



SCIENTIFIC PANEL  
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Issue Brief 02 – August 2021

# 实现自然向好的植物营养： 肥料与生物多样性

by the Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition



SCIENTIFIC PANEL  
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

# 内容

- 3 要点
- 5 问题是什么？
- 7 正在发生的事情 养分管理如何影响生物多样性
- 11 这对基本生态系统服务有何影响？
- 14 可以做些什么？
- 23 谁需要做什么？
- 25 成功是什么样的？
- 27 参考文献
- 29 作者、引用与联系方式



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

# 要点

**农作物和牧草的矿物质营养对粮食生产和生物多样性有着重大影响，二者对人类的福祉都至关重要。**

过量施用养分，尤其是氮和磷，会对农业系统内外的生物多样性产生许多负面影响。然而，如果施用的养分过少，导致土壤退化或增加将自然生态系统开垦为农用地的压力，也会对我们的自然系统产生负面影响。为实现生物多样性、食物、营养和其他产出而对养分投入进行优化管理，必须根据具体情况制定目标和解决方案，以提高从农场到景观和全球范围的生物多样性。

生物多样性为农业、更广泛的社会和自然提供了关键的、往往是不可替代的生态系统服务。食物、生物多样性和养分之间的关系错综复杂，有许多权衡需要管理，也有许多协同作用需要利用。化肥和其他农业实践通过对从土壤细菌到人类引起的气候变化对环境的广泛影响，以多种方式影响着生物多样性（图1）。

大多数报告涉及过度或不当施肥对生物多样性和环境其他方面造成的负面影响，包括通过土壤变化、异地污染或气体排放对生物多样性造成的影响。目前已有大量研究探讨农业中氮或磷的使用所造成的负面影响，但对生物多样性的积极影响或其他养分（包括钾和微量营养元素）的作用却知之甚少。养分合理的投入提高了世界许多地区的农业产量，减少了开垦非农用地的压力。化肥如果施用得当，可以限制农业的扩张，从而对生物多样性产生巨大的积极影响。考虑到在现有农业用地上提高全球粮食产量的需要，这一影响途径在未来几十年将尤为重要。

虽然人们普遍呼吁减少养分的投入，但真正需要的是针对具体情况的目标和解决方案，在农业中综合、高效地使用养分，优化包括生物多样性在内的多重目标。将生物多样性对策纳入养分管理方法的机会很多。而要充分把握这些契机，就需要农业和生物多样性利益相关者加强互动与合作。



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

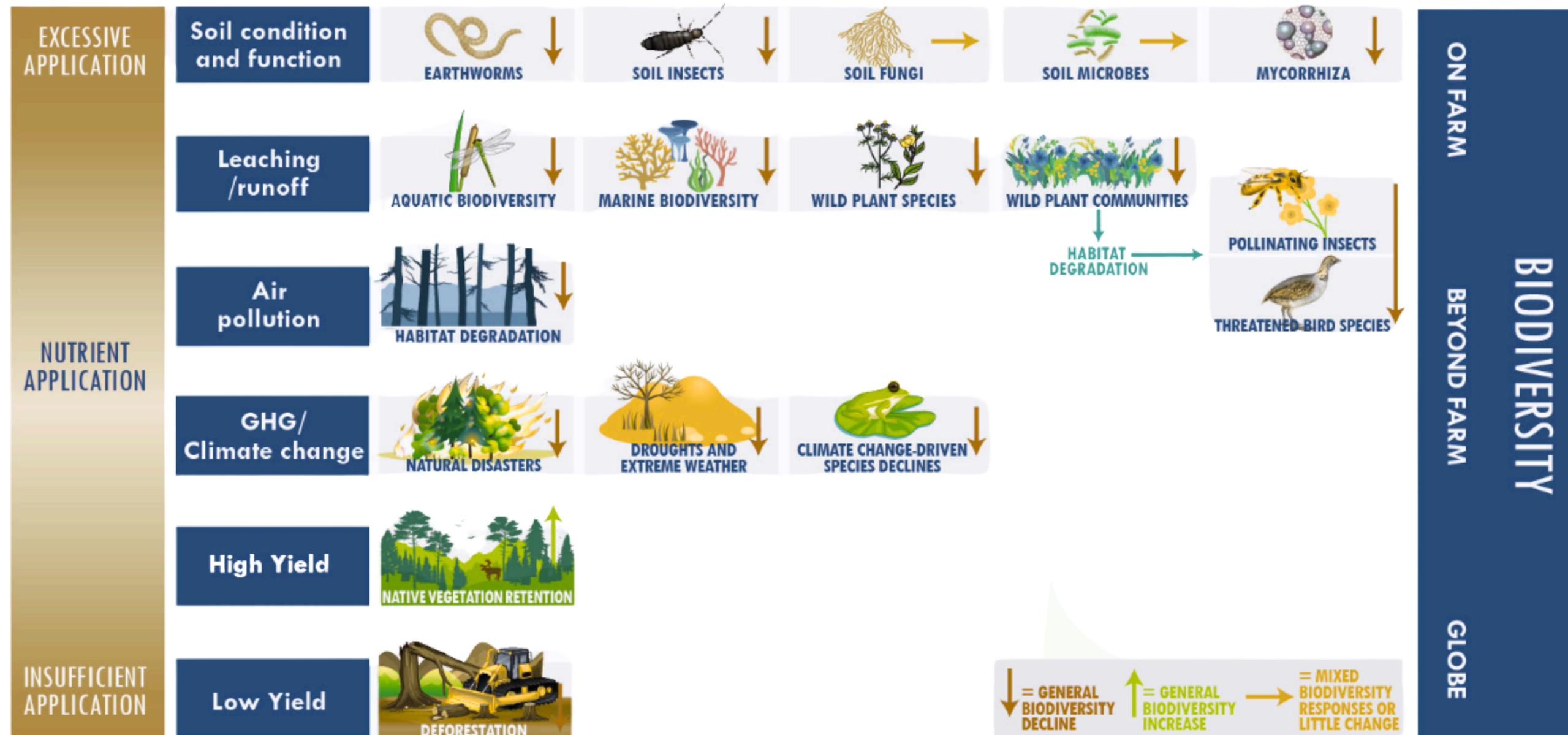


图 1. 生物多样性对农业养分应用的常见反应。影响范围从田野到地球。生物多样性反应可以是直接的（如对植物多样性的影响），也可以是间接的（如植物多样性下降导致栖息地退化，从而减少鸟类和授粉者的多样性）。反应可以是对生物多样性的积极影响（绿色箭头）、对生物多样性的消极影响（红色箭头）或中性/混合证据（琥珀色箭头）。



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

# 问题是什么？

**本简报重点关注农业养分管理如何影响生物多样性，同时认识到，这与影响生物多样性的农业发展的许多其他方面（如土地清理、焚烧、耕作、土壤压实、侵蚀、农业化学品、单一种植）相互关联。**

全球生物多样性和生态系统服务的快速丧失是我们这个时代最紧迫的挑战之一(1)。从生物多样性丧失的速度和程度来看，许多专家认为我们正处于第六次生物大灭绝之中(2)。造成这一现象的威胁有很多，包括栖息地丧失、过度采伐、气候变化、入侵物种以及土壤、水和空气污染。农业和食品系统是造成生物多样性丧失的最主要原因(3)，也是许多其他环境影响的驱动因素(4)。农业以多种方式影响生物多样性，包括将自然生态系统转化为农业生产系统、农业管理对农田现场和场外的影响、大规模污染以及对气候变化的影响(5)。自1985年以来，从天然灌木林地和森林到生产用草地和耕地的转化率相当高(图2)，其中大部分转化发生在生物多样性高的热带地区(6)。尽管如此，一些农业系统也能支持非常高水平的生物多样性，甚至为受保护物种提供栖息地(7)。尤其是在耕作制度多样化、包含相当大的、相互连接的生境要素以及物种依赖于更“传统”的耕作方式的情况下(8)。

