



粮食和农业遗传资源委员会

暂定议程议题 5

粮食和农业微生物和 无脊椎动物遗传资源政府间技术工作组

第一届会议

2024 年 9 月 25—27 日，罗马

促进生物修复和养分循环的土壤微生物及无脊椎动物

目 录

	段次
I. 引言	1 - 8
II. 背景	9 - 14
III. 现状、趋势和威胁	15 - 18
IV. 保护和可持续利用	19
V. 政策和法律框架	20 - 23
VI. 网络与合作	24 - 25
VII. 研究和教育能力	26 - 28
VIII. 差距、需求和潜在行动	29 - 31
IV. 征求指导意见	32

I. 引言

1. 粮食和农业遗传资源委员会（遗传委）第十七届例会通过了《粮食和农业微生物和无脊椎动物遗传资源可持续利用和保护工作计划》（《工作计划》）¹。根据《工作计划》，并基于一项研究草案的结论，遗传委在其上届会议上讨论了促进针对农业污染物的生物修复和土壤养分循环的土壤微生物及无脊椎动物²。
2. 遗传委对研究草案表示欢迎，并建议将其定稿和发布³。研究报告随后作为第 74 号背景研究文件发布⁴。
3. 遗传委建议粮农组织理事会要求粮农组织酌情在土壤微生物及无脊椎动物管理相关领域工作中考虑上述研究的结论。遗传委请成员促进土壤微生物和无脊椎动物保护和可持续利用，并确保地方、国家、区域和国际政策及政策制定进程予以适当考虑。就此，遗传委指出需要适当考虑土著人民和地方社区的作用⁵。
4. 遗传委请成员向利益相关方尤其是农民宣传有关土壤生物多样性和可持续农业做法惠益的研究结论，并推动各方深入认识土壤生物多样性对于减缓、适应和抵御气候变化的促进作用⁶。
5. 遗传委鼓励科研机构等利益相关方围绕土壤微生物和无脊椎动物保护和可持续利用开展合作，尤其是在发展中国家和经济转型国家，在鉴定土壤微生物和无脊椎动物生物多样性以及建立培养物保藏机制等方面，合作开展能力建设⁷。
6. 遗传委还请成员和其他利益相关方加大土壤微生物和无脊椎动物研究力度，尤其是研究健康土壤特性与其微生物群落的关系，以及农业做法对于土壤的影响，包括对于减缓、适应和抵御气候变化的作用，并改进土壤生物多样性评估和监测计划以及保护和培养方法，促进对土壤微生物进行非原生境研究。遗传委还指出需要研究土壤生物多样性与粮食安全的联系，以及土壤生态系统的抗微生物药物耐药性⁸。

¹ CGRFA-17/19/Report, 附录 E。

² CGRFA-19/23/9.1/Inf.1。

³ CGRFA-19/23//Report, 第 72 段。

⁴ Csorba, C., Hackl, E., Reichenauer, T., van der Putten, W. & Sessitsch, A. 2024. 《促进生物修复和养分循环的土壤微生物及无脊椎动物可持续利用与保护》。第 74 号背景研究文件。粮食和农业遗传资源委员会。罗马，粮农组织。

<https://doi.org/10.4060/cd0147en>

⁵ CGRFA-17/19/Report, 附录 E。

⁶ Csorba, C., Hackl, E., Reichenauer, T., van der Putten, W. & Sessitsch, A. 2024. 《促进生物修复和养分循环的土壤微生物及无脊椎动物可持续利用与保护》。第 74 号背景研究文件。粮食和农业遗传资源委员会。罗马，粮农组织。

<https://doi.org/10.4060/cd0147en>

⁷ CGRFA-19/23/Report, 第 75 段。

⁸ CGRFA-19/23/Report, 第 76 段。

7. 遗传委要求秘书处与相关专家以及条约和公约磋商，就土壤微生物和无脊椎动物问题起草具体建议，供遗传委下届例会审议。其中，秘书处正在征求粮食和农业微生物和无脊椎动物遗传资源政府间技术工作组（工作组）的意见。

