



联合国
粮食及
农业组织

Food and Agriculture
Organization of the
United Nations

Organisation des Nations
Unies pour l'alimentation
et l'agriculture

Продовольственная и
сельскохозяйственная организация
Объединенных Наций

Organización de las
Naciones Unidas para la
Alimentación y la Agricultura

منظمة
الأغذية والزراعة
للأمم المتحدة

粮食和农业遗传资源委员会

暂定议程议题 9.1

第十九届例会

2023 年 7 月 17-21 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 - 4
II. 在土壤过程中的作用	5 - 11
III. 现状、趋势和威胁	12 - 23
IV. 保护和可持续利用	24 - 51
V. 政策和法律框架	52 - 55
VI. 网络与合作	56-67
VII. 研究和教育能力	58-60
VIII. 差距、需求和潜在行动	61-71
IX. 寻求指导意见	72

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《可持续利用和保护粮食和农业微生物和无脊椎动物遗传资源工作计划》（《工作计划》）¹。

《工作计划》将微生物和无脊椎动物视为功能组，并预计遗传委第十九届例会审议以下两个功能组：（一）土壤微生物和无脊椎动物，重点是促进生物修复和养分循环的生物；（二）反刍动物消化相关微生物²。

2. 按照《工作计划》，将根据以下资料处理每个功能组的问题：根据遗传委以往工作、现有文献以及酌情开展的开放调查（也可汇总可持续利用和保护的最佳做法），编制保护、利用、获取和惠益分享现状及趋势综述；梳理与功能组最密切相关的区域和国际组织以及其他机构，并明确潜在战略合作领域；以及分析各自领域的差距和需求以及遗传委及其成员解决这些问题的机会³。

3. 根据《工作计划》，粮农组织委托维也纳奥地利技术研究所编写一份关于促进生物修复和养分循环的土壤微生物和无脊椎动物的研究报告。该研究草案载于以下文件：《关于可持续利用和保护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和无脊椎动物的研究草案》⁴。

4. 本文件借鉴上述研究草案的结果，概述促进养分循环和生物修复的土壤微生物和无脊椎动物的状况，并就如何推进这类微生物和无脊椎动物相关工作寻求遗传委的指导。

II. 在土壤过程中的作用

5. 土壤微生物和无脊椎动物种类繁多，存在于复杂的群落中，在养分循环和维持土壤结构中发挥着重要作用。因此，它们对粮食生产至关重要。它们为处理重金属和其他污染物对土壤的污染（生物修复）提供一系列选择。它们在碳循环中的作用意味着它们对于维持和增加土壤碳汇至关重要。他们以各种方式为将人类、动物、植物和环境健康结合起来的“同一个健康”方法做出贡献。

6. 根据《工作计划》，研究草案特别侧重于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。

¹ CGRFA-17/19/Report, 附录 E。

² See CGRFA-19/23/9.2; CGRFA-19/23/9.2/Inf.1。

³ CGRFA-17/19/Report, 附录 E, 第 7 段。

⁴ CGRFA-19/23/9.1/Inf.1。

7. 植物健康生长需要大量和微量营养素，特别是元素碳、氢、氧、氮、磷、钾、钙、镁、硫、铁、锰、铜、锌、钼、硼和氯。植物通过光合作用获得碳，通常从自身生长的土壤中获得其他养分。
8. 就碳循环而言，微生物和无脊椎动物的分解者将死去的有机物转化为土壤有机物。通过进行光合作用的植物、产生土壤生物扰动的无脊椎动物和产生草酸盐的微生物的活动，碳被自然隔离在土壤中。
9. 所有大量和微量养分的循环、生物利用度和生物矿化作用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并将其转化为植物可利用的形式，以及将有机磷生物矿化为无机化合物。
10. 植物可以从根际土中主动获得各种微生物，微生物会在根内组织中定植，从代谢角度形成深刻的植物-微生物关系。这通常对植物发育至关重要。
11. 大多数金属在土壤中的流动性和有用性取决于微生物过程。许多天然土壤细菌分泌吸收重金属的胞外多糖，可以自然降低毒性水平。

