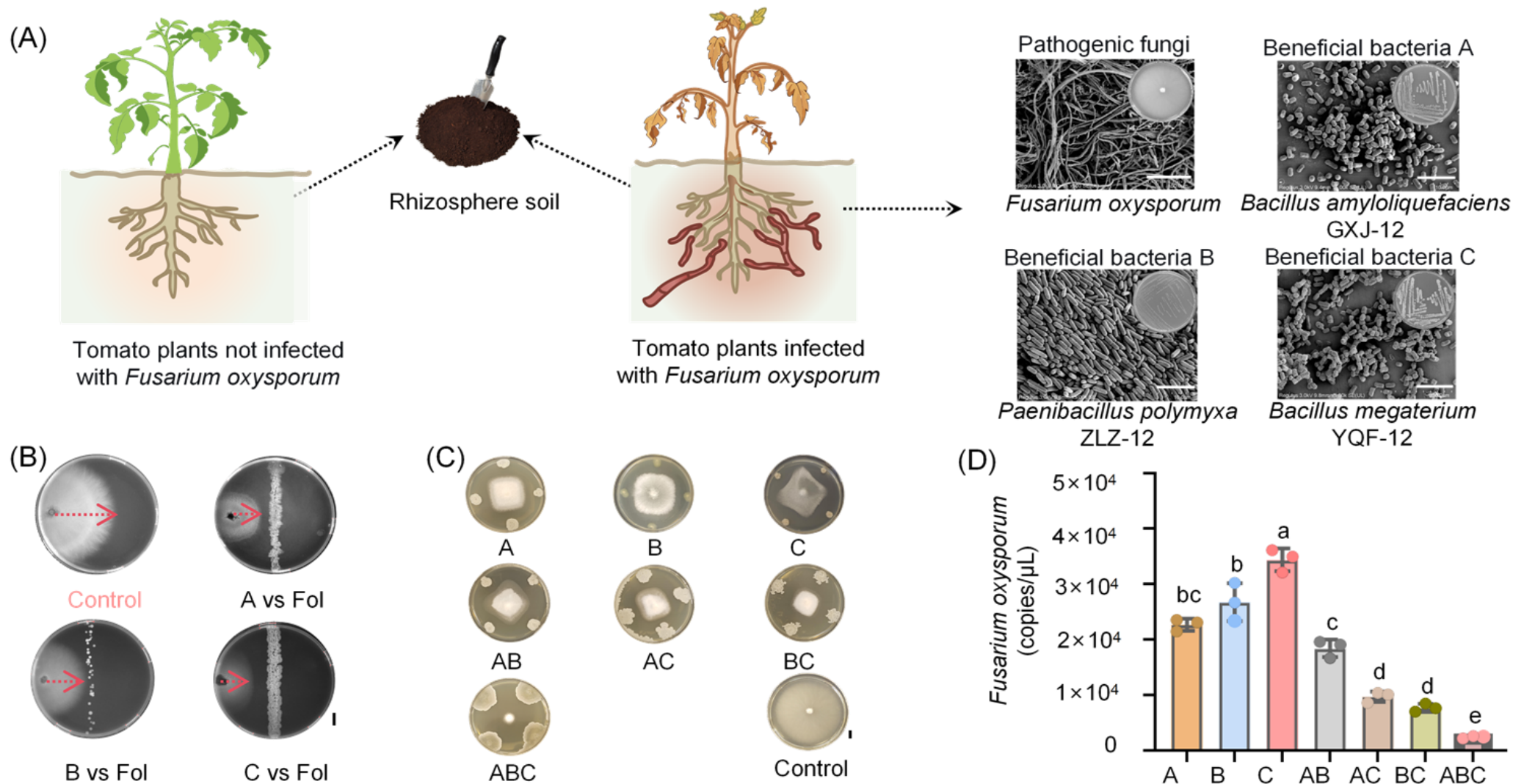
◆ *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol) 感染番茄根际土壤的微生物群落结构发生了明显变化;

