



联合国
粮食及
农业组织

世界粮食和 农业领域土地 及水资源状况：

系统濒临极限

概要报告 2021

世界粮食和 农业领域土地 及水资源状况：

系统濒临极限

概要报告 2021

联合国粮食及农业组织
罗马，2021年

引用格式要求：

粮农组织。2021。《世界粮食和农业领域土地及水资源状况：系统濒临极限》2021 年概要报告。
<https://doi.org/10.4060/cb7654zh>

本信息产品中使用的名称和介绍的材料，并不意味着联合国粮食及农业组织（粮农组织）对任何国家、领地、城市、地区或其当局的法律或发展状况，或对其国界或边界的划分表示任何意见。提及具体的公司或厂商产品，无论是否含有专利，并不意味着这些公司或产品得到粮农组织的认可或推荐，优于未提及的其它类似公司或产品。

本信息产品中陈述的观点是作者的观点，不一定反映粮农组织的观点或政策。

ISBN 978-92-5-135419-3

©粮农组织，2021 年



保留部分权利。本作品根据署名-非商业性使用-相同方式共享 3.0 政府间组织许可（CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.zh>）公开。

根据该许可条款，本作品可被复制、再次传播和改编，以用于非商业目的，但必须恰当引用。使用本作品时不应暗示粮农组织认可任何具体的组织、产品或服务。不允许使用粮农组织标识。如对本作品进行改编，则必须获得相同或等效的知识共享许可。如翻译本作品，必须包含所要求的引用和下述免责声明：“该译文并非由联合国粮食及农业组织（粮农组织）生成。粮农组织不对本翻译的内容或准确性负责。原英文版本应为权威版本。”

除非另有规定，本许可下产生的争议，如通过调解无法友好解决，则按本许可第 8 条之规定，通过仲裁解决。适用的调解规则为世界知识产权组织调解规则（<https://www.wipo.int/amc/zh/mediation/rules>），任何仲裁将遵循联合国国际贸易法委员会（贸法委）的仲裁规则进行仲裁。

第三方材料。欲再利用本作品中属于第三方的材料（如表格、图形或图片）的用户，需自行判断再利用是否需要许可，并自行向版权所有者申请许可。对任何第三方所有的材料侵权而导致的索赔风险完全由用户承担。

销售、权利和授权。粮农组织信息产品可在粮农组织网站（<http://www.fao.org/publications/zh/>）获得，也可通过 publications-sales@fao.org 购买。商业性使用的申请应递交至 www.fao.org/contact-us/licence-request。关于权利和授权的征询应递交至 copyright@fao.org。

封面照片（从上到下）：©粮农组织/Giulio Napolitano, ©粮农组织/Giuseppe Bizzarri, ©粮农组织/Alessia Pierdomenico, ©粮农组织/Sheam Kaheel

目录

前言	VII
序言	IX
致谢	XIII
《2021年版土地及水资源状况》要点	XVII

1	土地、土壤及水资源状况	1
	1.1 气候变化背景下土地资源面临的压力	2
	1.2 人为造成的土地退化	10
	1.3 水资源短缺	14
	1.4 极端洪灾事件	20
	1.5 农业造成的水污染	21

2	土地和水资源需求的社会经济动因	24
	2.1 社会经济转型与全球粮食体系	26
	2.2 人均水资源日益减少	26
	2.3 土地持有模式呈偏态分布	27
	2.4 部分群体无法获取土地和水资源	28
	2.5 竞争与部门权衡取舍：水-粮食-能源的联系	29

3	挑战深化加剧	31
	3.1 土地和水资源系统濒临极限	32
	3.2 展望未来	34
	3.3 从气候风险到雨养生产 - 土地适宜性的变化	37
	3.4 对土地和水资源的风险影响	39

4	风险应对与行动	42
	4.1 行动领域一：采纳包容性的土地和水资源治理模式	44
	4.2 行动领域二：全面实施综合性解决方案	48
	4.3 行动领域三：拥抱创新技术和管理	51
	4.4 行动领域四：投资推动长期可持续发展	54

5	《2021年土地及水资源状况》的主要结论	56
---	----------------------	----

参考文献	59
------	----

地图

- S.1 主要土地覆盖类型
- S.2 1961 – 2020年平均温度变化 (°C)
- S.3 1981-2010年生长期参考长度
- S.4 2020年全球森林分布情况，按气候分类
- S.5 2019年全球土壤有机碳情况 (吨/公顷)
- S.6 2021年30 – 100厘米深盐碱化土壤
- S.7 2015年土地退化类型，按人为压力的严重程度和自然退化趋势分列
- S.8 2018年各主要流域所有部门水资源压力程度
- S.9 2018年各流域因农业部门导致的水资源压力程度
- S.10 2015年各灌溉区水资源压力程度
- S.11 令人关切的全球各区域（易受农药污染的全球各区域）
- S.12 基于土地资源现状和趋势划定的风险区域，2015年
- S.13 雨养耕地历史旱情发生频率，1984 – 2018年

S.14 本世纪80年代与基线气候（1981 – 2010年）相比雨养小麦的土地适宜性变化情况（ENS-RCP 8.5）

S.15 二十一世纪80年代雨养农业复种区等级划分（ENS-RCP 8.5）



S.1 2020年全球森林面积和1990 – 2020年间每十年净变化

S.2 全球农业粮食体系温室气体排放情况，按生命周期各阶段和人均排放量分列

S.3 1961 – 2010年世界农业全要素生产率增长情况

S.4 2006年、2009年、2012年、2015年和2018年各区域水资源压力变化

S.5 2000年、2012年和2018年各区域年人均内部可再生水资源总量（立方米/人）

S.6 2000年、2012年和2018年各区域人均水资源取用总量（立方米/人）

S.7 按国家水资源压力阈值划分的人口分布情况，2000年（左）和2018年（右）

S.8 农场和农田的全球分布情况，按土地面积等级划分，2010年



S.1 2000 – 2019年土地利用类型变化（百万公顷）

S.2 2015年人为造成的土地退化面积（百万公顷）

S.3 2015年各区域人为造成的土地退化面积

S.4 2015年全球土地覆盖类型的土地退化分类

S.5 面临退化风险的生产性土地，2015年

S.6 粮农组织《粮食和农业的未来》展望情境下灌溉收获面积以及因对其灌溉（包括蒸散）而产生的蒸散增量基准（2012年）与预测（2050年）

S.7 本世纪80年代与基准气候（1981 – 2010）相比雨养复种潜力的绝对值变化和百分比变化（ENS-RCP 4.5）

总体生物物理状况、总趋势和累积压力输入层

插文

S.1 采用经过调整的GLADIS方法开展全球土地退化评估

S.2 从土地和水资源利用视角出发的粮农组织展望情境

S.3 克罗尼维亚农业联合工作（KJWA）

S.4 流域综合规划与治理助力推广实施可持续土地管理

S.5 信息及通信技术的发展帮助小规模稻农把握作物多元化机遇

气候变化对耕作和土地管理的未来潜在影响

与土地及水资源相关的部分事实

越南红河流域的水-粮食-能源联动模式

前言

《世界粮食和农业领域土地及水资源状况：系统濒临极限》报告（简称2021年版《土地及水资源状况》）就土地、土壤及水资源状况提供新信息，同时就不断变化且令人担忧的资源利用相关趋势提供实证。这些信息共同向我们展示了与十年前首份2011年版《土地及水资源状况》报告中所述内容相比更为严峻的形势，当时的报告曾强调指出，我们的许多生产性土地及水资源生态系统已经面临风险。土地及水资源生态系统正面临巨大压力，许多已被推向极限。