生物多样性不仅仅是“好东西”--它的丧失对人类和自然都有严重影响。这是因为生物多样性驱动着许多重要的生态过程和地球生命支持系统，而我们的生存依赖于这些系统(9)。

随着全球对粮食需求的增长，人们为提高农业产量做出了巨大努力，迄今为止，通过一系列技术和管理干预措施（通常统称为“农业集约化”），农业产量得以提高。其核心是在作物生产中增加养分的使用，主要是通过使用化学肥料，但也通过有机肥料（如牲畜粪便、堆肥、污水污泥、作物轮作中的豆科植物或豆科树木作物）。自1985年以来，全球农业产量翻了一番，全球化肥消耗量也随之大幅增加，从1985年的约1.3亿吨N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O增加到目前的1.9亿吨。仅氮的年消耗量就从7000万吨增至1.05亿吨[1]。



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

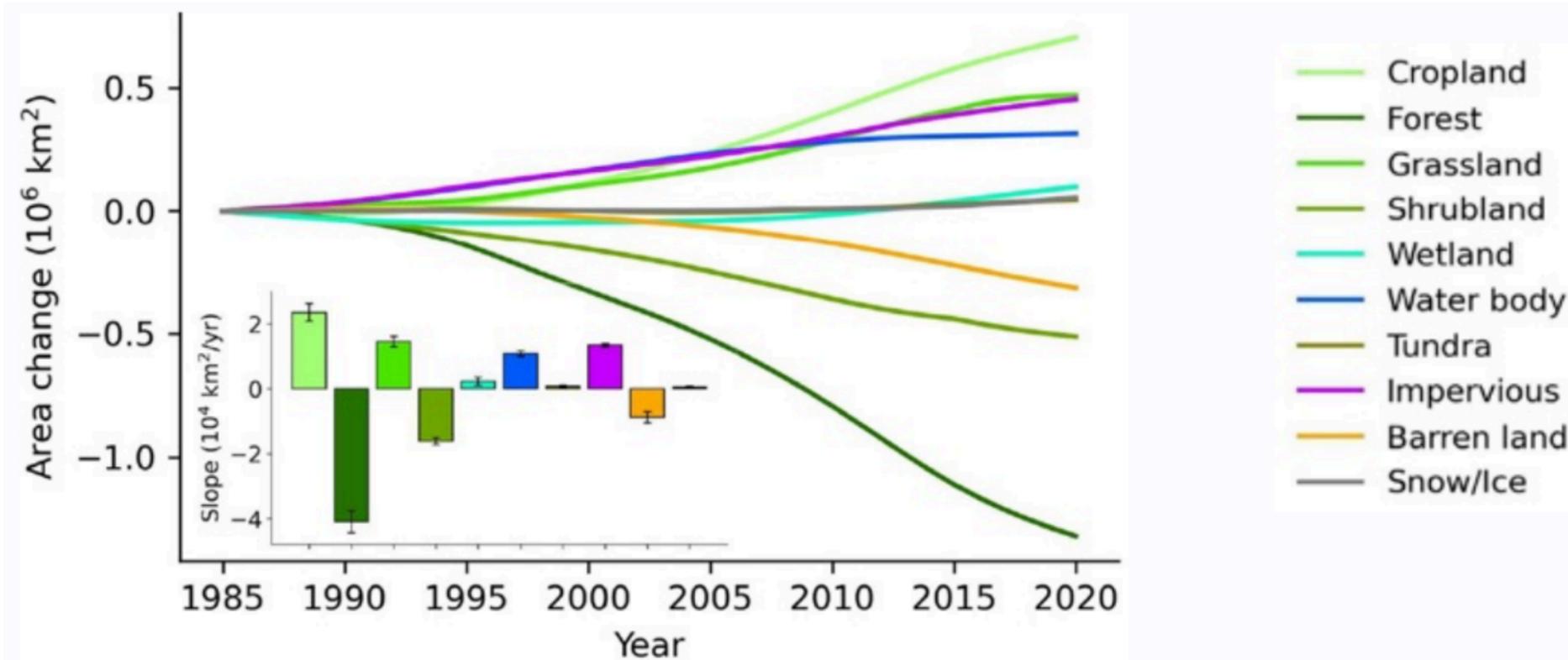


图 2. 1985 年以来全球主要土地利用类别的变化 (6)。变化趋势包括耕地和草地增加，森林和灌木地减少。

虽然粮食产量大幅增加，提高了全球数十亿人的粮食安全，但同时也造成了相当大的农业系统现场和场外生物多样性损失 (10, 11) 以及与农业化肥使用相关的其他负面环境影响 (12)。另一个问题是，全球范围内的养分施用量的增幅不均衡。在一些地区存在着相当大的生产力不平等，即所谓的“产量差距”--潜在产量与实际产量之间的差异。例如，撒哈拉以南非洲地区要实现粮食安全，可能需要在未来 30 年内将养分投入增加 9-15 倍 (13)，这可能会对生物多样性造成负面影响，并产生相当大的温室气体排放影响 (14)。

虽然人们往往关注养分过剩造成的生物多样性损失，但与养分投入增加和其他基因或农艺改良相关的生产力提高也有助于避免自然土地转为农业生产用地 (15)。负责任的养分管理还可能带来其他好处，如增加土壤有机质或土壤肥力。在全球范围内，农业化肥投入对土地节约的确切贡献或对土壤健康的积极和消极影响尚未完全量化。此外，我们不能仅仅依靠缩小产量差距来 (i) 减少土地开垦和相关的生物多样性损失，以及 (ii) 腾出土地用于生态恢复和/或碳封存。任何旨在优化养分管理投入以实现生物多样性和其他自然资源成果的全球行动，都必须与改进土地利用规划、自然植被开垦立法和执法以及保留自然生态系统的激励措施相结合 (16)。



SCIENTIFIC PANEL  
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

# 正在发生的事情 养分管理如何影响生物多样性

生物多样性对养分管理的反应因以下因素而异：(i) 发生的规模（如田地、景观）；(ii) 涉及的物种类型；(iii) 施用肥料的类型和成分（如无机肥料、有机肥料、养分成分）；(iv) 土地利用和景观背景（如单一作物种植、混合土地利用）；(v) 影响市场、政策和土地所有者对生产力变化的反应的社会经济背景。



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

农业养分施用可通过多种途径影响生物多样性，包括农田周边、下游生态系统，甚至是更大范围的景观及其他地区。通过详尽查阅相关文献，我们将养分管理与生物多样性之间的相互作用分为四大压力和反应类别（图 3）。

**A. 过量养分，田间到农场的影**响。该规模的生物多样性反应主要影响那些尚未充分适应或耐受农业系统及其特定管理方法的物种。许多已知的影响都是无机肥料对土壤生物多样性的影响，但显而易见的是，生物多样性的不同要素往往会以不同的方式做出反应。养分投入的增加也会导致植物多样性下降(17)。通过提高系统中的养分（如氮）水平，可能会产生一系列影响，包括：(i) 通过提高氮化合物水平，在施用点产生直接毒性；(ii) 氮或磷化合物的积累导致物种组成和多样性的变化，有利于耐氮或耐磷的物种，或不利于适应养分贫乏系统的物种；或 (iii) 其他土壤变化（如土壤有机质的增加或减少、酸化或污染）。