8. 本文件基于此前针对遗传委开展的工作⁹，概述了保护、利用、获取和惠益分享方面的现状及趋势，梳理了与生物修复和养分循环土壤微生物和无脊椎动物问题最密切相关的区域和国际组织以及其他机构，并对这一领域的差距和需求进行了分析。本文件还就遗传委在这一领域的进一步工作征求了工作组的意见。

II. 背景

9. 土壤微生物和无脊椎动物种类繁多，群落复杂，在养分循环和维持土壤结构方面发挥着重要作用，因此对于粮食生产至关重要。它们还为处理重金属和其他污染物造成的土壤污染（生物修复）提供了一系列解决方案；并在碳循环中发挥着积极作用，为维持和增加土壤中的碳固存做出了重要贡献。它们以各种方式促进实现“同一个健康”，这一举措将人类、动物、植物和环境健康视为一体。

10. 植物的健康生长需要多种宏量和微量营养素，特别是碳、氢、氧、氮、磷、钾、钙、镁、硫、铁、锰、铜、锌、钼、硼和氯元素。大多数植物通过光合作用从土壤中获取碳元素和其他养分

11. 碳循环指微生物和无脊椎动物分解者将死亡的有机体转化为土壤有机物的过程。光合作用者、无脊椎动物土壤生物扰动者以及草盐生产者的活动，将碳元素自然封存在土壤中。

12. 所有宏量和微量营养素的循环、生物利用和生物矿化都与土壤生物的生物活动有关。微生物的主要功能包括固定大气中的氮元素并将其转化为植物可利用的形式，以及将有机磷经生物矿化作用转化为无机化合物。

13. 植物可主动吸引根际土壤中的各种微生物，寄居在其内部根系组织中。这形成了植物与微生物在代谢层面的密切相互作用，对植物的生长发育往往至关重要。

14. 大多数金属元素在土壤中的流动性和可用性取决于微生物过程。大量原生土壤细菌分泌出的胞外多糖能够吸收重金属，自然有助于降低土壤中的毒性水平。

⁹ Csorba, C., Hackl, E., Reichenauer, T., van der Putten, W. & Sessitsch, A., 2024. 《促进生物修复和养分循环的土壤微生物及无脊椎动物可持续利用与保护》。第 74 号背景研究文件。粮食和农业遗传资源委员会。罗马，粮农组织。 <https://doi.org/10.4060/cd0147en>

III. 现状、趋势和威胁

15. 分类学上仅对少数土壤微生物进行了说明，大多数物种甚至属别的现状和趋势目前仍然未知。许多土壤无脊椎动物也缺乏阐述，有关其空间分布和种群动态的数据也很有限。就趋势而言，现有证据表明其功能和分类多样性的损失显著，但在世界范围内的损失程度尚未得到量化。

16. 土地用途变化和不可持续的农业实践是导致土壤生物多样性丧失的重要原因。然而，有关特定耕作方式对土壤微生物和无脊椎动物的影响的知识仍处于零散状态。总体而言，耕作、不适当的灌溉方法、大量使用杀虫剂以及长期单一种植模式似乎对土壤生物多样性的构成产生了负面影响。

17. 各种外来入侵无脊椎动物和微生物已被发现对土壤生物多样性造成了严重影响。抗微生物药物耐药性基因主要通过动物粪便和人类废水灌溉进入土壤，其传播是另一个令人关切的问题。抗微生物药物在农业中的应用对土壤微生物的生物多样性构成了重大威胁。

18. 土壤生物多样性与温度和土壤含水量的变化相关联，因此容易受到气候变化的影响。确切影响迄今仍难以预测，但研究表明，气候变化对微生物在碳循环和固氮方面的作用可能具有显著影响。