◆ *Paenibacillus*、*Bacillus*、*Streptomyces*、*Lysobacter* 等属与 *Fusarium* 呈显著负相关, 提示它们可能在抑制枯萎病中发挥作用。





三菌株SynCom对Fol的涌现性抑制

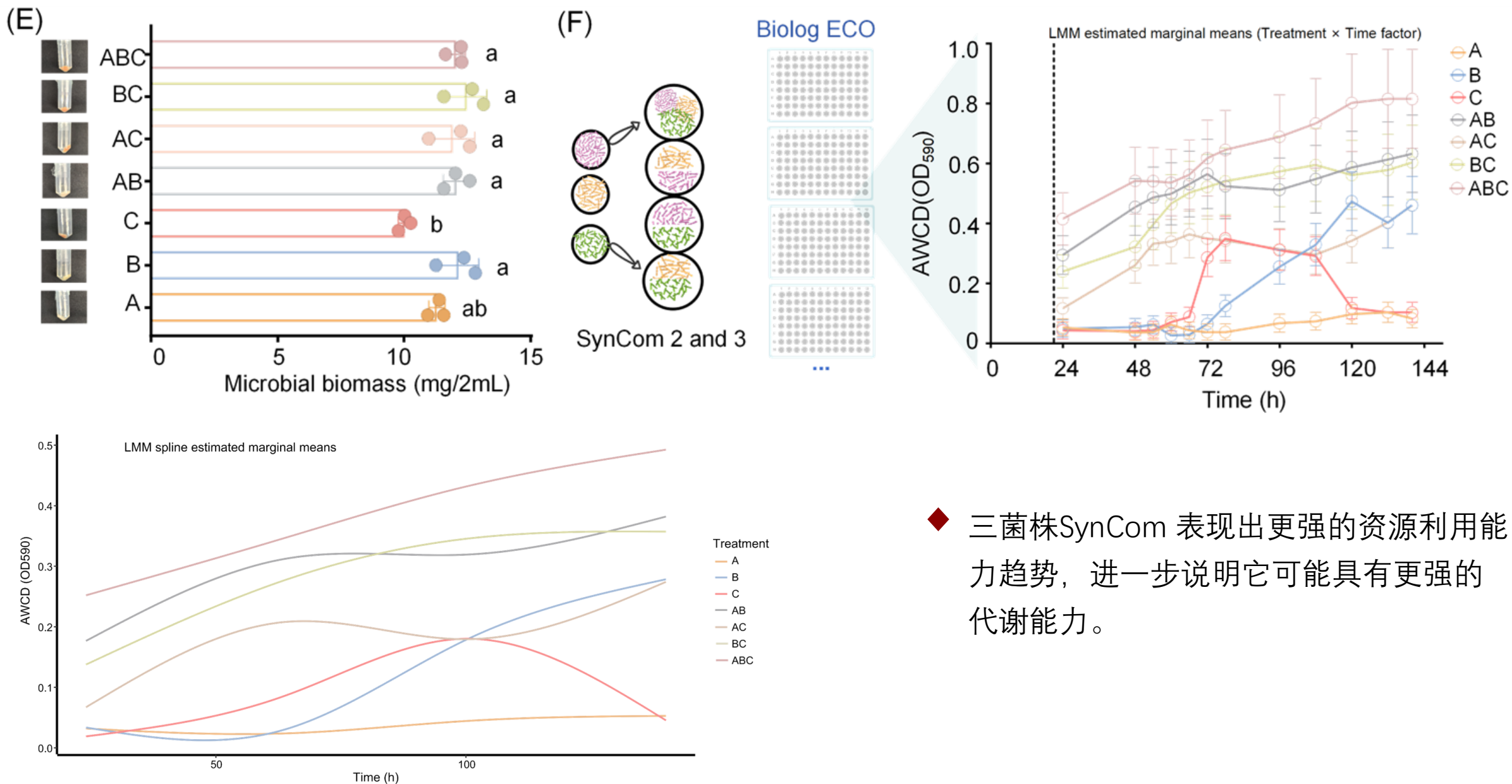


◆ 分离到三株对Fol具有拮抗作用的可培养菌株；

◆ 对峙试验显示三菌株SynCom表现出对Fol的强效抑制，展现出了对Fol的涌现性抑制现象。