**B. 养分过剩、“农场外”和“景观”影**响。农业景观内或附近的非农业生态系统很容易受到农用化学品漂移和径流等外部威胁的影响(18)。这可能发生在密集管理、高外部投入的生产系统与自然生态系统相邻的地方。与肥料漂移到邻近自然生态系统有关的反应包括外来植物入侵增加、植物多样性减少、高度依赖本地植物物种的动物多样性减少以及地下水污染。第二种更为重要的途径是水体富营养化，这是对淡水生态系统及其生物多样性的主要威胁。富营养化导致藻类过度生长，进而对鱼类、两栖动物和无脊椎动物产生不利影响（19、20）。扩散性营养物污染可对沿岸系统和海洋水域（如珊瑚礁）产生长距离的影响。大堡礁就是一个陆基农业污染影响具有全球重要环境价值区域的例子(21)。一系列工业和农业污染物对珊瑚礁造成影响，其中以甘蔗园肥料施用最为突出（22）。

**C. 过量的营养物质和污染会对景观乃至全球范围产生影响。**气候变化是全球生物多样性面临的最普遍、最严重的威胁之一，食物系统排放的温室气体占人类活动排放总量的 34% (23)。虽然土地利用方式改变和牲畜产生的甲烷占这些排放量的大部分，但肥料生产、田间施肥和粪便产生的温室气体排放量也占很大比例。化肥施用（无机和有机）造成的气态氮的损失也会造成空气污染（24）、氮在大气中的沉积（25）、平流层臭氧层的消耗和对流层臭氧的积累（26），所有这些都对全球和本地的生物多样性产生负面影响。

**D. 即通过可持续农业集约化缩小产量差距可以减少对土地利用方式转换的需求** (27)。这种“节约土地”的一个基本前提是，如果现有农业用地的产量提高了，那么就可以腾出土地用于生物多样性保护。反之，也可能存在“反弹效应”，即产量、效率和利润的提高会吸引更多生产者生产某种农产品，从而增加土地利用方式转换的风险（28）。



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

### **D. INSUFFICIENT NUTRIENTS**

#### **Multiple scale biodiversity impacts due to agricultural expansion**

- Increased conversion of natural ecosystems due to low crop yields
- Massive biodiversity loss at local to global scales due to uncontrolled habitat destruction, simplification, etc.
- Increased land degradation
- Increased erosion and siltation of waterways and marine ecosystems
- Increased human-animal conflict

### **A. EXCESS NUTRIENTS**

#### **Field-to-farm biodiversity impacts**

- Changed soil organic matter, lowered pH
- Reduced soil fauna, mixed responses of microbes and soil fungi, reduced arbuscular mycorrhizal fungi
- Reduced agrobiodiversity/local plant diversity
- Negative impacts on other biodiversity through habitat degradation
- Many negative effects on local ecosystem services

## **EXCESSIVE OR INSUFFICIENT NUTRIENT APPLICATION**

### **C. EXCESS NUTRIENTS**

#### **Pollution at local and global scales**

- Gaseous nutrient losses from soil, fertilizer, manure ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ )
- GHG emissions contributing to climate change and ozone depletion ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ )
- Air pollution (e.g.  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$ , ozone, fine particulate matter, acid rain)

### **B. EXCESS NUTRIENTS**

#### **Offsite and landscape biodiversity impacts**

- Natural losses due to leaching, runoff, erosion, waste
- Eutrophication of adjacent waterways and groundwater, and enrichment and pollution of marine systems
- Run-off and spray drift into adjacent vegetation leading to biodiversity losses
- Increased OR decreased conversion of natural ecosystems to production systems (socioeconomic context-dependent)

图 3. 对过量 (A-C) 和不足 (D) 农业养分输入的一般环境、生物多样性和土地利用方式转换反应。



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

图 3 未充分反映可能以各种方式影响生物多样性的多种过程。例如，大量养分可能会在本地（如有机材料的移动）或跨区域（如农产品贸易）转移，进而引发养分过剩或不足引起不同的生物多样性反应

人们普遍认为，过量施肥会对生物多样性产生负面影响。总体而言，科学界支持这一观点，但文献中也主要集中于少数元素（如氮、磷）的负面影响。人们对矿物元素整体管理对生物多样性的许多直接和间接影响仍然知之甚少。一种更平衡的观点认为，生物多样性的反应是多变的，取决于养分、施用率、耕作系统、物种、生物多样性发生的规模、气候和其他相关因素。例如：

- 项关于施用氮肥对土壤生物多样性影响的研究发现，不同生物群体的反应差异很大（10）。例如，在施用氮肥的系统中，细菌的多样性增加了3%，真菌的多样性增加了13%，微生物的功能多样性也持续增加。同时，在各项研究中，丛枝菌根真菌的多样性下降了10%，且无机肥料施用量越多，其下降幅度越大。施用无机肥料（非有机肥料，如粪肥）后，土壤动物（如蚯蚓、甲虫、春蟊）的多样性也出现了类似的下降。
- 最近对 207 项研究中的 1679 个案例进行的荟萃分析得出如下结论：氮和磷的添加会降低陆地和水生生态系统中无脊椎动物的丰度，氮和磷的联合添加对热带无脊椎动物丰度的影响程度大于温带地区（29）。然而，养分添加对无脊椎动物生物量和丰富度的影响较弱或不确定。
- 植物对土地利用和养分管理的反应通常表明，肥料对植物多样性有负面影响（17）。然而，养分不同影响也不同，而且也有许多例外情况。在养分低、植物物种丰富的草地上增加氮（如来自化肥或大气沉降的氮），会对物种丰富度产生很大的负面影响，但这种影响也是可逆的（30）。另一方面，严重贫瘠的草地可能因缺乏磷等养分而导致植物生物多样性较低，而随着土壤中磷的积累达到更理想的水平，植物生物多样性会迅速增加至新的平台（31）。
- 在许多地区，农业集约化对许多鸟类产生了负面的整体影响。无机肥料本身不会直接影响耕地中的农田特化鸟类物种（32），但它可能会间接导致栖息地退化和鸟类捕食的无脊椎动物减少（图 1）。



SCIENTIFIC PANEL  
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

# 这对基本生态系统服务有何影响？

生物多样性驱动着大量的生态功能(33)，这些功能提供了人类从大自然中免费获得的生态系统服务。生物多样性与生态系统服务之间的关系可能很复杂。在许多情况下，多样性的增加会导致生态系统服务的增加。例如，在耕作系统中引入草地或开花植物带可增加授粉昆虫和鸟类的数量，并在径流、土壤和养分保持方面带来益处(34)。但有时物种数量的增加并不一定意味着功能或服务的增加。例如，在某些土壤群落中，群落组成可能比物种数量对生态系统服务更为重要（35）。



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

生物多样性驱动的生态系统服务在农业系统中尤为普遍，其益处包括授粉、病虫害控制、土壤通气、洪水控制和养分循环。这对发展中国家的数百万贫困农民尤为重要，因为他们对生态系统服务的依赖程度通常很高（36）。

生态系统提供的主要服务在不同的空间尺度上各不相同。在田间到农场的范围内，主要服务是粮食生产以及包括害虫控制和土壤形成在内的其他服务。在农场以外的范围，服务包括野生生物多样性栖息地、空气和水质以及授粉。在最大范围内，服务包括调节（或破坏）气候。当生物多样性的减少对人类福祉至关重要的生态系统服务产生负面影响时，制定和部署适当的政策和干预措施来解决这些问题就变得至关重要（37）。