IV. 保护和可持续利用

19. 目前迫切需要解决上述威胁，并确保土壤微生物和无脊椎动物得以在粮食安全和生态系统服务供应方面发挥其作用。要实现土壤生物保护，必须结合采用原生境和非原生境措施。如上所述，农业管理实践往往对土壤生物多样性构成威胁。所幸已有多项技术经实践证实能够维持多样性并扭转损失，包括保持土壤覆盖（例如使用覆盖物或覆盖作物）、永续农业、农林混作、多样化作物轮作、采用本地作物、间种和减少杀虫剂的使用，尽管其结果因实践组合和环境条件而异。

V. 政策和法律框架

20. 在全球层面，《生物多样性公约》缔约方大会于 2002 年决定制定“保护和可持续利用土壤生物多样性国际倡议”¹⁰。粮农组织和其他相关组织应邀促进和协调这一倡议¹¹。2022 年，缔约方大会第十五届会议批准了该项倡议的新行动计划，

¹⁰ Decision VI/5。

¹¹ Decision VI/5。

涵盖 2020 年至 2030 年¹²。在全球层面，《粮食和农业生物多样性行动框架》¹³也多次具体提及土壤生物多样性和土壤健康。

21. 在国家层面，很少有国家在其国家生物多样性战略和行动计划中纳入专门针对土壤生物多样性的措施。在向《生物多样性公约》提交的国家报告中，各国提及在确定和了解土壤生物多样性状况方面存在困难，并且在这一领域缺乏专业知识和工具。用于评估国家政策影响的数据往往不足。

22. 总体而言，很少有国家为土壤生物多样性可持续利用和保护制定了行之有效的政策和法律框架，少数已制定这些政策和法律框架的国家主要局限于世界发达地区。不过，在世界各个地区都有国家采取与土壤生物多样性相关的政策措施。

23. 土壤微生物和无脊椎动物的国际交流受到与获取和惠益分享以及卫生和植物检疫保护有关的法律框架约束。

VI. 网络与合作

24. 许多全球和区域性网络都为土壤生物多样性管理做出了贡献。其中最突出的是全球土壤伙伴关系¹⁴，这一全球公认的机制设立于 2012 年，其使命是将土壤纳入全球议程并促进可持续土壤管理。全球土壤伙伴关系由粮农组织主持，致力于改善土壤治理，从而保证土壤生产力，为确保粮食安全、适应和减缓气候变化以及实现人人受益的可持续发展做出贡献¹⁵。在全球土壤伙伴关系及其咨询机构政府间土壤技术小组的支持下，制定了修订版《世界土壤宪章》¹⁶并于 2015 年获粮农组织大会批准¹⁷。《可持续土壤管理自愿准则》¹⁸同样在全球土壤伙伴关系框架内制定，该准则于 2016 年获粮农组织理事会批准¹⁹，强调了保持和加强土壤生物多样性的重要性。

¹² CBD/COP/DEC/15/28。

¹³ CGRFA-18/21/Report, 附录 C。

¹⁴ <https://www.fao.org/global-soil-partnership/en>

¹⁵ 见 CGRFA-19/23/9.1/Inf.2。

¹⁶ 粮农组织。2015。修订版《世界土壤宪章》。罗马。

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/7ca3ab4e-c5d0-4d9e-96c7-c938b0eb789a/content>

¹⁷ C 2015/REP, 第 57 段。

¹⁸ 粮农组织。2017。《可持续土壤管理自愿准则》。罗马。

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a0cd6e44-9a77-4fce-8ad9-46dd03dd2322/content>

¹⁹ CL 155/REP, 第 11 段。

25. 国际土壤生物多样性网络²⁰成立于2021年12月，旨在促进土壤生物多样性的可持续利用和保护，并汇集相关专家和现有倡议的力量，为落实全球土壤生物多样性观察站这一全球性数据平台做出贡献。