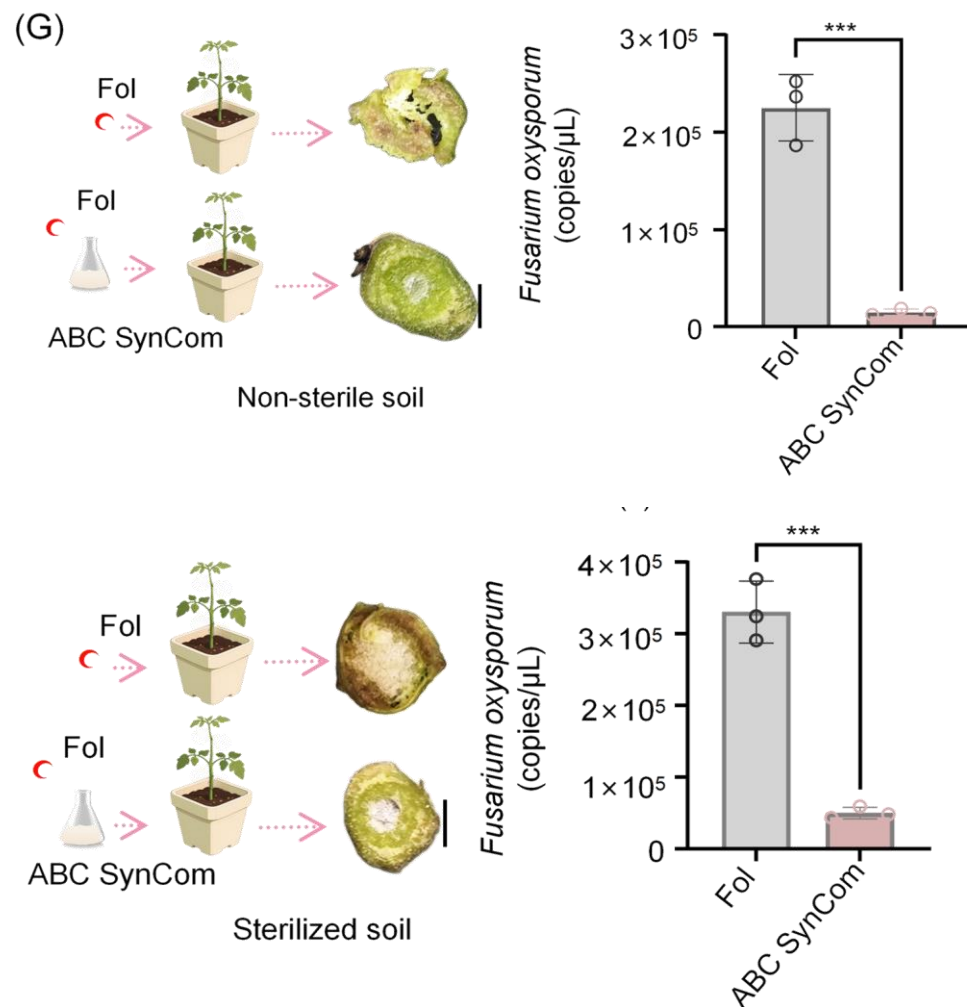
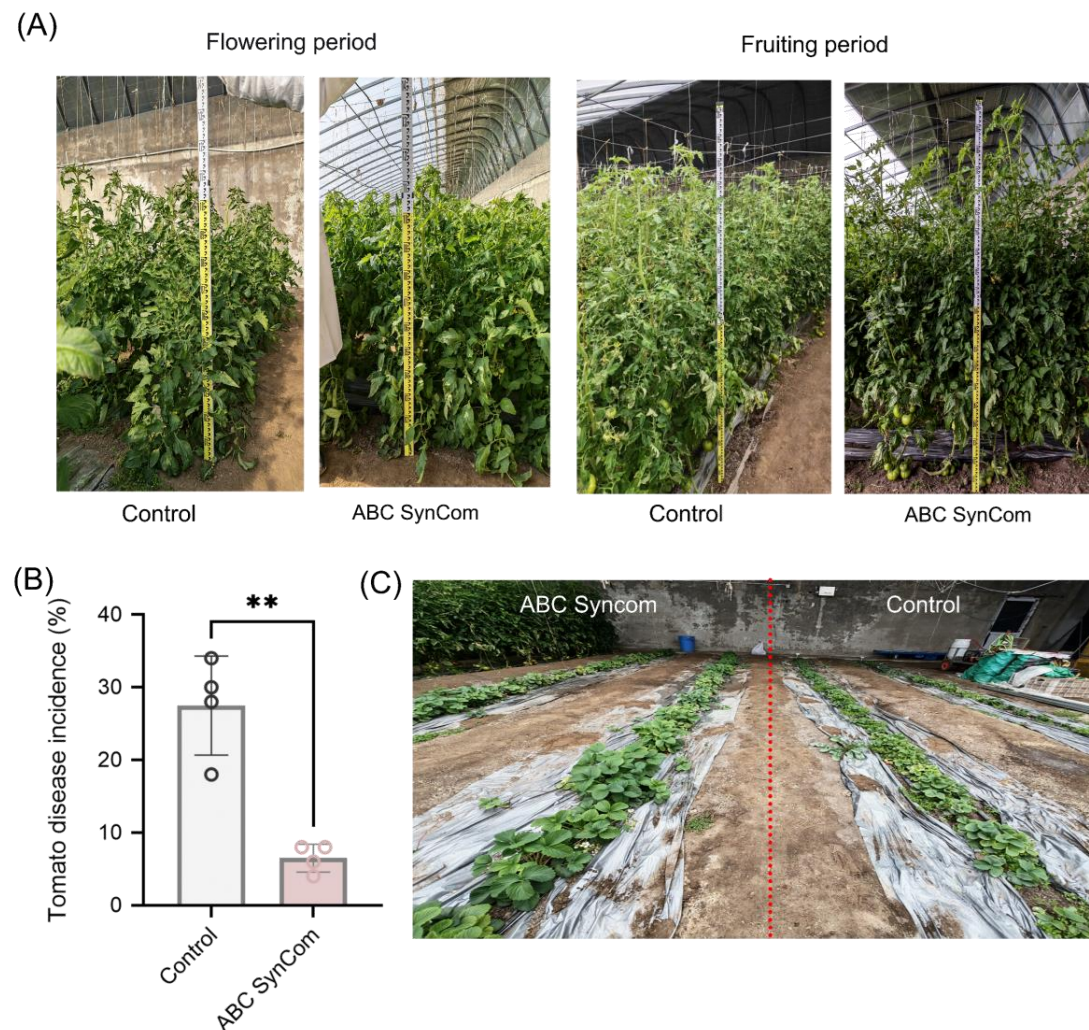
三菌株 SynCom表现出总体优越的资源利用能力趋势