## 目前如何解决这些问题？

解决养分管理及其对生物多样性的影响，需要从更广泛的战略角度来看待，以解决整个食物系统造成的生物多样性损失问题。优化养分管理至关重要，但这只是粮食生产对生物多样性的影响和缓解方案这一大背景中的一部分。

这些问题已在联合国可持续发展目标 (SDGs) 等高级别全球承诺中有所体现[2]。粮食与生物多样性之间的关系经常被描述为可持续发展目标 2 (“零饥饿”) 与可持续发展目标 14 (“水下生命”) 和 15 (“陆地生命”) 之间的冲突。然而，农业养分管理的现实情况更像是几个可持续发展目标之间的多向互动，其中一些潜在的双赢似乎是可行的（例如，可持续发展目标目标 2.4）。有许多全球和机构

倡议（如联合国粮食系统峰会、[EAT 论坛/Lancet](#)、[FOLU](#) 或世界自然基金会的“以地球为基础的饮食”）都在努力向政策制定者、消费大众和生产者提供信息，使他们参与其中，探讨粮食系统如何才能更具可持续性，带来更好的人类营养和健康结果，并扭转生物多样性的丧失（38）。

在管理干预方面，农业-食品-环境界面的科学家呼吁采取通常被称为“可持续集约化”、“再生农业”或“自然积极农业”的管理行动。尽管定义和具体解决方案大相径庭，但它们的目标一般都是在现有土地上实现充足的粮食生产，同时减少对环境的影响（39）。虽然养分管理并不局限于此，但在可持续集约化的大框架下，可以有很多选择，包括高产、高效和环境相容的养分管理干预措施。

## 取得进展的障碍是什么？

从最广泛的意义上讲，农业管理的大规模转变需要全球粮食系统的转型，这反过来又需要全球和区域经济系统更广泛的转型。这远远超出了养分管理的范围，但确实需要得到承认。

养分管理与生物多样性保护之间的协调通常可在地方范围内实施，但在具有重大和持久生物多样性效益的范围内进行宣传 and 采用则面临挑战。这些挑战包括：需要围绕许多“替代”管理方法开展培训、与更自然向好方法相关的前期成本、生态农业干预措施所需的人力物力投入，或缺乏政府和行业激励措施来转向积极的自然管理。



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

一个主要障碍在于需要制定政策激励措施，以解决养分管理对生物多样性的外部影响。该措施需对食物链中的所有参与者（尤其是农民）更有利且具有经济可行性。这是追求自然积极食物系统的共同问题，并不局限于养分管理。然而，全球有相当数量的农民似乎已经在采取一系列“可持续集约化”干预措施，据估计，在 4.53 亿公顷（占全球农业用地的 9%）的土地上，有 1.63 亿个农场（占全球总数的 29%）在以某种形式进行可持续集约化 (40)。

## 关键的知识缺口是什么？

尽管我们已经掌握了大量与可持续养分管理以及如何更好地保护生物多样性相关的信息，但仍存在许多知识空白，如果能填补这些空白，将有助于加快有效变革和实施创新管理战略。这些空白包括：

- 在特定地区和景观中，肥料在为保护而节省土地方面发挥了什么具体作用？
- 农业系统中管理的不同矿物质元素如何对生物多样性产生积极或消极影响？
- 不同农业系统的最佳功能所需的土壤有机质和微生物生物多样性的“适当”水平是什么？
- 如何将生物多样性目标纳入肥料建议和养分管理计划？
- 农民在采用生物多样性友好型养分管理方法时会遇到哪些社会生态、经济和心理障碍？证据、激励措施和新技术如何帮助克服这些障碍？
- 在全球数以亿计的小农户农场中，自然向好和富有成效的养分管理有哪些具体机会？农场合并成更大的土地对养分利用和生物多样性有哪些影响？

# 可以做些什么？

优化养分管理以尽量减少对生物多样性的负面影响，是负责任植物营养新范式的一个组成部分，该范式旨在通过粮食系统和循环经济方法实现社会最优（41）。建议的许多养分管理干预措施和方法在很大程度上取决于世界不同地区粮食系统转型的规模和速度。耕作制度、养分管理策略和生物多样性应对措施千差万别，因此没有解决生物多样性损失问题的“灵丹妙药”；但有许多备选方案，如果加以整合，可对生物多样性保护和粮食生产产生积极影响（方框 1）。



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

### 方框 1.可用于减轻负面影响、维持或改善生物多样性和生态系统服务的与养分管理直接或间接相关的部分干预措施。

- 更好地规划土地使用，避免在生物多样性价值特别高的地区进行农业生产，停止农业用地面积进一步扩大
- 缩小全球产量差距，以生产足够的粮食和腾出土地
- 恢复退化的农田，通过综合土壤肥力管理改善土壤健康和功能
- 增加农业生物多样性，采用综合方法进行养分管理（如化肥与现有有机肥相结合、轮作、间作、养分闭合循环的作物-牲畜系统、林木作物与豆科植物相结合等）
- 采用精准耕作方法实行规模化养分管理，包括根据土地特征、作物和生产者的要求匹配肥料类型、施肥量、施肥时间和地点，避免养分流失
- 在水道等环境敏感区域周围设立缓冲区
- 针对具体情况的养分利用效率目标和养分过剩限制，包括更好的监测和预警系统
- 以证据为基础的政策、财政激励措施和外联活动，使生产者和支持企业能够过渡到生物多样性更优化和更可持续的耕作方法，包括肥料合理施用。

## I将养分管理纳入全球生物多样性目标和行动指标

粮食生产与生物多样性之间复杂的相互作用是一个日益热门的话题，在联合国可持续发展目标和即将召开的联合国粮食系统首脑会议上都有很强的代表性。全球目标和发展路线图是确认某个问题的重要性、总结需要实现的目标、用普遍接受的语言和协议将其载入史册的一种方式，从而为更细化的政策和行动提供了明确的授权，以实现目标的意图。至关重要的是，在制定养分管理的目标、具体目标和指标时，应考虑并充分体现一系列问题和细微差别：

1. 将施用养分对生物多样性的影响从农业集约化的其他影响和其他形式的“污染”（如杀虫剂和塑料废物）中分离出来（因为它们的作用非常不同；
2. 考虑到养分管理可带来巨大的粮食和营养安全效益，并有可能通过增产减少农业扩张；
3. 认识到世界上某些地区可能需要减少养分投入，而另一些地区则迫切需要增加养分的使用，重点应放在优化肥料使用和提高养分使用效率上；
4. 制定针对具体情况、注重结果、可操作、可行且可衡量的目标，包括考虑潜在的间接影响（如对粮食安全的影响）。



## SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

在《生物多样性公约》2010年爱知生物多样性目标[Z]中，养分管理被纳入目标8：“到2020年，污染（包括过量养分造成的污染）降低到不损害生态系统功能和生物多样性的水平”。虽然这是一个注重结果的目标，但它缺乏上述许多其他要求，因此尚未实现。事实上，近三分之二的国家甚至没有报告这一目标，只有少数几个国家声称实现了这一目标。