III. 现状、趋势和威胁

12. 近年来，基因组方法的出现极大地促进了理解土壤生物多样性的努力。分子工具的引入使更高精度、更高分辨率的生物体遗传指纹检测成为可能。现代基因组方法关注基因和功能的可变性，而不仅仅是分类的丰富性。特定的生态统计模型被用来推断特定生物群体是否需要保护干预。
13. 只对小部分土壤微生物进行了分类描述。新的技术进步，如基质辅助激光解吸电离飞行时间质谱和高通量测序，可以快速识别和量化微生物。但是，由于物种层次的鉴定比较困难，土壤微生物分类学的知识有时仍然不足。
14. 据估计，80-90%的土壤微生物不能用现有实验室方法培养，尽管人们做了许多努力来克服传统培养策略的局限性。基于宏基因组的估计表明，系统发育新颖、高度分化、功能未知的未培养微生物是土壤生态系统的主体。因此，单个微生物物种甚至属的状态和趋势基本上都是未知的。
15. 就无脊椎动物而言，虽然可以用成本效益高的方法成功地量化和识别种群，但关于地下多样性的大规模空间分布和时间种群动态的科学文献有限。
16. 土地使用的变化和农业中农用化学品的大量使用与土壤功能和分类上的生物多样性丧失有关。现有证据表明，这种损失是巨大的。然而，世界范围内尚未量化这种损失的程度。

17. 农业体系中土壤生物的自然发生、多样性和功能丰富性受到过量施用化肥和缺乏促进再生的土壤管理做法的威胁。往往缺乏保护土壤生物多样性的适当政策和立法。

18. 缺乏对不同地区和生产系统的充分研究意味着关于特定农业措施对土壤生物多样性影响的知识仍然不完整。概括地说，耕作和不适当的灌溉做法似乎会对土壤生态系统功能产生负面影响。农药也被发现对土壤微生物具有破坏性影响，但结果是可变的，在某些情况下，微生物已被证明能够适应。地上生物多样性影响地下生物多样性，人们发现长期种植单一作物会对土壤生物多样性的各种成分产生负面影响。向土壤中添加生物炭和使用噬菌体等潜在处理方法的风险和益处仍不清楚，需要进一步研究。

19. 有意或无意引入的非本土蚯蚓物种很可能是导致几大洲本土陆生蠕虫多样性下降的原因。虽然对其全面影响的认识还存在空白，但在某些情况下，研究人员发现它们影响到生态功能或对本地生物多样性的组成部分有重大影响。人们还发现其他外来入侵无脊椎动物和微生物对土壤生物多样性有严重影响。

20. 另一个问题是抗生素耐药基因在土壤生物中的传播。土壤中对抗生素耐药基因的主要来源是将动物粪使用作肥料和使用人类废水灌溉。施用粪肥后，抗生素耐药基因可以在土壤中存留两年之久。抗生素在农业中的使用对天然土壤微生物多样性构成重大威胁。抗生素和抗生素耐药基因会助长环境中耐多药菌株的发展。

21. 土壤生物多样性受到温度和土壤含水量变化的影响，因此易受气候变化的影响。不过，很难根据现有信息准确预测影响。对微生物在碳循环中作用的影响可能是巨大的。关于温度和降水对参与生物固氮的微生物的影响的研究表明，它们可能受到强烈影响。气候变化也会与其他威胁相互作用，比如重金属或杀虫剂污染。

22. 现在有实验结果表明，特定微生物和无脊椎动物分类群会因特定环境因素或农业实践变化而减少。不过，这些出版物通常提供关于种群或功能组的丰度和物种丰富度的汇总信息，而较少报告特定物种的时间动态。

23. 可以用数学模型来理解复杂的生态过程，并预测真实土壤生态系统在特定条件下可能如何变化。由于土壤微生境复杂、生物体型可变以及生物群体规模庞大，对土壤生物灭绝进行建模具有挑战性。此外，由于现有生态学概念不能应用于微生物，土壤生物灭绝模型目前仅限于来自人工微宇宙的实验结果，不能轻易扩大规模或类推。