◆ 三菌株SynCom 表现出更强的资源利用能力趋势，进一步说明它可能具有更强的代谢能力。



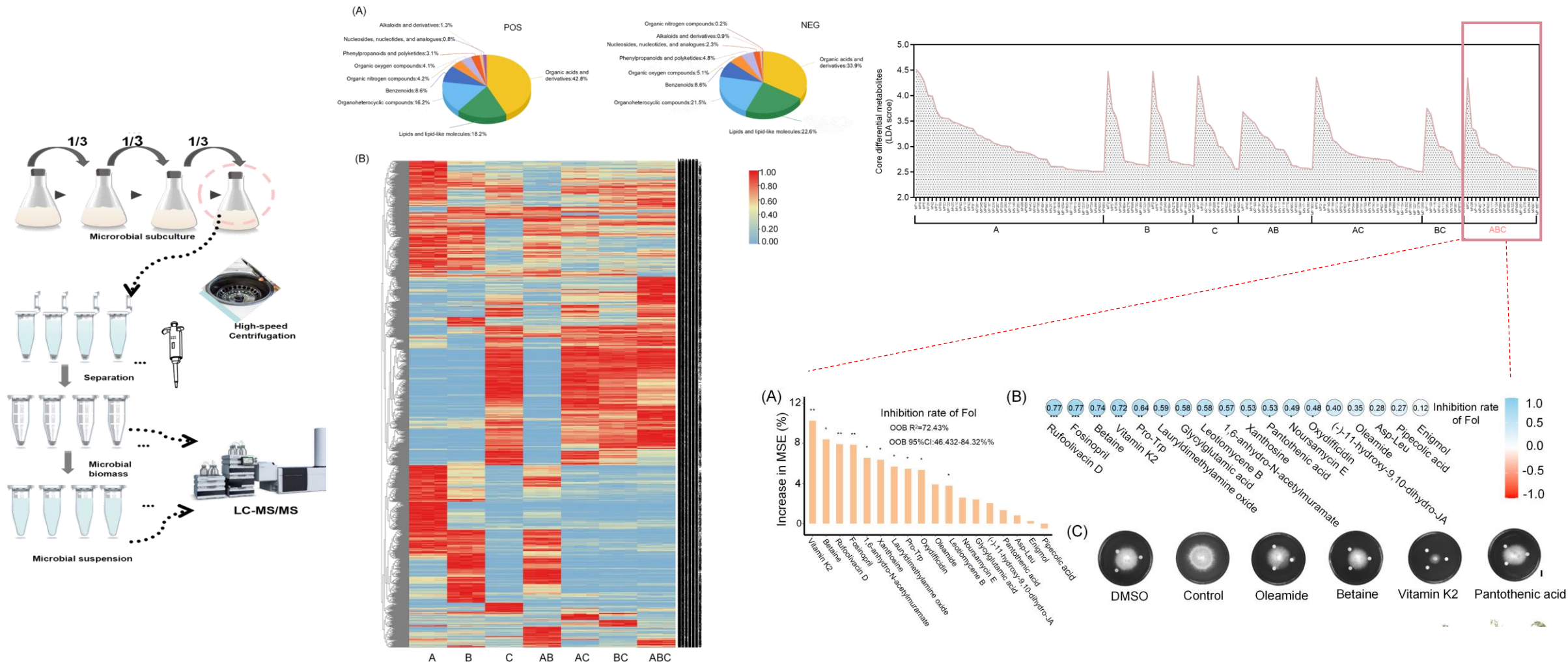
涌现性抗真菌活性在多种模拟条件下得以维持



- ◆ 三菌株SynCom在土壤悬浮液测定和番茄盆栽实验以及初步田间验证中表现良好;