VII. 研究和教育能力

26. 近几十年来，缺乏训练有素的专家阻碍了土壤微生物的分类工作。而土壤相关主题的出版物、会议和科学网络数量却出现了激增。

27. 公民科学计划可以为收集土壤相关数据（包括物种分布数据）做出重要贡献。然而，成功开展此类活动的国家数量有限。

28. 促进采取有利于土壤生物多样性的管理实践，需要对农民进行培训和教育。在此方面已采取了各项行动，包括开发教育网站以及在农民田间学校工作中纳入与土壤相关的培训内容。然而，只有为数有限的国家生物多样性战略和行动计划中包含了具体计划，涉及对农民和其他利益相关方进行土壤管理实践教育，或者支持以保护土壤生物多样性为宗旨的多学科研究网络。

VIII. 差距、需求和潜在行动

29. 根据第74号背景研究文件的分析结构，可在可持续利用和保护促进养分循环和生物修复的微生物及无脊椎动物方面确定以下差距和需求。

- 养分循环研究。目前关于以下方面的知识存在重大差距：土壤微生物和无脊椎动物在养分循环中的作用及农业管理实践对其的影响、它们作为传统磷肥潜在替代品的用途、对碳固存的贡献、在固氮与甲烷生产中所发挥作用的联系，以及如何受到抗微生物药物耐药性基因的影响等。需要完善微生物基因数据库，开发新的微生物功能预测和量化方法。
- 微生物产品研究。需要注意提高生物肥料等微生物产品在田间条件下的有效性，避免对原生生物多样性和土壤功能造成非目标影响，并调查采用微生物菌群而非单一菌株的潜在益处。
- 健康土壤研究。有必要界定“健康”土壤的概念，以及如何在不同环境中进行衡量。
- 生物修复研究。改进生物修复需要更好地了解细菌、真菌与无脊椎动物间的相互作用。需要特别关注无脊椎动物在对重金属和杀虫剂进行生物

²⁰ <https://www.fao.org/global-soil-partnership/netsob/en>

修复中的作用、改进原生境生物修复方法、对多种污染物的生物修复，以及确定指示生物。

- **绘图和数据管理。**需要更新和拓展包含有关土壤生物多样性现状和趋势及入侵生物和土壤污染等威胁的具体信息的地图和数据库，可通过采用遥感、无人机和机器人等新技术来实现。
- **交流沟通。**还需要加大力度向农民和广大公众宣传研究成果，如与土壤生物多样性和可持续农业实践的益处有关的内容，并鼓励利益相关方进一步参与各项研究、传播和发展活动。
- **保护。**要加强对土壤微生物和无脊椎动物的保护，就必须更好地了解它们的状况（开展基线调查和长期频繁的监测），加强信息共享，解决此类生物在保护规划中遭受忽视的问题，并明确有助于推广使其受益的农业实践的激励方法。需要制定本土作物和树木及其相关原生微生物群和无脊椎动物的保护计划。
- **非原生境收集库。**为加强非原生境保护，同时增进对微生物功能的了解，有必要制定规程和开发高通量技术，将“不可培养”的群落和整个微生物组纳入培养范围。此外还需要集中存放微生物菌株。目前，资金匮乏和缺少训练有素的专业人员是非原生境保护的主要制约因素。建立专门的收集库用于培养被忽视的土壤生物或难以在实验室条件下繁殖或培养的生物，具有至关重要的意义。
- **恢复。**有必要制定更完善的方法来恢复严重影响地区的土壤，例如那些因不可持续的农业作业方式而导致退化的土壤。这需要全面了解植物、无脊椎动物、原生动物、细菌、真菌与病毒之间的相互关系以及相关的土壤功能。需要将微生物组而不是单一生物或有限的生物群落作为研究对象。有可能从非原生境收集库中获得并重新引入已消失的土壤生物。
- **政策和管理框架。**有必要改进与土壤生物多样性管理相关的部分法规。例如，菌株水平的登记要求可能会阻碍将含有多种微生物的产品引入农业用途。无脊椎动物进口管理规则可能也需要进行审查。其他要求包括改进对微生物产品存活能力的质量控制。有必要鼓励科学家和培养物收集库负责人密切参与决策。