IV. 保护和可持续利用

24. 迫切需要采取行动，解决上述对土壤生物多样性的威胁，并设计土壤生物多样性管理策略，其中考虑到需要结合各种其他生态系统服务促进可持续粮食生产，同时减少农业实践的有害影响。

25. 成功地保护土壤生物需要结合原生境保护和非原生境保护方法。如上所述，农业管理措施经常对土壤生物多样性构成威胁。但是，研究已经证明，各种技术能够逆转损失，并有助于保护本地土壤生物。这些措施包括保持土壤覆盖（例如使用覆盖物或覆盖作物）、永久性耕作、采用树木作物和农林业（包括林牧复合）、多样化作物轮作、使用本地作物、间播和减少农药使用，其结果因具体做法和环境条件而异。

26. 有益于土壤生物多样性的传统管理做法往往被忽视。许多这样的实践可能在评估其效率之前就会消失。

27. 几个世纪以来，堆肥一直被用来在微生物和无脊椎动物的帮助下将废物转化为肥料。虽然迄今为止关于堆肥对土壤生物多样性影响的数据有限，但事实证明，在农业中使用堆肥对土壤养分含量、固碳潜力和土壤生物多样性具有长期益处。

28. 促进更广泛、更迅速地采用可持续土壤管理做法需要农民和土地管理人员以及研究人员、工程师和立法者之间更好的合作。通过农民管理的自然再生等方法可以促进农民的积极参与，这种农林业再生形式在萨赫勒地区取得了成功。

29. 保护土壤微生物和无脊椎动物需要遵循适当指导方针，包括明确的关键土壤参数、重要指示生物的信息以及精心选择的可用于比较评估的质量标准。

30. 在某些情况下，原生境保护土壤生物多样性需要辅以土壤再生计划，除其他措施外，包括从其它地方重新引入已经耗竭或当地灭绝的土壤生物。

31. 当保护工作集中在个别物种上时，无脊椎动物，特别是微生物，往往会被忽视，因为它们是“看不见的”，对它们的重要性缺乏认识，而且它们不在世界自然保护联盟濒危物种红色名录之列。

32. 迄今为止，大多数关于土壤生物多样性丧失的研究都集中在单一威胁的影响上，而不是同时发生的多种威胁，因此它们没有为有效规划管理干预措施提供足够信息。

33. 土壤生物的多样性在世界各地各不相同，不同地方可能存在群落差异、物种丰富性或生态系统服务供应的热点，每个地方都可能需要一套不同的干预措施来确保其保护。这些热点中只有一小部分目前受到保护。世界上有些地方特别

缺乏关于土壤生物多样性的数据，因此很难规划有效的干预措施来促进土壤的保护和可持续利用。

34. 评估对保护和其他管理干预措施的需求需要高质量的生态数据。但是，收集这种数据，特别是长期人口数据，可能既耗时又费钱。由于关于目标物种分布和生态的数据不足，通常不可能将保护模式和应用转用于其他地区。使用模型来预测未来环境条件下的生态系统变化和支持可持续管理需要标准化的数据收集、实验室协议、数据分析和建模。

35. 缺乏数据意味着一些保护规划是利用替代物种的数据作为预期目标的指标来完成的。也可以使用生态系统或土壤健康指标，如土壤有机碳含量和保水性数据。开发可以优化多个保护和生产力相关目标的统计生态模型是一项挑战。基于替代的优化方法可以提供预测精度可接受且高度适应不同参数和类型的空间和时间数据的管理框架。

培养物保藏

36. 微生物培养物保藏中心是土壤微生物鉴定和保存的中心，也是研究和使用的微生物来源。最全面的培养物保藏目录和公认的微生物数据库可通过世界培养物保藏联合会网页获得⁵，提供来自 76 个国家的 768 种保藏培养物的信息。世界微生物数据中心⁶数据库是一个世界范围的收藏目录，提供来自 78 个国家的 831 种培养物，其中包括超过 300 万个微生物和细胞系的信息。由于缺乏资金，包括缺乏工作人员资金，或者由于自然灾害，一些保藏品有丢失的危险，需要采取行动确保为未来保存好这些保藏微生物。