- ◆ 该合成菌群具有良好的广谱作物适应性和田间应用潜力。



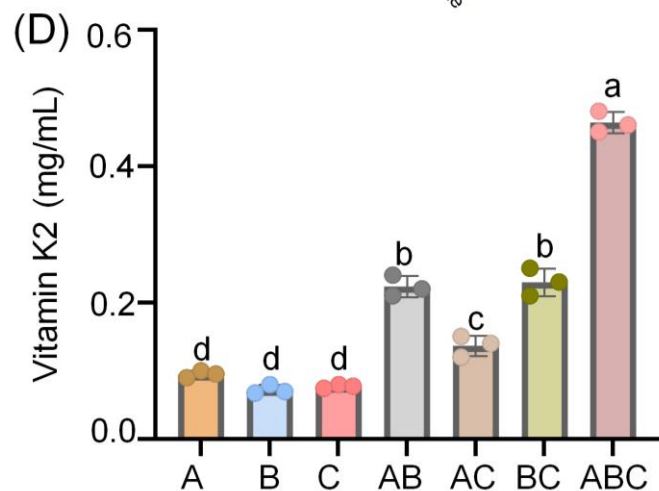
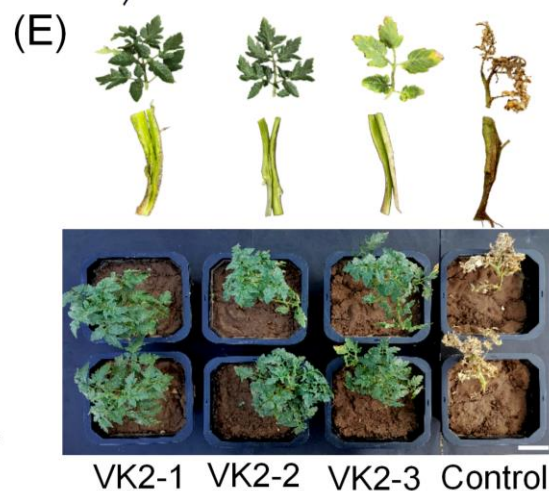
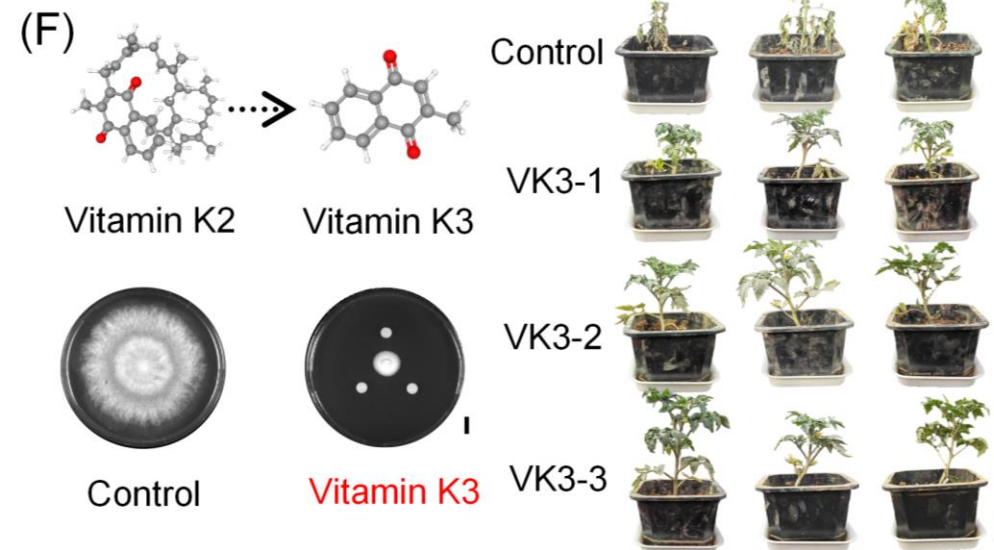
维生素K2是涌现性Fol抑制的关键效应代谢物