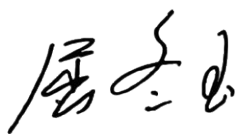
在此背景下，我们未来的粮食安全显然在很大程度上取决于我们对土地、土壤及水资源的保护。对粮食及农产品的需求在不断增长，这要求我们大家寻求创新方法，在气候变化和生物多样性丧失背景下实现各项可持续发展目标。我们绝不能低估这一挑战的艰巨性和复杂性。本报告指出，成败将取决于我们能否管理好土地及水资源生态系统所面临的质量风险，如何将创新性技术及制度性解决方案因地制宜地相互结合，最重要的是，如何重点关注打造更好的土地及水资源治理体系。

2021年联合国粮食体系峰会提出的相互关联的各项行动和建立的联盟为我们提供了重要的切入点，重新确立国家和全球要点，在此基础上推动农业和粮食体系转型，打造更高效、更包容、更具韧性且更可持续的农业和粮食体系。

各类关键利益相关方的切实参与至关重要，这些相关方包括直接参与农业领域土壤管理及水资源养护的农民、牧民、林业工人和小规模经营者。他们是大自然的监护人，是为保障未来可持续发展而采纳、调整、落实各项所需创新的最佳践行者。

我恳请大家阅读2021年版《土地及水资源状况》报告，了解与地球上农业粮食生产相关的所有基本信息。土地退化和水资源短缺问题不会消失。然而，虽然任务艰巨，但无论作为土地耕作者或食物消费者，只要我们哪怕在行为上做出小小的改变，就有可能实现各方迫切期待的全球粮农体系的重要转型。

联合国粮农组织已在自身新版《2022-31年战略框架》中做出坚定承诺，努力推动对我们至关重要的土地及水资源生态系统开展可持续管理，以实现更好生产、更好营养、更好环境、更好生活，不让任何人掉队。



联合国粮农组织总干事
屈冬玉博士

序言

背景介绍

人类在农业领域对土地及水资源的利用尚未达到峰值，但所有证据表明，农业生产率增速正在放慢，生产能力正在快速耗竭，对环境的破坏也在加快。采用更环保、更具气候智能性的生产方式，有助于扭转土地及水资源恶化的趋势，推动包容性增长。这符合联合国粮农组织战略框架确立的目标：“更好生产、更好营养、更好环境、更好生活”。

过去十年见证了多项重要全球性政策框架的出台，其中包括《2030年可持续发展议程》、有关气候变化的《巴黎协定》、《2015-2030年仙台减轻灾害风险框架》、《小岛屿发展中国家快速行动方式》、《新城市议程》和《亚的斯亚贝巴发展筹资行动议程》。这些框架提出了可持续发展目标(SDGs)、国家自主贡献(NDCs)和土地退化中和(LDN)等概念，特别是确立了专门针对水资源的可持续发展目标以及针对土地和土壤健康的具体目标。还与这些框架配套开展了各类全球自然资源评估活动，包括对土壤、林业、生物多样性、荒漠化和气候的评估。《世界粮食和农业领域土地及水资源状况：系统濒临极限》（简称2021年版《土地及水资源状况》）报告旨在了解其对农业产生的影响并提出解决方案，改变土地及水资源在全球粮食体系中共同发挥的作用。

气候变化的不确定性以及气候与土地之间复杂的相互关系给农业带来了巨大风险，需要得到合理管理。纵观全球，我们看到多项因素相互交织，给土地及水资源带来了前所未有的压力，导致人类面临多重影响，农产品供给遭受冲击，尤其是食物供给。2021年版《土地及水资源状况》报告认为，迫切需要关注这一以往一直被忽略的公共政策和人类福祉领域，关注土地、土壤及水资源的长远未来。

各类冲击，包括严重洪灾、旱灾以及冠状病毒病(COVID-19)疫情，往往会转移各方对发展重点的关注。各国际金融机构已发出警告，认为在COVID-19病毒感染人数再度上升、死亡人数不断增加的情况下，发达国家和发展中国家在

采用更环保、更具气候智能性的生产方式，有助于扭转土地及水资源恶化的趋势。





©粮农组织/Giulio Napolitano

土壤及水资源管理还是在向可持续消费方式转变的过程中保障营养、多样化膳食和资源节约型价值链的基础。

实现全球目标方面差距日益扩大。各项恢复计划为我们带来了机遇，及时应对问题并启动变革进程，包括在土地及水资源管理方面。

土地、土壤及水是联合国粮农组织为实现2021年联合国粮食体系峰会倡导的变革所作出承诺的基础。然而，要将关注重点转移到生产世界上98%食物的土地，我们仍需加强认识和行动。管理好土地、水，特别是土壤的长期健康，对于在需求不断增加的粮食链中获取食物、确保以环保的方式开展生产、促进公平生计、加强对自然灾害和疫情等冲击和压力的抵御能力而言至关重要。以上各项都离不开土地及水资源的获取和治理。可持续的土地、土壤及水资源管理还是在向可持续消费方式转变的过程中保障营养、多样化膳食和资源节约型价值链的基础。

《2021年土地及水资源状况》报告主要内容

2021年版《土地及水资源状况》报告出台之时，正是人类给土地、土壤及淡水系统带来的压力日益增大之时，将这些系统推至其生产极限。除了过去几十年不可持续的资源利用带来的环境后果之外，气候变化也已给雨养农业生产和灌溉农业生产造成了限制。本综述报告介绍2021年版《土地及水资源状况》完整版及其附件和背景报告中的主要发现和建议，完整报告将于2022年初正式出版。

2021年版《土地及水资源状况》在2011年版《土地及水资源状况》提出的各项概念和结论基础上编写完成。期间发生了许多变化。从国际社会的最新评估、预测、模拟情景看，地球上各种自然资源的现状令人震惊，突出表现为过度利用、滥用、退化、污染和日益稀缺。不断增长的食物、能源需求以及工业、城市、农业各领域对资源利用的竞争、保护和加强地球生态系统的完整性及其所提供的各项服务的必要性，都使得情况变得极为错综复杂，各种相互关联和相互依赖关系层出不穷。

2021年版《土地及水资源状况》采用了“驱动因素-压力-状况-影响-响应评价（DPSIR）”方法。这是分析和报告可持续农业生产、社会和环境之间重要的相互关系时可采用的成熟框架。这种DPSIR方法能提供一种架构，对各种因果关系进行报告，最终提出关键政策建议，帮助政策制定者评估所需变革的方向与性质，以便推进土地及水资源的可持续管理。

推高土地及水资源需求背后的驱动因素十分复杂。联合国粮农组织估计，到2050年，农业所生产的食物、纤维和生物燃料产量要比2012年多出

近50%，才能满足全球需求，到2030年成功实现“零饥饿”目标。二十一世纪初期食物不足人数减少的良好趋势已经出现逆转。该人数已从2014年的6.04亿增至2020年的7.68亿。虽然从全球层面看，到2050年满足97亿人营养需求是可能实现的，但预计各地在生产和消费方面会面临更加严重的问题，在稳步增长的流动人口中营养不良和肥胖的水平不断提高。

扩大耕地面积的可能性有限。良田正在不断被城市化侵占。淡水取用量中已有70%被用于灌溉。在经济增长优先的时段和地区，人为造成的土地退化、缺水 and 气候变化正在加大农业生产和生态系统服务所面临的风险。