37. 根据不同的目的，可以采用许多不同的异地保护技术。长期保存方法包括低温保存、水下保存和冻干保存。就某些生物而言，最可行的保护形式需要以土壤和基质为基础的维护，有时还需要一并维护生物的共生伙伴，例如丛枝菌根真菌。虽然有些技术需要高能设备，但长期保存技术有许多优点，并已用于大多数保藏培养物。

38. 微生物培养物保藏所面临的限制包括缺乏训练有素的人员和用于高通量培养、全微生物群培养和目前不可培养的生物体繁殖的尖端技术。保藏品之间也经常缺乏协调。

⁵ <https://wfcc.info>

⁶ <https://www.wdcm.org>

培养和移植生物的使用

39. 生物肥料是配制农产品，含有经过培养和选择、可以增加土壤养分利用度的微生物。具有促进植物生长特性或固氮能力并广泛用于生物肥料的有益细菌包括来自根瘤菌属、固氮菌属和固氮螺菌属的细菌。市场上也有许多含有丛枝菌根真菌的产品。不过，这些接种剂的可行性和可靠性仍然存在问题，因为它们经常不能在野外条件下建立。对微生物接种剂益处的研究大多是在温室条件下进行的。

40. 微生物接种剂可能对本地土壤生物构成威胁。尽管迄今为止大多数研究发现这种影响是有限的，但还需要开展更多研究。也需要更好地调查生物农药对土壤生物多样性的影响。

41. 蚯蚓在堆肥中的应用非常广泛。为此目的，蚯蚓在市场上广为售卖。在生物害虫控制市场上可以找到胶囊或干燥培养物形式的土壤用线虫产品。昆虫病原线虫物种通常用于管理农业害虫，并通过在生物反应器中培养的方式大量生产。

42. 土壤无脊椎动物的选择性繁殖并不常见。对赤子爱胜蚓的生物量、成熟时间、产茧率和孵化成功率等特性的研究已取得了可喜的成果。为提高对根信号的吸引力、脱水耐受性和选择性寻找宿主而选择性繁殖土壤线虫的尝试表明，如果所选性状的遗传力足够高，或者如果有益性状在近交系中稳定，操纵关键性状可能是有效的。

43. 在农业中使用完整的微生物组（或微生物群落）而不是单一物种或物种混合物作为生物刺激剂、生物肥料和生物杀虫剂是一种新兴方法。它们有时被证明比单一物种更有效，这可能是由于互补性的影响。通过重新引入原生丛枝菌根真菌群落和整个土壤微生物群来促进原生植被再生的工作已经取得了一些成功。

44. 由于其复杂的性质，与植物有关的微生物组应用涉及许多挑战，包括与监管批准有关的挑战，监管批准目前需要在微生物产品中进行菌株鉴定，这对于包含数十万种微生物的微生物组产品来说是不可能的。有必要对土壤微生物组的研究方案进行统一或标准化，并改善微生物组研究团体（人类、环境、植物和动物）之间的跨学科联系。

在生物修复中的应用

45. 几种技术可用于修复被重金属污染的场地。使用物理化学方法的传统做法可能比较昂贵，并且可能涉及危险的辐射或化学物质。生物修复是一种安全、低成本和相对环保的替代方法，特别适合去除低浓度的污染物。生物修复一词是指利用土壤微生物进行的原位生物处理，主要用于降解有机污染物，包括石油碳氢化合物、溶剂和杀虫剂，并改变微量元素的种类以降低其可用性。

46. 通过生物吸附（用生物材料吸附）的生物修复可以净化重金属，而不产生有毒污泥或二次污染物。这可以用活的和死的微生物生物体来完成。使用死细胞的优点是它们可以容易地以粉末形式储存，因此不需要在活微生物所需的特定生长条件下保存。生物累积（污染物在生物体内的累积）是一个依赖于微生物代谢的主动过程，并且是部分可逆的。而生物吸附是一个不依赖于代谢的可逆过程，不需要太多的能量输入或理想的呼吸环境。生物修复的另一种方法是使用能将有毒形式的污染物转化为无毒和不易移动形式的形式。