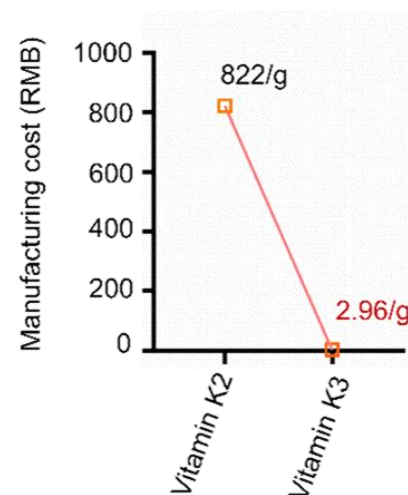
◆ 与单菌和双菌群落相比，三菌株SynCom发生了广泛的代谢重编程。



一种低成本维生素K型醌重现了涌现性抗真菌功能

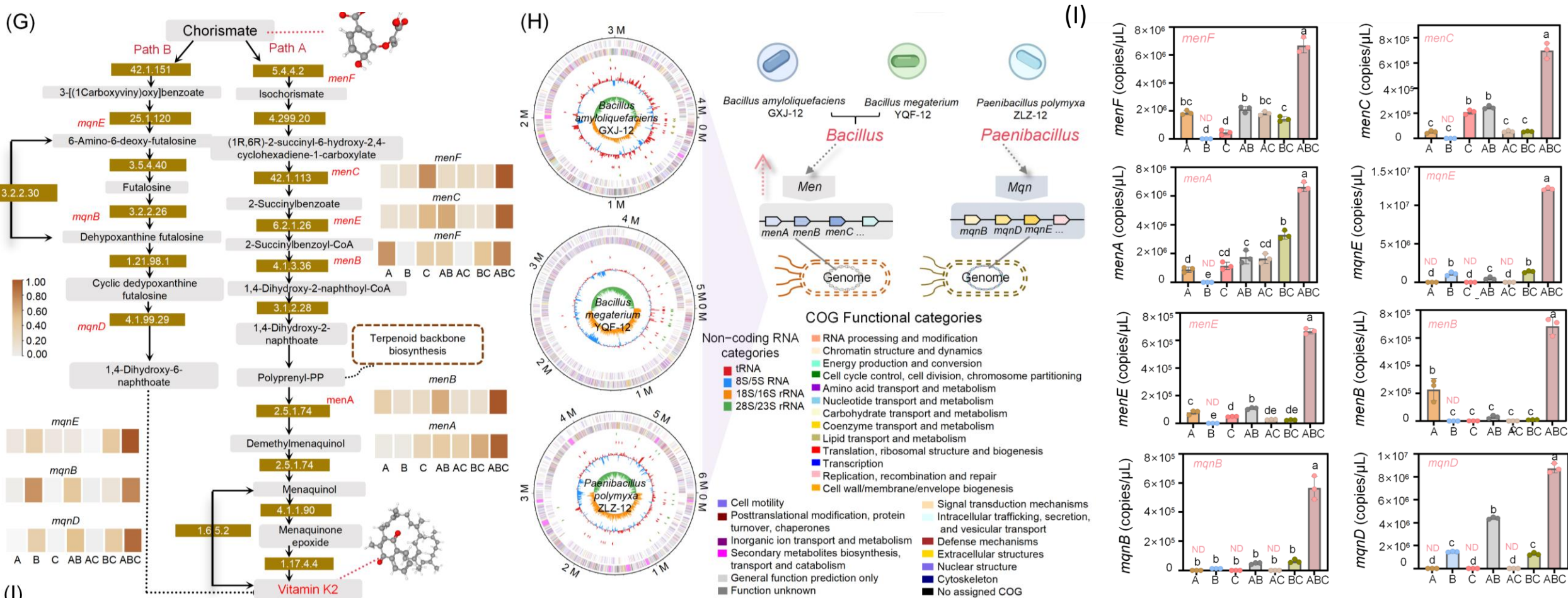


- ◆ 一种低成本维生素K型醌（维生素K3）重现了涌现性抗真菌功能。其成本仅为维生素K2的约 1/277，显示出作为群落来源代谢物替代品的规模化应用潜力。





分布式双生物合成途径使三菌株SynCom分泌较高水平维生素K2



◆ 分布在 *Bacillus* 和 *Paenibacillus* 物种中的两个系统发育上不同的维生素K2生物合成途径 (*Men* 和 *Mqn* 途径) 的协调激活。