目前正在讨论的2020年后全球生物多样性框架包括21项目标，要求在2030年前的十年内采取紧急行动：“将所有来源的污染减少到对生物多样性、生态系统功能和人类健康无害的水平，包括将流失到环境中的营养物质至少减少一半，农药至少减少三分之二，并消除塑料废物的排放。然而，按照目前的草案，现有提案并没有充分解决养分及其对生物多样性的多方面影响。同样，到2030年将流失到环境中的养分减半也是一个非常宏大的愿景。

假设可以通过更好的政策、技术和实践来加快进展，那么更现实的目标可能是2030年耕地氮利用效率比2020年提高20%，同时氮过剩和损失也相应减少。这种增长可以在不同的农业条件下实现。



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

我们主张采用更加细致和平衡的方法来制定有关养分管理的目标和指标，重点关注满足上述四项要求的目标。这些目标应旨在优化养分利用效率，并在对生物多样性影响最大的地点和范围内尽量减少环境中的养分损失。例如，可为氮素利用效率（NUE）（按养分输出与养分输入之比计算）定义的特定农业安全目标范围。这方面的一个例子是欧洲氮专家小组提出的氮利用效率指标（42）。该指标指导农场养分管理，以减少硝酸盐沥滤、径流、氨和氧化亚氮排放，同时实现高水平的生产率并维持土壤健康，从而解决对生物多样性的几个关键影响（图 3）。新西兰政府与化肥行业合作，已经采用了这种方法，利用全国范围的养分景观通量计算机建模，支持制定农场养分预算，因时因地因量进行化肥投入。

应特别强调避免生态系统转换和富营养化，因为这可能是最重要的养分生物多样性影响。氮和磷的过度流失导致内陆和海洋水域富营养化，这是一个尤为复杂的挑战。造成富营养化的原因是集水区和沿海地区多种来源的过量营养负荷。主要来源包括(i) 农业施肥，(ii) 化石燃料燃烧排放，(iii) 豆类农业，(iv) 畜牧业，(v) 未经充分处理的废水，以及(vi) 水产养殖。非点源（扩散源）输入量（上述 i-iv）远远超过点源输入量（上述 v 和 vi），该现象大多与耕作制度、土壤耕作以及肥料和粪肥的使用等农耕方式有关（19、20、43）。减轻大型集水区的养分负荷需要多方达成共识、确定具体目标、多方利益相关者的干预和有效监测。世界不同地区都有良好的范例，可为制定此类目标和干预措施提供指导（方框 2）。

**方框 2. 澳大利亚的大堡礁因其生态重要性、自然美景以及对澳大利亚旅游业和国内生产总值的贡献而闻名于世，但它也正受到与过去和现在的农业投入、集水区管理、沿海开发、极端天气事件和气候变化影响（如最近的大面积珊瑚白化事件）相关的土地径流的日益严重的威胁。**2017 年，一份科学共识声明为制定“珊瑚礁 2050 水质改善计划”提供了共识。利益相关者同意 2025 年的具体目标，即在确定的珊瑚礁集水区需要采取的行动，以及湿地状况和近岸海洋健康的目标。通过这种方法，可以确定减少营养物质负荷的具体目标，并在实现这些目标方面取得重大进展，例如：

- 到 2025 年，集水区末端溶解无机氮负荷减少 60%；目前已实现：25.5%
- 到 2025 年，集水区末端的微粒氮负荷减少 20%；目前已实现：13.4%
- 到 2025 年，集水区末端的颗粒 P 负荷减少 20%；目前已实现：16.6%



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

## 改进农业发展规划

另一个关键方法是更系统地解决土地利用中营养物质与生物多样性之间的相互作用，特别是农业与生物多样性丰富地区的空间重合。确定空间重叠区域将使养分管理和保护工作与大规模农业发展相关联。尤其令人担忧的是，未来预计的农业扩张和集约化对中美洲和南美洲、撒哈拉以南非洲、马达加斯加、澳大利亚东部、东南亚、印度、印度尼西亚和巴布亚新几内亚等生物多样性热点地区的潜在影响（44）。在这些热带和亚热带地区，由于物种丰富度和地方特有性都非常高，自然生态系统的转换将对生物多样性产生极大的影响，因此有效且得到良好执行的土地规划过程至关重要（45）。这些热点地区往往存在巨大的产量差距，利用有针对性的集约化减少生物多样性关键地区的耕地扩张是可能的（46）（图4）。

即使大大改进了与生物多样性热点地区相关的农业发展规划，生物多样性高的地区仍将不可避免地经常出现集约化，这就需要强有力的环境立法和养分管理执法。保护特定生态系统和栖息地免受不可避免的局部集约化影响的另一种机制，是在农业用地和自然生态系统之间保留或设置植被缓冲区。这可能是一种非常有效的方法：a) 减少来自耕地的化肥（和其他农用化学品）漂移；b) 拦截来自耕地和牧场的径流；c) 提供多种其他生态系统服务，如生物多样性栖息地、授粉者资源、天敌栖息地、动物物种的连通性、洪水控制和碳固存（47）。由于在任何给定的景观环境中，影响缓冲区有效性的因素都很复杂，“一刀切”的缓冲区方法不太可能有用，因此需要因地制宜。