30. 此外，根据背景研究文件，可以确定以下领域需要开展战略性的多学科国际合作：

- 制定加强与公众和利益相关方外联及沟通的战略，包括有关土壤生物及其用途的信息资料；
- 促进土壤生物多样性相关主题的跨学科和国际研究与合作；
- 促进农业、学术、工业和决策部门之间的知识转移，以完善产品、相关立法和研究资助计划；
- 协调研究工作，并围绕界定“健康”土壤微生物组的概念以及常用的实验室技术和分析技术制定相关规程；
- 协调与土壤生物多样性相关的监测计划、网络、倡议和数据库。

31. 同样，还可以着重突出以下可能开展的行动来加强土壤微生物和无脊椎动物的保护和可持续利用。

- 有必要为界定“健康土壤”的概念制定准则和标准操作程序，并将其用于土壤生物多样性的比较评估。这些准则和程序需涵盖明确界定的关键土壤参数，其中包括用于指示土壤健康状况的生物参数（如微生物/无脊椎动物种类），以及悉心遴选的质量标准。
- 需就以下方面达成共识：(a) 最重要的土壤功能；(b) 在新农业方法对土壤影响评估中纳入的参数；(c) 关键土壤生物多样性参数；(d) 统一的土壤生物多样性采样、实验室和分析程序。
- 关于理想土壤条件以及农业土壤管理最佳做法和干预措施的建议应基于在各种不同环境条件和地理区域下的长期观察。
- 对于那些有利于土壤生物多样性保护的前景广阔的农业实践，需要通过改进对其适用性和实施难易程度的评估来支持其推行，并应考虑潜在的不良影响。
- 需要完善区域范围内土壤健康参数和土壤生物多样性特征数据库的功能、标准化和维护工作。
- 要解决农业系统中土壤保护所面临的复杂问题，有必要采取跨学科的科学方法，并且需要环境化学家、生物学家、农学家和分类学家等不同领域专家的参与。

- 在土壤微生物和无脊椎动物可持续利用和保护方面，需要增进和完善众多研究活动与科学网络之间的协调。
- 通过生产者教育和促进其参与，以及加强传播和公共宣传，有助于在土壤生物多样性保护方面增进认识和开展能力建设，这一点至关重要。
- 需要更好地协调现有的原生境和非原生境保护措施，并针对未得到充分研究的土壤生物群体，满足其培育和保护需求。
- 需明确土壤生物保护和可持续利用的短期及长期目标，并制定优先重点清单。

IX. 征求指导意见

32. 工作组不妨建议遗传委：

- (i) 支持并加强协调就土壤微生物和无脊椎动物在养分循环和生物修复中的作用及可能影响土壤健康和土壤生物多样性的农业实践开展研究；
- (ii) 促进推行经确认有利于土壤微生物和无脊椎动物的农业实践，以促进养分循环和生物修复；
- (iii) 在促进养分循环和生物修复的土壤微生物及无脊椎动物可持续利用和保护方面支持相关数据管理；
- (iv) 更好地协调针对促进养分循环和生物修复的土壤微生物和无脊椎动物的现有原生境和非原生境保护措施，并加强保护未得到充分研究的此类生物群体；
- (v) 在促进养分循环和生物修复的土壤微生物及无脊椎动物保护和可持续利用方面，进一步明确各项目标和优先重点；
- (vi) 在国家和国际层面的相关政策、法律和制度框架中，更好地体现出对促进养分循环和生物修复的土壤微生物及无脊椎动物进行适当管理的必要性；
- (vii) 加强所有利益相关方实施《可持续土壤管理自愿准则》的努力。