总结

- ❑ 本研究证明，由三株不同物种构建的合成菌群通过严格的功能涌现机制抑制真菌病原菌尖孢镰刀菌；
- ❑ 维生素K2是涌现性抑制的关键效应代谢物，一种低成本类似物维生素K型醌维生素K3重现了涌现性抗真菌功能；
- ❑ 互补的 *Men* 和 *Mqn* 通路实现了跨物种维生素K2生物合成，表明微生物组涌现功能可依赖于种间互作触发的潜在代谢激活，而非简单的组成型代谢物交换或加性效应；
- ❑ 本研究为微生物合成群落的理性设计与病害防控提供了新的视角，未来工作应确定这些代谢物是直接作用于植物防御还是通过病原菌抑制间接作用，使用空间分辨方法如分根系统和代谢物示踪等技术。

Lizhi Zhao, Yuhui Li, Jianning Zhao, Alexandre Jousset, Francisco Dini-Andreote, Lu Tan, Xiuqing Guan, et al. 2026. Cross Species Metabolic Complementation of Vitamin K2 Biosynthesis Determines Emergent Suppression of Tomato Fusarium Wilt. *iMeta* 5: e70186. <https://doi.org/10.1002/imt2.70186>

论文相关领域专家名单

序号	姓名	所属单位	电子邮箱
1	宋毅	南方科技大学	songy3@sustech.edu.cn
2	刘斌	中国科学院生态环境研究中心	binliu@rcees.ac.cn
3	熊武	南京农业大学	wuxiong@njau.edu.cn
4	Christian Kost	University of Osnabrück	christiankost@gmail.com
5	Adam Arkin	UC Berkeley	aparkin@lbl.gov
6	褚海燕	中国科学院南京土壤研究所	hychu@issas.ac.cn
7	崔丽	中国科学院城市环境研究所	lcui@iue.ac.cn
8	周新刚	东北农业大学	xgzhou@neau.edu.cn
9	刘双江	中国科学院微生物研究所	liusj@im.ac.cn
10	沈其荣	南京农业大学	shenqirong@njau.edu.cn
11	白洋	北京大学生命科学学院	ybai@pku.edu.cn
12	袁军	南京农业大学	junyuan@njau.edu.cn
13	Orkun S. Soyer	University of Warwick, UK	O.Soyer@warwick.ac.uk
14	程旭	中国农业科学院	chengxu@caas.cn
15	沈仁芳	中国科学院南京土壤研究所	rfshen@issas.ac.cn

序号	姓名	所属单位	电子邮箱
16	何柏毅	西湖大学交叉科学中心	poyiho@westlake.edu.cn
17	胡脊梁	深圳湾实验室	jilianghu(at)szbl.ac.cn
18	李培武	中国农业科学院油料研究所	peiwuli@oilcrops.cn
19	蔡鹏	华中农业大学	cp@mail.hzau.edu.cn
20	肖璟	浙江大学	jxiao@zju.edu.cn
21	江高飞	南京农业大学	gjiang@njau.edu.cn
22	韦中	南京农业大学	weizhong@njau.edu.cn
23	汤强	中国科学技术大学	qtang@ustc.edu.cn
24	张瑞福	南京农业大学	rfzhang@njau.edu.cn
25	姜巨全	东北农业大学	jjqdainty@163.com
26	焦硕	西北农林科技大学	shuojiao@nwsuaf.edu.cn
27	刘杏忠	南开大学	liuxz@nankai.edu.cn
28	田春杰	中国科学院东北地理与农业生态研究所	tiancj@iga.ac.cn
29	韦革宏	西北农林科技大学	weigehong@nwafu.edu.cn
30	时玉	河南大学	yshi@henu.edu.cn



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，**iMetaBio(宏生物)**定位IF>8的生物学综合期刊，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
2026/10/19