SCIENTIFIC PANEL  
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

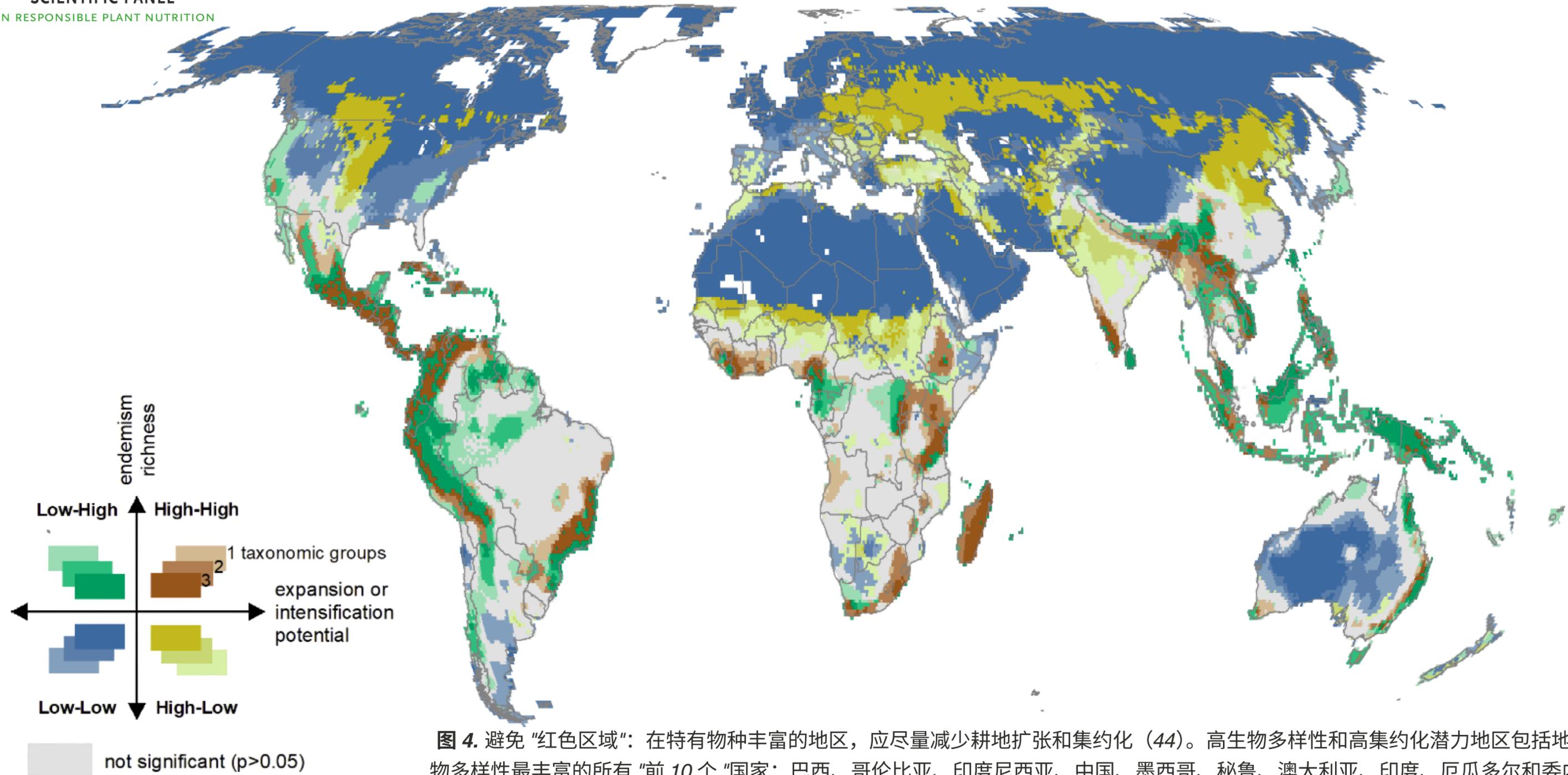


图 4. 避免“红色区域”：在特有物种丰富的地区，应尽量减少耕地扩张和集约化（44）。高生物多样性和高集约化潜力地区包括地球上生物多样性最丰富的所有“前 10 个”国家：巴西、哥伦比亚、印度尼西亚、中国、墨西哥、秘鲁、澳大利亚、印度、厄瓜多尔和委内瑞拉。



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

## 将生物多样性纳入养分管理

4R 养分管理(48) 和类似方法已在世界不同地区得到发展和推广。作为一套养分管理准则，其目的是在以何种形式、如何、何时、何地等施用养分方面提高效率并因地制宜。它们提供了一种潜在的双赢局面，即通过减少渗入地下水、径流进入水体、漂移到附近生态系统等方式，提高农业生产率和效率，同时减少对环境的负面影响。

4R 中的每一个（正确的来源、正确的速度、正确的时间和正确的地点）都对生物多样性有影响，并可将现场和场外生物多样性要素纳入其中。这种方法基于对生物多样性的两种观点：(i) 不适当（尤其是过量）的养分输入可能会对施用点和场外的生物多样性产生负面影响（图 3）；(ii) 可利用生物多样性来提供效益，这些效益可与养分管理协同作用，以提高生产力和生物多样性本身。如何将生物多样性应对措施纳入现有 4Rs 的例子包括

**正确的来源：**我们需要进一步了解特定无机和有机肥料类型对生物多样性各个方面（如土壤物种丰富度、分布、群落组成）的影响，及其与生态系统服务提供之间的关系。特别是，清楚地了解哪些养分来源对生物多样性的危害较小，并将其纳入循证管理战略，将有助于在不影响生产的情况下保护生物多样性。更好地了解生物多样性在不同尺度上的净变化也很重要，因为田间、农场、景观和更大尺度之间可能存在权衡问题，需要加以考虑。

**正确的施肥量：**目前，肥料建议主要针对农艺或经济上的最佳养分量。养分施用量越高，生物多样性似乎下降得越多。因此，新方法的目标是开发确定施肥量的专门技术，以满足作物吸收和生物多样性反应的综合需要。这对于在各种农业系统中设定合理、互利的养分管理阈值和目标也至关重要。





SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

**正确的时间：**了解施用时间与生物多样性的各方面在时间和空间上的关系（如生命周期、分布、食物供应、繁殖），将有助于为可采取的缓解措施提供信息，这些措施涉及养分施用如何在田间到景观尺度上影响生物多样性的各种要素。

**正确的地点：**避免在农场和田间特定生境附近过量施用养分，这将有助于减少负面影响，而且可能不会影响作物产量。这些特征可包括植物多样的田边、树篱、池塘、沟渠、河流/溪流/小溪、围场树木（本地物种）、残留木本植被或物种丰富的草地。

制定有利于生物多样性的养分管理实践系统清单，将有助于设计养分管理路线图，减少过量施肥，提高或保持生产力和产量，并为农场生物多样性带来多重益处。

## 耕作制度的可持续集约化

可持续的耕作集约化体现了这样一种总体思路，即提高全要素生产率，可同时增加未来的粮食产量和农民收入，并限制农业对环境的影响。这种最佳集约化水平可以通过绿色全要素生产率或总资源生产率等衡量标准来实现，其中还考虑到气候、土壤和生物多样性等因素（49）。

全要素生产率（*TFP*）是衡量农业部门或其子部门所有产出与投入的指标。全要素生产率的增长反映了在知识和管理的影响下资源利用效率的提高。

除了 4R 和更精确的矿物肥料和有机肥料管理之外，可支持绿色全要素生产率增长的拟议行动通常包括：将固氮豆科植物作为轮作或间作的一部分、将牲畜及其粪便纳入种植系统、利用作物秸秆和食物残渣堆肥、绿肥、谷物豆科植物多样化、保护性农业，或种植豆科树木和灌木作为农场系统生产或自然资源管理的一部分。

例如，豆科植物轮作和间作可对土壤氮和产量产生积极影响(50)，并增加土壤有机质。此类管理干预措施有利于提高生物多样性，如微生物、蜜蜂等授粉者和寄生蜂等其他无脊椎动物，以上均可通过提供一系列生态系统服务对生产产生积极影响。

关于可能对生物多样性有益的潜在有效的可持续农业管理举措，已经有诸多报道(51)。然而，不同的农业环境中，这些举措的有效性、实施难易程度和可扩展性也各不相同。许多举措可能是劳动密集型的，依赖于为农民提供的实施支持。其他挑战涉及必要的基础设施和设备、农民培训、经济竞争力，以及如何监测多个目标（如产量、投入效率、现场和非现场环境影响）的有效性，并相应调整管理（52）。



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

显然，可持续集约化（或再生农业，或自然积极农业），包括优化肥料使用，可以而且应该在不同的规模上进行：

- 在田地和农场尺度--在需要的时间和地点，以作物和条件所需的形式、数量和频率施肥，采用 4R 类型的方法，包括保护和利用生物多样性及生态系统服务的措施；
- 在景观尺度上，一般应在最具生产力的土地形式和土壤类型上进行生产。然而，这需要与保护全面且具有代表性的生态系统的重要性相平衡，而不仅仅是那些与适合农业或其他用途的区域不一致的生态系统。更有效、更细致的土地利用规划和政策制定将有助于实现这一目标；
- 化肥生产和使用的区域和全球合理化（例如，在没有产量差距或产量差距较小的地区减少化肥生产和使用，在产量差距较大的地区增加化肥生产和使用）将有助于解决多种规模的生物多样性问题，包括异地污染和无节制的农业扩张。





SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

# 谁需要做什么？

粮食生产系统中具有影响力的利益相关者范围很广，在影响范围和需要采取什么措施来实现优化和对自然向好的养分管理方面可能存在很大差异。在这一领域能够真正发挥作用的主要利益相关者群体和优先干预领域包括：