世界上土地、土壤及水资源面临的大多数压力来自农业本身。化学（非有机）投入物的用量增加、农业机械化程度的提高、单一种植和放牧强度加大带来的总体影响，都集中在不断减少的农地上。它们带来的影响也外溢到其他部门，导致土地退化，污染地表水和地下水资源。

农村社区正普遍感受到由土地及水资源压力加大造成的影响，尤其是在资源有限、依赖性较高的地方，还有替代性食物来源有限的贫困城市人口中。人为造成的土地、土壤及水资源退化会降低生产潜力，影响营养食物的获取，并从更宽泛的角度看，减少对健康、韧性生计而言必不可少的生物多样性和环境服务。

农业面临的一项关键挑战是在维持产量水平的同时，减轻土地退化和排放，预防进一步污染和环境服务丧失。采取应对行动时，应包括采用适应土壤和水资源差异的气候智能型土地管理方法。如果能够在管理和技术方面开展大规模创新，向可持续农业粮食体系过渡，那么就能找到有助于提高生产率和产量水平的管理方案。但所有这些都离不开通过有效的土地及水资源治理对土地、土壤及水资源开展规划和管理。

提高土地及水资源的生产率对于实现粮食安全、可持续生产以及可持续发展目标至关重要。然而，世上并没有“放之四海而皆准”的解决方案。可行的“一揽子”解决方案目前已经具备，可用于强化粮食生产，应对由土地退化、严重缺水、水质下降等带来的主要威胁。

2021年版《土地及水资源状况》阐述如何将体制和技术应对措施结合起来，在土地、土壤及水资源相关领域乃至更宽泛的农业和粮食体系中，加强水资源安全和粮食安全。报告强调采用综合性方法管理土地及水资源的重要性。可持续土地管理、可持续土壤管理、综合水资源管理都是此类方法的范例，它们可以与技术创新、数据和政策相结合，加快提高资源利用效率，提高生产率，助力实现可持续发展目标。

在经济增长优先的时段和地区，人为造成的土地退化、缺水和气候变化正在加大农业生产和生态系统服务所面临的风险。





我们必须采取紧急行动，在全球粮食体系中实现必要的转型。

应认识到，其中的很多变革推动者尚未享受到技术进步带来的惠益，包括社会中处于不利处境的最贫困群体，他们多数居住在农村地区。虽然我们可能已经具备解决特定土地及水资源相关挑战的技术解决方案，但是否能够成功仍取决于土地及水资源的分配方式。只有在具备政治意愿、灵活的决策和落实到位的投资时，土地及水资源的包容性治理形式才有可能得到大范围采用。对土地及水资源治理的重视十分重要，它有助于引发实现可持续农业所需的变革，在保护和恢复自然资源基础的同时，提高收入，稳定生计。

同时还需要在粮食体系中农场以外的领域做出更多努力，以便最大限度发挥相关部门之间协同合作的作用，管理好权衡利弊，尤其是能源生产。为此，可能有必要在政策、体制和技术领域进行改革，打破以往的“一切照常”模式。

时间十分紧迫。当前，自然资源不断耗竭的趋势表明，雨养农业和灌溉农业生产正在接近或超越可持续性极限。我们必须采取紧急行动，在全球粮食体系中实现必要的转型。

致谢

2021年《世界粮食和农业领域土地及水资源状况》报告的编写工作得到了下列个人和机构的大力支持。

总体监督与审阅：L. Li 和 S. Koo-Oshima。

早期构思与监督：E. Mansur 和 O. Unver。

协调：F. Ziadat。

章节作者：V. Boerger、D. Bojic、P. Bosc、M. Clark、D. Dale、M. England、J. Hoogeveen、S. Koo-Oshima、P. Mejias Moreno、D. Muchoney、F. Nachtergaele、M. Salman、S. Schlingloff、O. Unver、R. Vargas、L. Verchot、Y. Yigini 和 F. Ziadat。

编辑团队：M. Kay (主编)、S. Bunning 和 J. Burke。

独立咨询委员会：U. Apel、M. Astralaga、A. Bahri、F. Denton、J. Herrick、B. Hubert、B. Orr、G. deSanti、J. Sara、A. P. Schlosser、Szöllösi-Nagy 和 F. Tubiello。

章节贡献作者：W. Ahmad、A. Bhaduri、R. Biancalani、C. Biradar、A. Bres、D. Dale、F. El-Awar、S. Farolfi、S. Giusti、N. Harari、R. Mekdaschi Studer、E. Pek、S. Uhlenbrook 和 L. Verchot 及 P. Waalewijn。

外部技术审阅：E. Aksoy、S. Alexander、J. Barron、T. Brewer、S. Burchi、M. Chaya、T. Darwish、I. Elouafi、C. Giupponi、N. Harari、S. Hodgson、P. Lidder、J. Lundqvist、R. Mekdaschi Studer、J. Molina Cruz、L. Montanarella、V. Nangia、T. Oweis、A. Pandya、E. de Pauw、R. Poch、S. Ramasamy、C. Ringler、M. Torero、S. Uhlenbrook、H. Van Velthuyzen、L. Verchot、P. Waalewijn、Y. Wada 和 P. Zdruli。

区域措施进程：M. Alagcan、J. Ariyama、I. Beernaerts、A. Bhaduri、T. Estifanos、J. Faures、M. Hamdi、T. Hofer、R. Jehle、T. Lieuw、Y. Niino、V. Nzeyimana、J. Quilty、E. Rurangwa 和 T. Santivanez。

过程协调：R. DeLaRosa、M. Kay、K. Khazal、O. Unver 和 F. Ziadat。

文案编辑：C. Brown。

专题报告和案例研究编写与审查：M.Abdel Monem、D.Agathine、L. Battistella、A.Bhaduri、O.Berkat、R.Biancalani、E.Borgomeo、A. Bres、M.Bruentrup、A.Cattaneo、F.Chiozza、R.Coppus、D. Dale、B. Davis、P.Dias、M.England、S. Farolfi、J. Faures、L. de Felice、T. Fetsi、M. Flores Maldonado、G. Franceschini、E. Ghosh、I. Gil、V. Gillet、G. Grossman、G. Gruere、F. Haddad、M. Henry、J. Herrick、T. Hoang、A.Huber-Lee、S.Iftekhar、P.Kanyabujinja Nshuti、K.Khazal、B. Kiersch、D.Kulis、J. Lindsay Azie、C. Lucrezia、Z. Makhamreh、Y. Makino、M.Merlet、M.Abdel Monem、F.Nachtergaele、V. Nzeyimana、V.Onyango、P.Panagos、L.Peiser、M.Petri、J. Preissing、O. Rochdi、W. Saleh、N. Santos、W. Scheumann、M. de Souza、H. Tropp、G. Veleasco 和 L. Verchot。

统计数据 and 地图编制：J. Burke、F. Chiozza、R. Coppus、T. Hoang、K. Khazal、M. Marinelli 和 L. Peiser。

出版安排、宣传和平面设计：M.Piroux、J.Morgan、K.Khazal 和 A. Asselin-Nguyen。

秘书支持：A. Grandi。

参与编写的机构：2021年《土地及水资源状况》是多方合作的结晶，由粮农组织土地及水利司牵头，与粮农组织总部若干司/处、驻区域和驻国家办事处、高级顾问以及重要伙伴共同编写完成。感谢以下为本报告提供数据和书面意见的伙伴机构：

亚洲土壤伙伴关系

澳大利亚国际农业研究中心（ACIAR）

法国农业发展研究中心（CIRAD）

环境法研究所（ELI）

德国联邦食品及农业部

未来地球/水未来研究小组

德国发展研究所（DIE）

格里菲斯大学

国际干旱地区农业研究中心（ICARDA）

国际生物盐化农业中心 (ICBA)