47. 已经发现蚯蚓能够降低土壤中各种重金属的浓度。蚯蚓和微生物的结合使用已显示出前景。

48. 虽然可以刺激土壤中已经存在的原生微生物和无脊椎动物群落，以促进特定局部污染物的降解（生物刺激），但更常见的方法是从污染场地分离特定的微生物菌株，在实验室中培养它们，随后用于土壤接种（生物强化）。

49. 获得用于生物修复的良好候选微生物的理想方法是收集现场样品，并利用转化污染物质所需的特定遗传工具分离具有重金属抗性的菌株。将生物工程微生物或非原生微生物引入土壤是有问题的，即使是在受污染的场所，尽管它们可以提供一种在封闭系统中快速简便地处理污水污泥或污水的方法。在该封闭系统中，在生物修复材料用于田间之前，可以对生物体进行灭菌或杀灭。采取任何涉及使用活生物体的生物补救措施都应先适当评估其对人类或动物健康或当地生态系统的可能风险。

50. 除了重金属，微生物还可以用于生物修复被各种农药残留污染的土壤。但是，关于这些方法在实践中使用程度的信息比较有限。

51. 为减少有毒物质的生物累积或生物利用而添加到土壤中的许多微生物和蚯蚓也可以同时增加植物生长、土壤肥力和养分利用率。

V. 政策和法律框架

52. 在全球一级，《生物多样性公约》缔约方会议根据其农业生物多样性工作计划于 2002 年决定发起“保护和可持续利用土壤生物多样性”国际倡议⁷。粮农组织和其他相关组织应邀促进和协调该倡议⁸。缔约方会议于 2006 年通过倡议的行动框架⁹。2022 年，缔约方会议第十五次会议批准了该倡议的新行动计划，涵盖

⁷ VI/5 号决定。

⁸ VI/5 号决定。

⁹ UNEP/CBD/COP/DEC/VIII/23。

2020 年至 2030 年¹⁰。《保护和可持续利用土壤生物多样性国际倡议实施进度报告》¹¹ 提供倡议下各项活动的最新情况。缔约方会议第十五次会议要求在《昆明-蒙特利尔全球生物多样性框架》内对《生物多样性公约》的工作计划进行战略审查和分析，以促进其执行，并编写这些工作计划的更新草案，供缔约方会议第十六次会议审议¹²。此外，在全球范围内，《粮食和农业生物多样性行动框架》¹³也具体提及土壤生物多样性和土壤健康。

53. 在国家一级，大多数国家的国家生物多样性战略和行动计划包括一些与土壤有关的措施。但是，很少有国家制定了专门针对土壤生物多样性的措施。在提交《生物多样性公约》的国家报告中，各国提到，它们在确定和了解土壤生物多样性方面面临困难，也缺乏这一领域的专门知识和工具。各国还往往缺乏评估国家政策影响的数据。

54. 总体而言，很少有国家为可持续利用和保护土壤生物多样性制定了有效的政策和法律框架，而那些已经制定政策和法律框架的国家大多来自世界发达地区。不过，世界各区域都有国家采取与土壤生物多样性相关政策措施的例子。

55. 土壤微生物和无脊椎动物相关国际交流受到与获取和分享利益以及卫生和植物检疫保护相关法律框架的影响。检疫措施有助于保护本地土壤生物多样性免受疾病和外来入侵物种威胁。

VI. 网络与合作

56. 许多全球和区域网络为土壤生物多样性的管理做出了贡献。其中最突出的是全球土壤伙伴关系¹⁴。该伙伴关系是全球公认的机制，成立于 2012 年，其使命是将土壤问题纳入全球议程和促进可持续土壤管理。由粮农组织主持的全球土壤伙伴关系致力于改善土壤治理，目的是保障的肥沃土壤，促进粮食安全、适应和减缓气候变化以及推动全人类可持续发展¹⁵。