政策制定者需要利用现有的最佳科学，与农业专家、化肥行业和自然保护专业人士进行对话并征求他们的专家意见，以便在以下领域制定和实施更好的政策：a) 改进土地使用规划和法规；b) 采取激励措施，以确保不再发生土地利用方式转换，尤其是在生物多样性较高的地区；c) 制定现实的、区域适用的、可行的养分管理目标和阈值，以便在生产和保护的双重需求之间取得平衡。此外，与化肥行业和经销商合作，确保在世界上产量差距较大的地区公平地提供和适当地使用投入也至关重要。

全球化肥行业应与自然保护科学家合作，开发和推广既能提高产量，又对施肥造成负面影响的多方面生物多样性更有利的化肥产品。化肥行业还将大力减少化肥生产过程中的温室气体排放。对养分管理和精准耕作方法进行投资，以实现更可持续的养分管理，并将生物多样性纳入企业可持续发展战略和衡量成功标准，这也至关重要。

自然保护组织可以发挥重要作用，与其他利益相关者合作：a) 确定高水平的养分使用可能导致生物多样性受到过度影响的地方；b) 告知产量差距导致的农业扩张的风险所在；c) 向其他利益相关者提供有关生物多样性高和高脆弱性地区的明确空间信息；d) 与行业、农民和农业咨询机构合作，开发改进的管理方案；e) 与政府和行业合作，制定激励措施和政策，帮助农民实施优化和更可持续的养分管理。



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

农民、农场顾问和服务提供商需要扮演一个更加注重自然资源（包括但不限于生物多样性）管理者的角色，并提供直接农业生产以外的更广泛的利益。使用 4R 方法，将生物多样性要素纳入其中，在农场开展生物多样性保护行动（例如，在政府和行业的支持下建立缓冲区），并在可能的情况下广泛采用可持续集约化方法，这些都是要发挥的作用的突出例子。这将需要政府的大力支持和激励、多个行业机构的协助以及当地具有科学知识的推广网络的能力建设。

消费者可以通过购买采用更可持续的管理方法生产的食品来提供帮助，只要这类产品和标签信息是可用和可靠的。这需要由政府、整个食品行业、生产商和保护组织共同发起和支持。类似于雨林联盟和各种商品作物（如棕榈油、大米）平台所使用的“自然向好”养分管理认证和标签计划，只要能准确呈现，效益是切实的、可衡量的，就会受到欢迎。

保护生物学、农艺学、管理学、农业技术和许多其他领域的研究人员可以为填补养分管理和生物多样性方面的许多知识空白做出巨大贡献。迫切需要社会科学家帮助了解采用生物多样性友好型养分管理方法的社会经济和行为障碍。此外，关键是要确保那些有能力进行积极变革的人，如政府、化肥行业、保护组织、生产者和推广人员，利用所产生的科学知识。

最重要的是，需要采取一种平衡的方法，既要考虑到肥料管理的必要性及其在粮食和营养安全方面带来的巨大好处（以及可能减少生态系统的转换），又要考虑到不当使用肥料可能造成的毋庸置疑的环境破坏。这就是为什么“最佳”一词的使用不仅仅是语义上的，而是需要所有利益相关者在所有规模、生产的所有方面加以操作。最初需要的是所有利益相关者，尤其是生产和保护领域的利益相关者，更好地理解认识施肥的益处和问题。如果保护部门和生产部门都能开始根据具体情况优化养分管理，那么就能为积极而持久的变革创造更有利的环境。



SCIENTIFIC PANEL  
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

# 成功是什么样的？

积极而持久的变革是什么样的？从短期来看，确保养分管理在《生物多样性公约》新目标等全球目标中得到充分体现是良好的第一步。与我们今天的状况相比，必须在人类一代人的时间内实现的优先成果包括：



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

粮食生产实现多重目标；养  
分管理得到优化，以缩小产  
量和效率差距，提供更好的  
营养，并在不同规模上实现  
生物多样性目标

不需要进一步改变自然生态  
系统；通过改进土地利用规  
划，包括积极的立法和激励  
措施，管理生物多样性热点  
地区

在养分管理解决方案中纳入  
生物多样性要求，这些解决  
方案可扩展并适应不同的耕  
作制度

与农业养分使用相关的农场  
内外生物多样性和生态系统  
服务（如土壤健康、河流健  
康、海洋健康）得到明显改  
善

减少与肥料生产和使用相关  
的农场前和农场内温室气体  
排放，有助于减轻全球气候  
变化对生物多样性的影响

通过研究填补关键的知识空  
白，并将证据纳入立法行  
动，客观地实现农业和生物  
多样性目标

加强化肥生产商与自然保护科学家和从业人员之间的对话，将发现共同点和需要解决的争议点。让农业社区（从小农户到大型农业企业，以及两者之间的各个环节）参与进来至关重要，因为他们是终端用户。需要在养分管理的许多方面改进政策和立法，并采取激励措施鼓励最佳做法。当然，还需要开展有针对性的研究，以确定最佳做法是什么样的。化肥行业已经承诺采取以可持续性为导向的经营方式。现在，这还需要与关注生物多样性的利益相关者加强互动与合作。



## SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

### 参考文献

1. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Diaz, H. Ngo, Eds., Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES, Bonn, Germany, 2019).
2. G. Ceballos *et al.*, Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science advances*. 1, e1400253 (2015).
3. S. L. Maxwell, R. A. Fuller, T. M. Brooks, J. E. M. Watson, Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature*. 536, 143–145 (2016).
4. B. M. Campbell *et al.*, Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society*. 22 (2017).
5. WWF, Living Planet Report 2020 - Bending the curve of biodiversity loss (World Wildlife Fund, Gland, Switzerland, 2020).
6. H. Liu *et al.*, Production of global daily seamless data cubes and quantification of global land cover change from 1985 to 2020 - iMap World 1.0. *Remote Sens. Environ.* 258, 112364 (2021).
7. H. L. Wright, I. R. Lake, P. M. Dolman, Agriculture-a key element for conservation in the developing world. *Conservation Letters*. 5, 11–19 (2012).
8. S. J. Attwood *et al.*, Declining birds in Australian agricultural landscapes may benefit from aspects of the European agri-environment model. *Biological Conservation*. 142, 1981–1991 (2009).
9. B. J. Cardinale *et al.*, Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*. 486, 59–67 (2012).
10. M.-A. de Graaff, N. Hornslein, H. L. Throop, P. Kardol, L. T. van Diepen, Effects of agricultural intensification on soil biodiversity and implications for ecosystem functioning: A meta-analysis. *Adv. Agronomy*. 155, 1–44.
11. J. Waterhouse, J. Brodie, S. Lewis, A. Mitchell, Quantifying the sources of pollutants in the Great Barrier Reef catchments and the relative risk to reef ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*. 65, 394–406 (2012).
12. K. M. Carlson *et al.*, Greenhouse gas emissions intensity of global croplands. *Nat. Clim. Chang.* 7, 63–68 (2017).
13. H. F. M. ten Berge *et al.*, Maize crop nutrient input requirements for food security in sub-Saharan Africa. *Global Food Security*. 23, 9–21 (2019).
14. M. P. van Loon *et al.*, Impacts of intensifying or expanding cereal cropping in sub-Saharan Africa on greenhouse gas emissions and food security. *Global Change Biol.* 25, 3720–3730 (2019).
15. J. R. Stevenson, N. Villoria, D. Byerlee, T. Kelley, M. Maredia, Green Revolution research saved an estimated 18 to 27 million hectares from being brought into agricultural production. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110, 8363–8368 (2013).
16. E. F. Lambin *et al.*, Effectiveness and synergies of policy instruments for land use governance in tropical regions. *Global Environmental Change*. 28, 129–140 (2014).
17. K. Gerstner, C. F. Dormann, A. Stein, A. M. Manceur, R. Seppelt, Effects of land use on plant diversity - A global meta-analysis. *J Appl Ecol.* 51, 1690–1700 (2014).
18. B. Gove, S. A. Power, G. P. Buckley, J. Ghazoul, Effects of herbicide spray drift and fertilizer overspread on selected species of woodland ground flora: comparison between short-term and long-term impact assessments and field surveys. *J Appl Ecol.* 44, 374–384 (2007).
19. T. C. Malone, A. Newton, The globalization of cultural eutrophication in the coastal ocean: causes and consequences. *Front. Mar. Sci.* 7 (2020).
20. M. Le Moal *et al.*, Eutrophication: A new wine in an old bottle? *Science of The Total Environment*. 651, 1–11 (2019).



## SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

## 参考文献

21. F. J. Kroon, P. Thorburn, B. Schaffelke, S. Whitten, Towards protecting the Great Barrier Reef from land-based pollution. *Global Change Biol.* 22, 1985–2002 (2016).
22. J. E. Brodie *et al.*, Terrestrial pollutant runoff to the Great Barrier Reef: An update of issues, priorities and management responses. *Marine Pollution Bulletin.* 65, 81–100 (2012).
23. M. Crippa *et al.*, Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nat Food.* 2, 198–209 (2021).
24. S. E. Bauer, K. Tsigaridis, R. Miller, Significant atmospheric aerosol pollution caused by world food cultivation. *Geophys. Res. Lett.* 43, 5394–5400 (2016).
25. G. S. Okin *et al.*, Impacts of atmospheric nutrient deposition on marine productivity: Roles of nitrogen, phosphorus, and iron. *Global Biogeochem. Cycles.* 25 (2011).
26. J. Fuhrer *et al.*, Current and future ozone risks to global terrestrial biodiversity and ecosystem processes. *Ecology and Evolution.* 6, 8785–8799 (2016).
27. F. Baudron, K. E. Giller, Agriculture and nature: Trouble and strife? *Biological Conservation.* 170, 232–245 (2014).
28. R. M. Ewers, J. Scharlemann, A. Balmford, R. E. Green, Do increases in agricultural yield spare land for nature? *Global Change Biol.* 15, 1716–1726 (2009).
29. M. P. Nessel, T. Konnovitch, G. Q. Romero, A. L. González, Nitrogen and phosphorus enrichment cause declines in invertebrate populations: a global meta-analysis. *Biological Reviews* (2021).
30. J. Storkey *et al.*, Grassland biodiversity bounces back from long-term nitrogen addition. *Nature.* 528, 401–404 (2015).
31. K. A. Macintosh *et al.*, Transforming soil phosphorus fertility management strategies to support the delivery of multiple ecosystem services from agricultural systems. *Science of The Total Environment.* 649, 90–98 (2019).
32. A. Kovács-Hostyánszki, P. Batáry, W. J. Peach, A. Báldi, Effects of fertilizer application on summer usage of cereal fields by farmland birds in central Hungary. *Bird Study.* 58, 330–337 (2011).
33. S. Díaz *et al.*, Assessing nature's contributions to people. *Science.* 359, 270 (2018).
34. L. A. Schulte *et al.*, Prairie strips improve biodiversity and the delivery of multiple ecosystem services from corn-soybean croplands. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 114, 11247 (2017).
35. D. H. Wall, U. N. Nielsen, Biodiversity and ecosystem services: is it the same below ground? *Nature Education Knowledge.* 3, 8 (2012).
36. W. Yang, T. Dietz, W. Liu, J. Luo, J. Liu, Going beyond the Millennium Ecosystem Assessment: an index system of human dependence on ecosystem services. *PLoS ONE.* 8, e64581 (2013).
37. D. A. Landis, Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic and Applied Ecology.* 18, 1–12 (2017).
38. D. Leclère *et al.*, Bending the curve of terrestrial biodiversity needs an integrated strategy. *Nature.* 585, 551–556 (2020).
39. D. Tilman, C. Balzer, J. Hill, B. L. Befort, Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108, 20260–20264 (2011).
40. J. Pretty *et al.*, Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability.* 1, 441–446 (2018).
41. Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition, A new paradigm for plant nutrition. Issue Brief 01 (2020).



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

## 参考文献

42. EU Nitrogen Expert Panel, Nitrogen Use Efficiency (NUE). *Guidance document for assessing NUE at farm level* (Wageningen University, Alterra, Wageningen, NL, 2016).
43. D. J. Conley *et al.*, *Ecology. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus. Science*. 323, 1014–1015 (2009).
44. F. Zabel *et al.*, *Global impacts of future cropland expansion and intensification on agricultural markets and biodiversity. Nat Commun*. 10, 2844 (2019).
45. L. Tacconi, R. J. Rodrigues, A. Maryudi, *Law enforcement and deforestation: Lessons for Indonesia from Brazil. Forest Policy and Economics*. 108, 101943 (2019).
46. Y. Zhang, M. Pang, B. L. Dickens, D. P. Edwards, L. R. Carrasco, *Global hotspots of conversion risk from multiple crop expansion. Biological Conservation*. 254, 108963 (2021).
47. L. J. Cole, J. Stockan, R. Helliwell, *Managing riparian buffer strips to optimise ecosystem services: A review. Agriculture, Ecosystems & Environment*. 296, 106891 (2020).
48. International Plant Nutrition Institute, *4R plant nutrition manual: A manual for improving the management of plant nutrition*, metric version (IPNI, Norcross, GA, USA, 2016).
49. R. Seppelt, C. Arndt, M. Beckmann, E. A. Martin, T. W. Hertel, *Deciphering the Biodiversity-Production Mutualism in the Global Food Security Debate. Trends in Ecology & Evolution*. 35, 1011–1020 (2020).
50. F. Stagnari, A. Maggio, A. Galieni, M. Pisante, *Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 4, 2 (2017).
51. W. J. Sutherland, L. V. Dicks, S. O. Petrovan, R. K. Smith, *What works in conservation 2020* (Open Book Publishers, Cambridge, UK, 2020).
52. N. Mahon, I. Crute, M. Di Bonito, E. A. Simmons, M. M. Islam, *Towards a broad-based and holistic framework of Sustainable Intensification indicators. Land Use Policy*. 77, 576–597 (2018).

## 作者、引用与联系方式

**协调首席作者:** Simon Attwood (Consultant, Biodiversity Conservation and Management, UK)

**贡献作者:** All members of the Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition.

Tom Bruulsema (Plant Nutrition Canada), Ismail Cakmak (Sabanci University, Turkey), Achim Dobermann (International Fertilizer Association, France), Bruno Gerard (CIMMYT, Mexico), Kaushik Majumdar (African Plant Nutrition Institute, Morocco), Michael McLaughlin (University of Adelaide, Australia), Pytrik Reidsma (Wageningen University & Research, The Netherlands), Bernard Vanlauwe (International Institute of Tropical Agriculture, Kenya), Lini Wollenberg (CGIAR Climate Change, Agriculture & Food Security Program, USA), Fusuo Zhang (China Agricultural University, China), Xin Zhang (University of Maryland Center for Environmental Science, USA)

**引文:** Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition. 2021. Achieving nature-positive plant nutrition: fertilizers and biodiversity. Issue Brief 02. Available at <https://sprpn.org>.

**更多信息** Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition, [info@sprpn.org](mailto:info@sprpn.org)