国际热带农业中心 (CIAT)

国际灌溉和排水委员会 (ICID)

国际应用系统分析研究所 (IIASA)

国际地下水资源评估中心 (IGRAC)

国际水资源管理研究所 (IWMI)

欧洲委员会联合研究中心 (JRC)

经济合作与发展组织 (OECD)

斯德哥尔摩环境研究所 (SEI)

斯德哥尔摩国际水研究所 (SIWI)

杜能联邦农业、林业及渔业研究所

《世界水土保持方法和技术概览》 (WOCAT)

《2021年土地及水资源状况》要点

状况

- ▶ **相互关联的土地、土壤及水资源系统已濒临极限。** 各项实证表明，农业体系正濒临极限，整个全球粮食体系都已受到影响。
- ▶ **当前的农业集约化生产方式不可持续。** 土地及水资源面临的压力已累积到一定程度，对主要农业体系的生产率带来破坏，对生计构成威胁。
- ▶ **农业体系正面临两极分化。** 大规模商业化企业目前是农地的主要使用方，而分散的小规模经营者则集中在易受退化和缺水影响的土地上开展自给型农作。

挑战

- ▶ **未来的农业生产将取决于对土地及水资源相关风险的管理。** 土地、土壤及水资源管理应寻求加强协同合作，保证系统正常运转。必须在不进一步破坏环境服务的前提下维持必要的农业增长率。
- ▶ **土地及水资源需要得到保护。** 目前我们仍有希望扭转资源退化和枯竭的趋势，但我们不应低估此项任务的复杂性和艰巨性。

应对和行动

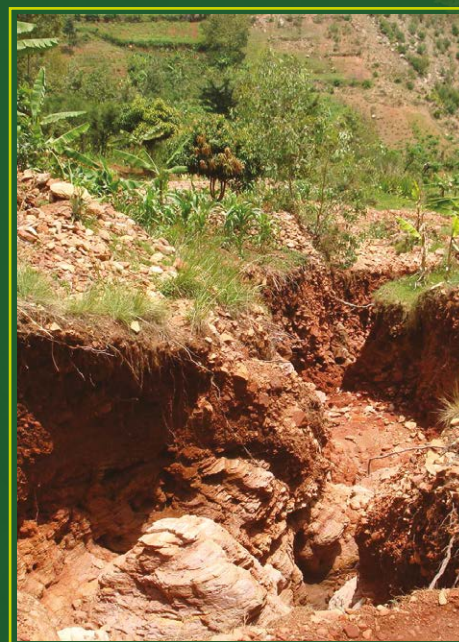
- ▶ **土地及水资源治理必须更具包容性和适应性。** 包容性治理对于自然资源的分配和管理至关重要。如果没有包容性治理，为缓解土地退化和水资源短缺而开发的技术解决方案就不可能成功。
- ▶ **要想大规模推广，就必须在各层面规划好综合性解决方案。** 规划工作有助于确定自然资源系统中的临界阈值，将技术、体制、治理和资金等方面的支持措施整合成一揽子方案或计划，最终扭转土地退化。
- ▶ **技术和管理创新应精准施策，专门针对优先重点，加快转型。** 可通过新技术和新管理方法，管理好被忽视的土壤，应对干旱和水资源短缺问题。
- ▶ **农业扶持措施和投资可调整方向，侧重于土地及水资源管理产生的社会和环境惠益。** 目前有机会为农业项目提供渐进式多阶段融资，可将其与经过调整的补贴联系起来，保证土地及水资源系统的正常运转。



在水资源压力较大的国家，农业是造成水资源压力的一个重要因素。（见17页地图）。

本节要点...

- ▶ 土地和水资源系统面临压力：提升改进粮食体系需要我们将土地、土壤和水视作相互关联的系统。
- ▶ 当前的集约化模式不可持续：高污染、高排放已将生产能力逼至极限，造成了土地和环境服务的严重退化。
- ▶ 气候变化：蒸散预计会增加降雨量，改变降雨分布，导致土地/作物适宜性发生改变，河流径流与地下水补给出现更大的变动。



©粮农组织/Salvator Ndabirorere

扩大生产性土地面积
的空间极小，而98%的
粮食都出产自土地。



© 粮农组织/Giuseppe Bizzarri

土地、 土壤 及水资源状况

1.1 气候变化背景下土地资源面临的压力

1.1.1 农业用地与气候

农业用地约47.5亿公顷，用于作物和畜牧生产。用于耕作作物的临时性和永久性耕地超过15亿公顷，而永久性草地及牧场接近33亿公顷。农业用地面积自2000年以来总体变化幅度较小，但用于耕作作物的永久性灌溉农地已经有所增加，而永久性草地及牧场用地则在大幅减少。城市的快速扩张已经挤占了所有类型的农业用地（表S.1）（地图S.1）。

与土地利用方式相关的农业气候条件正在快速变化。农业企业正在不断适应新的热状况，它可能会干扰作物的生长阶段以及支撑作物生长的土壤生态，对作物病虫害传播造成特定影响（地图 S.2）。水循环的根本性变化，尤其是降雨和干旱期的变化，都迫使人们调整雨养生产和灌溉生产。在气候变化背景下，与当前的参考长度相比，生长期在北方和北极地区可能会变长，而在受长期干旱影响的地区则可能变短（地图S.3）。