57. 国际土壤生物多样性网络¹⁶成立于 2021 年 12 月，旨在促进可持续利用和保护土壤生物多样性，并汇集相关专家和现有倡议，推动落实全球土壤生物多样性观测站。

¹⁰ CBD/COP/DEC/15/28。

¹¹ CGRFA-19/23/9.1/Inf.2。

¹² CBD/COP/DEC/15/4，第 9 段。

¹³ CGRFA-18/21/Report，附录 C。

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

¹⁵ 请参阅 CGRFA-19/23/9.1/Inf.2。

¹⁶ <https://www.fao.org/global-soil-partnership/netsob/en>

VII. 研究和教育能力

58. 近几十年来，由于缺乏训练有素的分类学家和管理员，土壤微生物学领域出现了“分类障碍”，即缺乏一些分类群和错误识别物种的最新信息以及处理添加到数据库中的大量分类数据的能力。不过，涉及土壤相关主题的研究论文、评论、书籍、新兴期刊、特刊、会议和科学网络数量激增。

59. 在志愿数据收集者的帮助下，公民科学项目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。已经出现几项成功的举措，但仅限于少数几个国家。

60. 提高土壤生物多样性的能见度和意识需要公共宣传。促进采用改进的管理做法需要对农民和土地所有者进行培训和教育。采取了各种行动，包括开发教育网站和将土壤相关主题的培训纳入农民田间学校的工作。但是，只有少数《国家生物多样性战略和行动计划》包括对农民和其他利益相关方进行土壤管理实践教育或支持针对土壤生物多样性保护的多学科研究网络的具体计划。

VIII. 差距、需求和潜在行动

61. 关于参与各种土壤养分循环的微生物和无脊椎动物的知识仍有待填补，包括：它们如何受到农业管理做法的影响，它们在传统磷肥的潜在替代品中的作用，它们在碳汇中的作用，它们在固氮作用和甲烷产生中的作用之间的联系，以及它们如何受到抗生素耐药基因的影响。需要改进微生物基因数据库，也需要预测和量化微生物功能的新方法。

62. 改善生物修复需要更好地了解细菌、真菌和无脊椎动物之间的相互作用。需要特别注意无脊椎动物在重金属和农药的生物修复中的作用，以改进原位生物修复方法，对多种污染物进行生物修复，并确定生物指示生物。

63. 需要更新和扩大包含关于土壤生物多样性现状和趋势以及诸如入侵生物和土壤污染等威胁信息的地图和数据库，或可在此过程中使用遥感、无人驾驶飞机和机器人等新技术。

64. 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，避免对当地生物多样性和土壤功能产生非目标效应，并调查使用微生物群落而不是单一菌株的潜在好处。有必要确定什么是“健康”的土壤，以及如何在不同的环境中衡量这一点。

65. 还需要更好地向农民和广大公众传播研究成果，如与土壤生物多样性和可持续农业做法的好处有关的研究成果，并让利益相关方更好地参与研究、传播和开发活动。

66. 改善对土壤微生物和无脊椎动物的保护将需要更好地了解它们的状况（基线调查和长期频繁监测），更好地共享信息，努力克服保护规划中对这些生物的忽视，并想办法激励有益于这些生物的农业做法。需要为本地作物和树木及相关的本地微生物群和无脊椎动物制定保护计划。

67. 为加强非原生境保护，同时也为了增进对微生物功能的了解，有必要制定方案和发展高通量技术，将“不可培养的”群体和整个微生物组纳入培养。还需要集中微生物菌株的沉积。目前，非原生境保护面临的一大制约因素是缺乏资金和训练有素的人员。建立专门培养被忽视的土壤生物保藏或在实验室条件下难以繁殖或培养的生物保藏至关重要。

68. 有必要开发更好的方法来恢复受到严重干扰地区的土壤，例如因不可持续的农业做法而退化的土壤。这需要全面了解植物、无脊椎动物、原生动物、细菌、真菌、病毒和相关土壤功能之间的相互关系。需要针对微生物组，而不是单个生物体或有限生物体群。失去的土壤生物有可能从非原生境采集中获得并重新引入。