气候变化对水循环的影响预计将对农业产出以及生产性土地及水资源系统的环境绩效产生巨大影响。据气候模型预测，可再生水资源在一些地

地图 S.1

主要土地覆盖类型

- >75% 耕地

>75% 林地

>75% 草地、灌木或草本植被

>75% 稀疏植被或不毛之地
- 50-75% 耕地

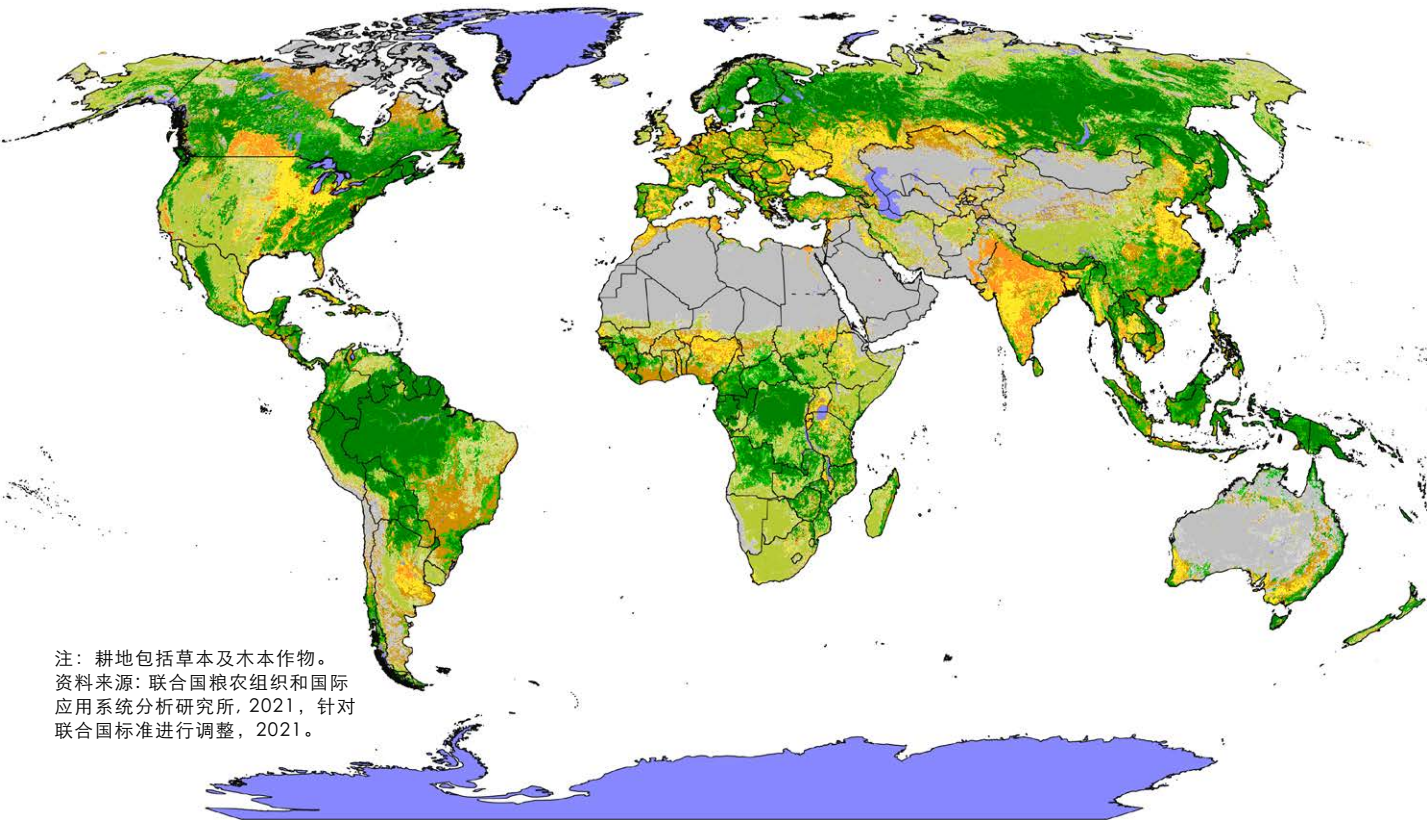
50-75% 林地

50-75% 草地、灌木或草本植被

50-75% 稀疏植被或不毛之地
- >50% 人工表面

其他地表覆盖类型

水、永久性积雪、冰川



注：耕地包括草本及木本作物。
资料来源：联合国粮农组织和国际应用系统分析研究所，2021，针对联合国标准进行调整，2021。

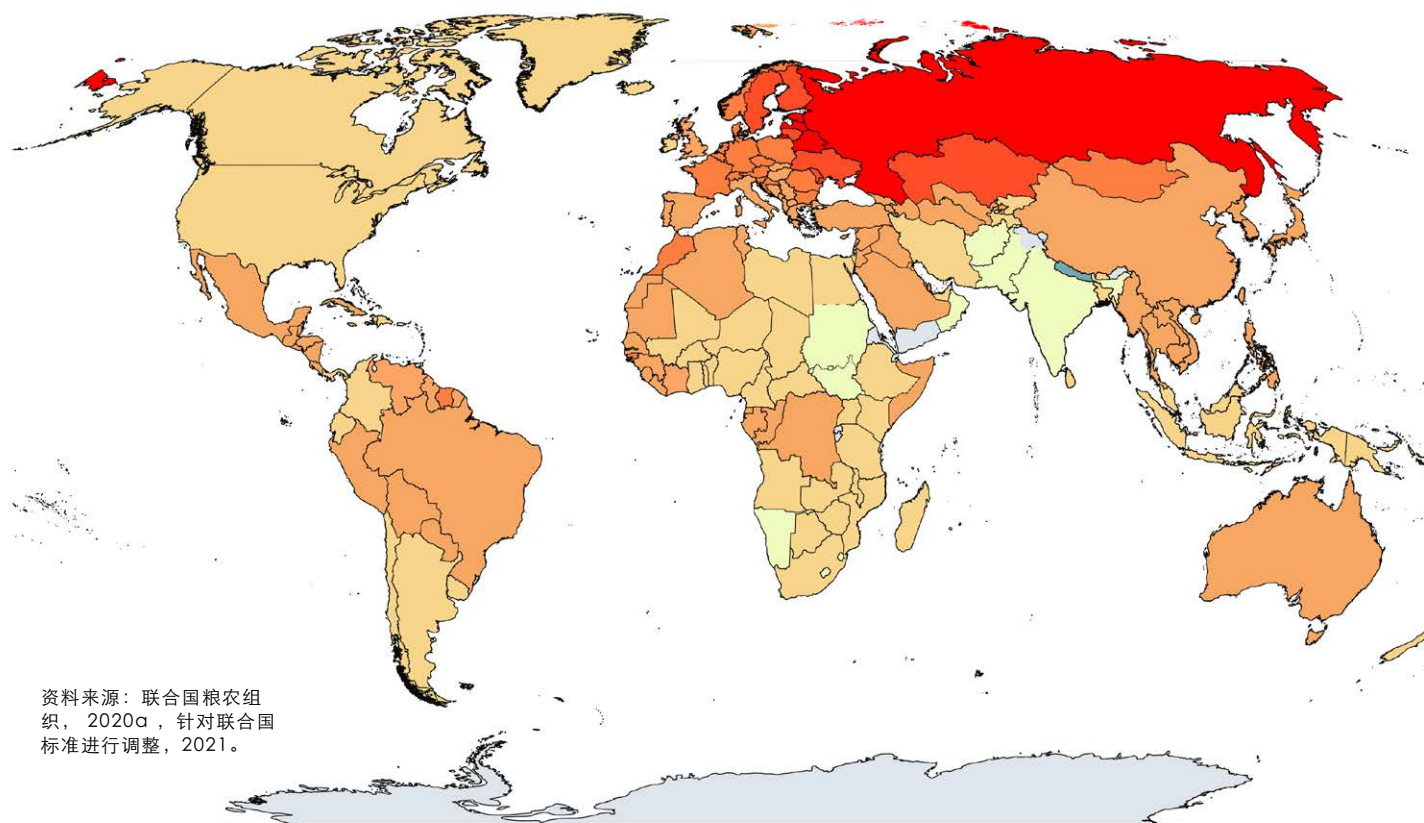
表 S.1 2000 – 2019年土地利用类型变化 (百万公顷)

土地利用类型	2000年	2019年	变化
永久性草地及牧场	3 387	3 196	-191
可耕地 (临时性耕地)	1 359	1 383	+24
永久性耕地	134	170	+36
耕地(临时性及永久性)	1 493	1 556	+63
农地 (耕地及永久性草地及牧场)	4 880	4 752	-128
灌溉面积	289	342	+53
林地 (土地面积 > 0.5 公顷, 树木 > 5 米 + 10%林冠覆盖率)	4 158	4 064	-94
其他土地	3 968	4 188	+220

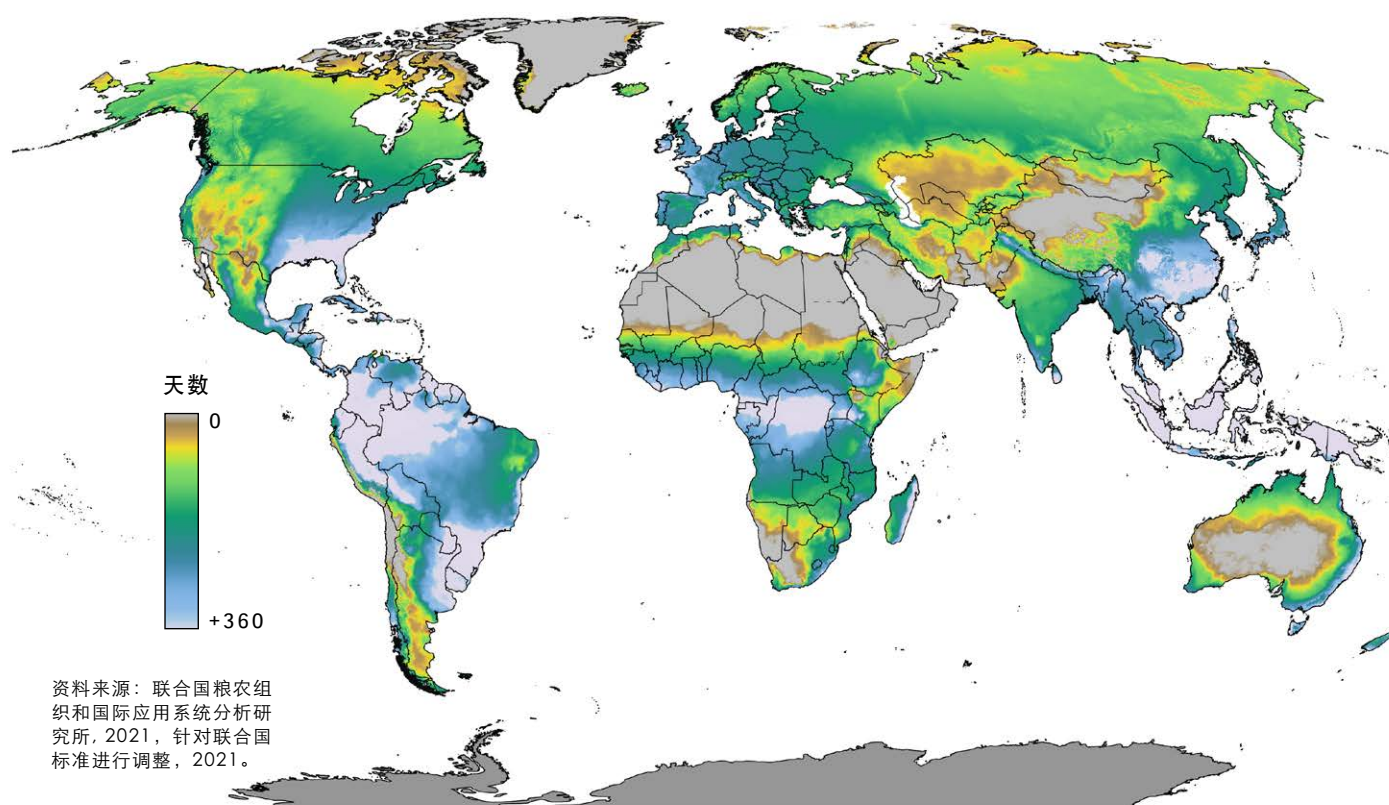
资料来源：联合国粮农组织, 2020a。

地图 S.2 1961 – 2020年平均温度变化 (°C)

■ -0.02-0
 ■ 0-0.7
 ■ 0.7-1.4
 ■ 1.4-2.1
 ■ 2.1-2.8
 ■ 2.8-3.5
 ■ >3.5
 ■ No data



资料来源：联合国粮农组织, 2020a, 针对联合国标准进行调整, 2021。



区（中纬度和干旱的亚热带地区）会减少，而在其他地区（主要是高纬度和湿润的中纬度地区）则会增加。即便在预测可能增加的地区，也可能因降雨波动性加大致使江河流量出现变化，导致出现短时间缺水。

1.1.2 森林覆被

作为全球碳循环的一部分，森林覆被是气候健康的一项重要指标。全球森林面积略高于40亿公顷，约占总陆地面积的30%（地图S.4）。考虑到森林再生和植树造林带来的森林面积扩大因素后，2010年至2020年间森林覆被估计年均净减少470万公顷/年，而相比之下，2000年至2010年间为520万公顷/年，1990年至2000年间为780万公顷/年（图S.1）。



©粮农组织/Vasily Maksimov

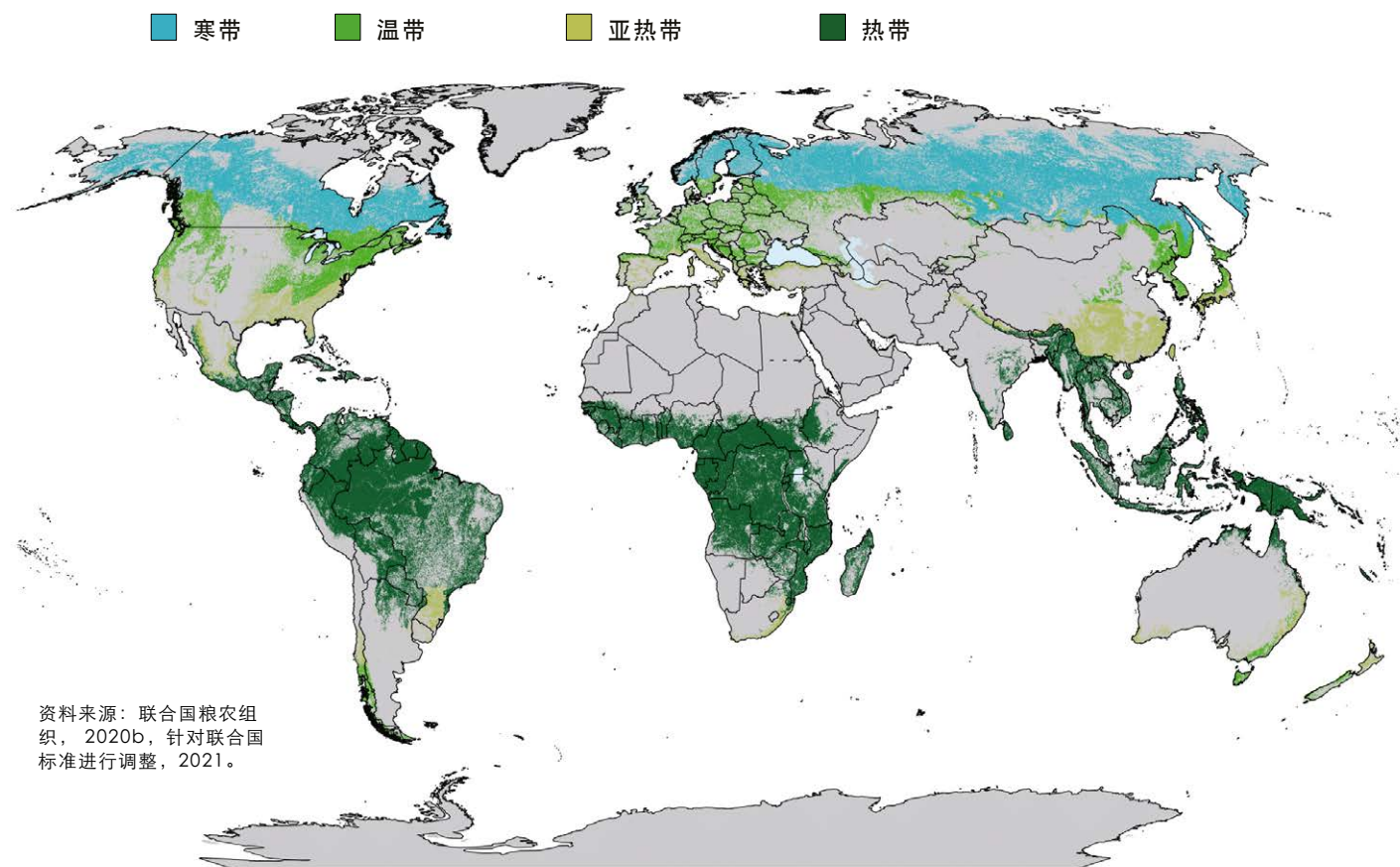
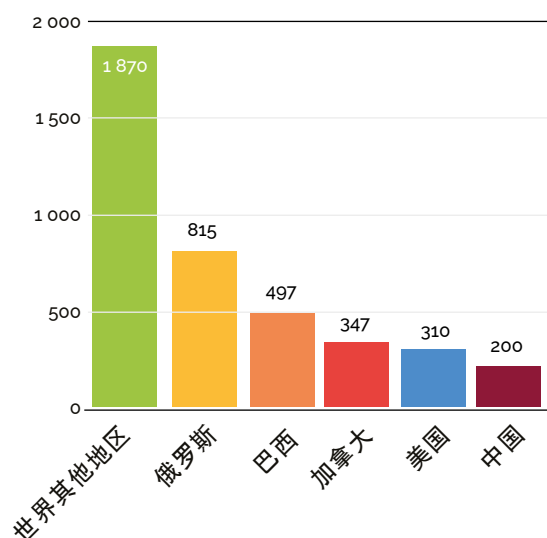