69. 有必要改进与土壤生物多样性管理有关的一些法规。例如，菌株水平的注册要求可能阻碍了将含有多种微生物的产品用于农业。进口无脊椎动物的规则可能也需要审查。其他要求包括提高微生物产品生存能力的质量控制。有必要让科学家和培养物保藏管理员密切参与决策。

70. 需要战略性、多学科国际合作的领域包括：

- 制定策略，推动更好地与公众和利益相关方联系和沟通，包括准备关于土壤生物及其用途的信息材料；
- 促进关于土壤生物多样性相关主题的跨学科国际研究及伙伴关系；
- 农业、学术、工业和决策部门之间知识转让，以改进产品、相关立法和研究资助计划；
- 为定义“健康”土壤微生物群概念以及发展常用的实验室和分析技术协调相关研究并制定方案；
- 协调与土壤生物多样性相关的监测计划、网络、举措和数据库。

71. 改善土壤微生物和无脊椎动物的保护和可持续利用的潜在行动可包括以下内容。

- 需要制定定义“健康土壤”的准则和标准操作程序，并用于对土壤生物多样性进行比较评估。这些准则和程序需要包括定义明确的关键土壤参数，包括指示土壤健康的微生物/无脊椎动物分类群等生物参数，以及精心选择的质量标准。
- 有必要就以下问题达成共识：(a) 最重要的土壤功能；(b) 评估新农业方法对土壤影响时需要纳入哪些参数；(c) 关键的土壤生物多样性参数；(d) 土壤生物多样性的统一取样、实验室和分析程序。
- 关于理想土壤条件和农业土壤管理最佳做法和干预措施的建议，应基于在一系列不同环境条件和地理区域下进行的长期观察。
- 吸收有利于土壤生物多样性保护的有前途的农业做法，需要通过改进对其适用性和易于实施性的评估来支持，并应考虑潜在的不良影响。
- 需要改进区域尺度的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。
- 解决农业系统中土壤保护面临的复杂问题需要跨学科的科学方法，并涉及一系列专家，包括环境化学家、生物学家、农学家和分类学家。
- 从事土壤微生物和无脊椎动物的可持续利用和保护的众多研究活动和科学网络之间需要更多、更好的协调。
- 通过教育和参与生产者及改进传播和公共宣传对于提高对土壤生物多样性保护的认识和能力建设至关重要。
- 需要更好地协调现有的非原生境和原生境保护举措，还应解决未得到充分研究的土壤生物群体的种植和保护需求。
- 需要确定保护和可持续利用土壤生物的短期和长期目标，并列出具体的重点清单。

IX. 寻求指导意见

72. 提请遗传委：

- (i) 注意研究报告草稿并提出评论意见；
- (ii) 建议研究报告定稿、散发并提请全球土壤伙伴关系和《生物多样性公约》注意；

- (iii) 对研究结果和建议作出回应，并考虑采取后续行动，以确保遗传委及其成员继续加强关于土壤微生物和无脊椎动物的工作，重点是促进生物修复和养分循环的生物；
- (iv) 建议粮农组织在土壤微生物和无脊椎动物管理相关领域的工作中酌情考虑这项研究的结果；
- (v) 邀请成员国促进土壤微生物和无脊椎动物的可持续利用和保护，并确保它们在地方、国家、区域和国际政策及政策制定过程中得到适当考虑；
- (vi) 鼓励包括科学机构在内的相关利益相关方在可持续利用和保护土壤微生物和无脊椎动物方面开展合作，特别是在发展中国家和经济转型国家的能力发展方面；
- (vii) 邀请成员和利益相关方加强对土壤微生物和无脊椎动物的研究，特别是对保护和种植方法以及农业做法对土壤影响的研究，并加强土壤生物多样性评估和监测计划；以及
- (viii) 请秘书处与相关专家合作，起草关于土壤微生物和无脊椎动物的具体建议，供遗传委下届会议进一步审议。