图 S.1

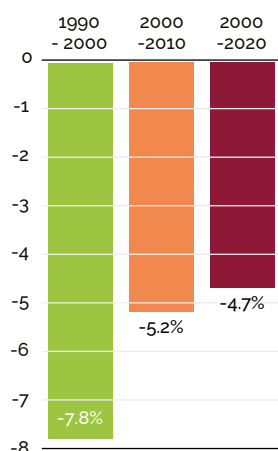
2020年全球森林面积和1990 - 2020年间每十年净变化

2020年森林面积最大的五个国家

百万公顷

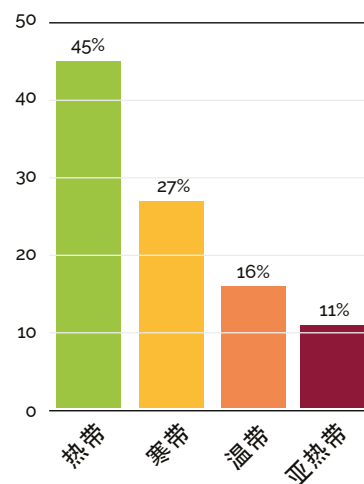


1990-2020年间每十年全球森林面积净变化



2020年不同气候带全球森林面积比例和分布

百分比



资料来源：联合国粮农组织，2020b。

1.1.3 土壤的作用

土壤是气候变化的重要缓冲剂或“调节剂”。传统农业中，土壤依然是二氧化碳排放源，但保护性技术能够阻止，甚至有时能够扭转土壤有机碳（SOC）流失的问题（地图S.5）。泥炭土降解和排水会通过分解释放大量碳。排水后的泥炭地上发生的火灾占1997年至2016年间全球火灾所致排放量的约4%。农业活动也会导致土壤排放除二氧化碳以外的其他温室气体，而气候变化则会加剧这些排放。施用肥料和种植固氮作物时，土壤会排放氧化亚氮。在地里蓄水种植水稻时，土壤会排放甲烷。

全球盐渍土的分布（地图S.6）反映出自然形成的碱化和钠化土壤以及人类引发的土壤水过程造成的盐分累积。



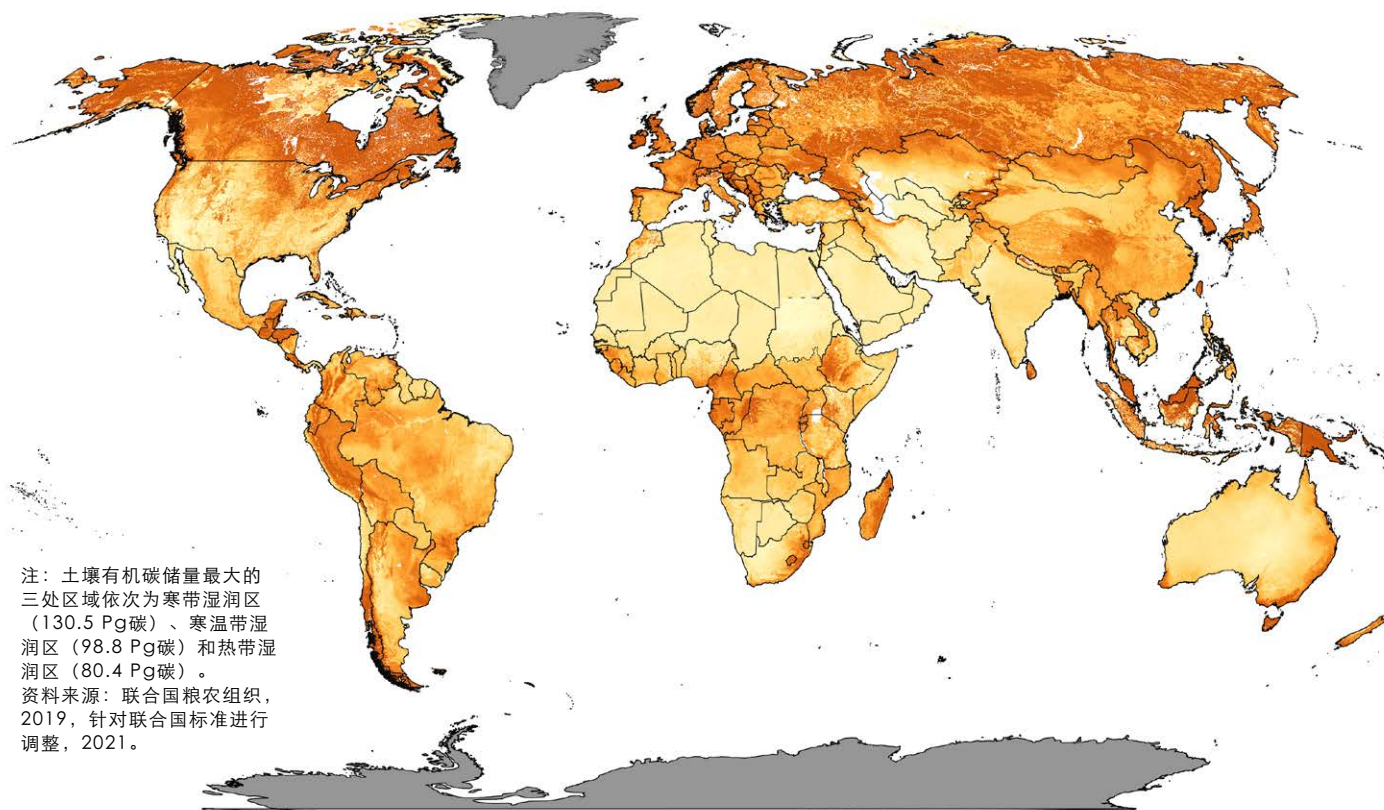
©粮农组织/Stefanie Glinski

估计每年有高达150万公顷作物耕地因土壤盐碱化而无法用于生产。预计蒸散速度加快将会加剧地表土层中的盐分累积，而30–100厘米深度下层土壤的盐碱化问题更为突出。

地图 S.5

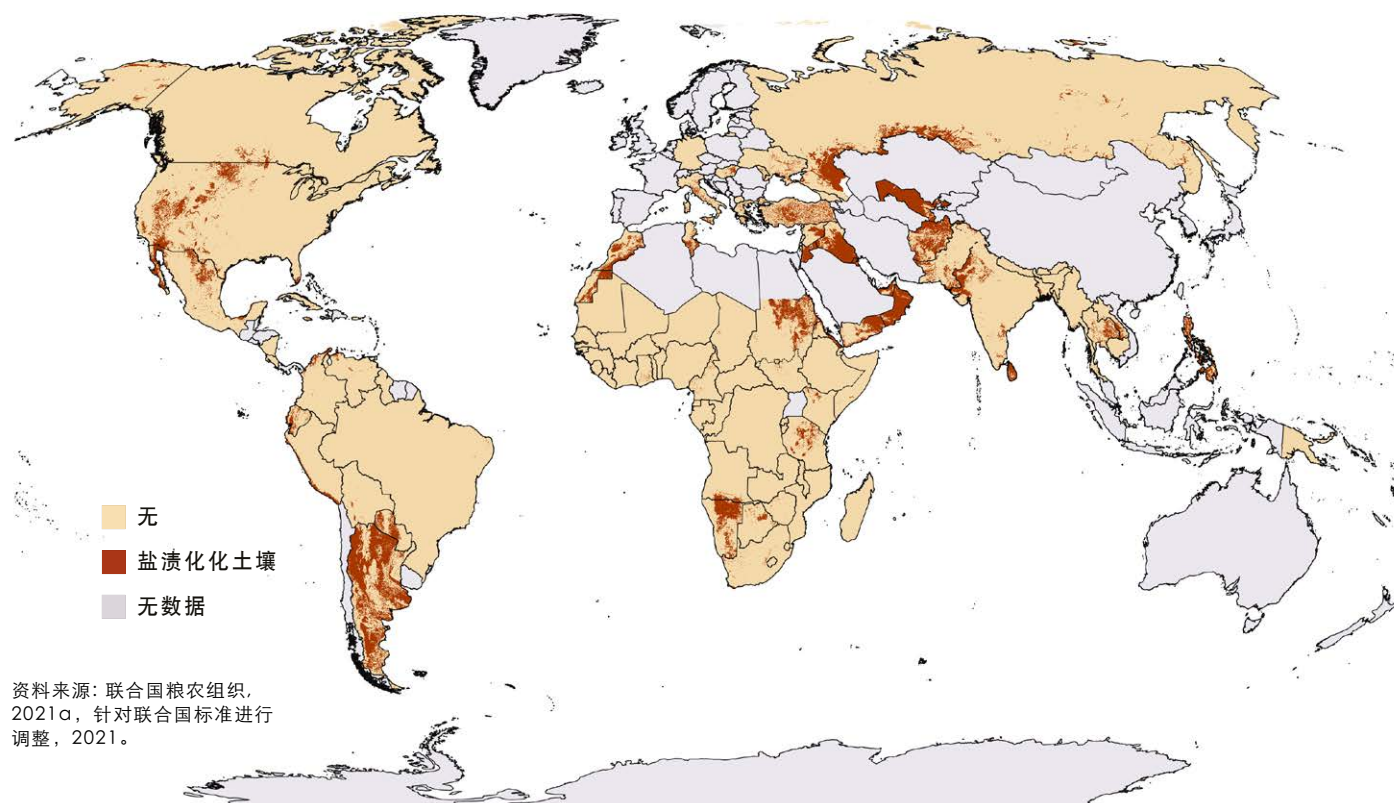
2019年全球土壤有机碳情况(吨/公顷)

0-20 (极低) 20-40 (低) 40-70 (中) 70-90 (高) >90 (极高)



注：土壤有机碳储量最大的三处区域依次为寒带湿润区（130.5 Pg碳）、寒温带湿润区（98.8 Pg碳）和热带湿润区（80.4 Pg碳）。

资料来源：联合国粮农组织，2019，针对联合国标准进行调整，2021。



1.1.4 压力的累积

土地及水资源面临的压力大于以往任何时候，压力的累积正将土地及水资源系统的生产能力推向极限。2000年至2019年间，耕地增加了4%（6300万公顷）。耕地（主要是灌溉地）的增长已经翻倍，而雨养耕地同期仅增加了2.6%。人口增长使得用于作物和畜牧生产的人均农地在2000年至2017年间减少了20%，2017年减至0.19公顷/人。

气候变化的影响，从严重洪灾和旱灾，到持续的热穹现象，正在带来意料之中以及始料未及的变化。耕地的蒸散量增加是意料之中的，降雨波动也是如此，在温度应力降低碳同化能力的地区，这些现象会导致土



©粮农组织/Lou Demetris

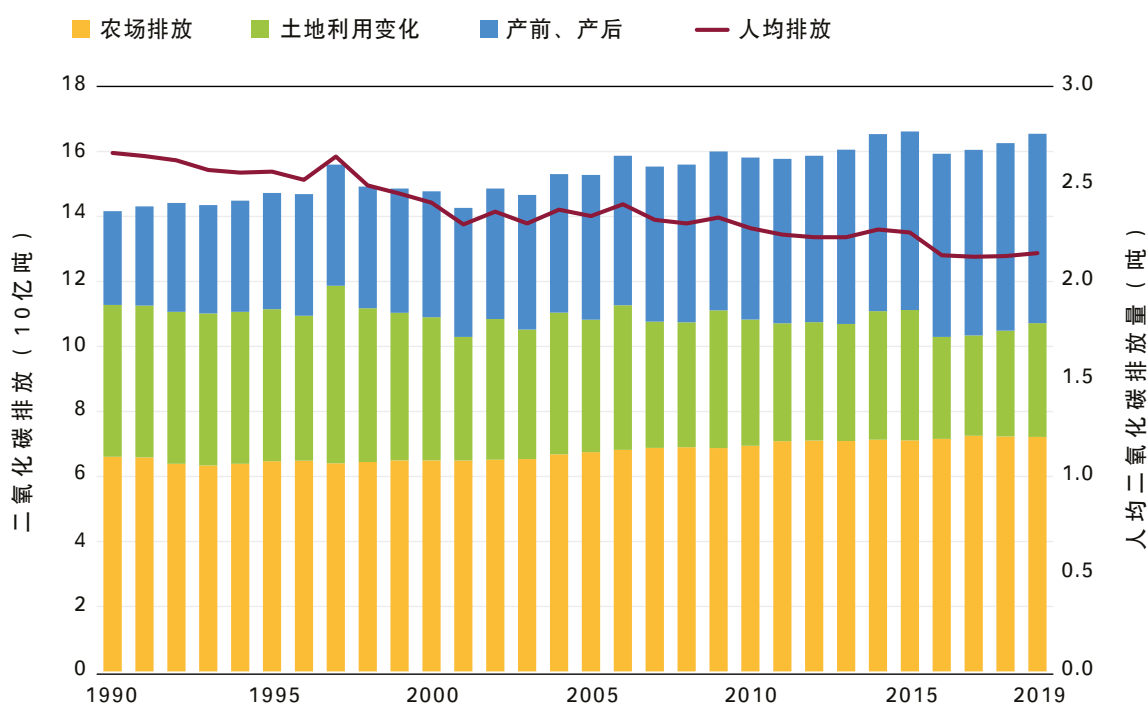


地/作物适宜性出现变化，并降低单产。江河径流量和地下水回补出现更大波动也在意料之中，这会对雨养农业和灌溉农业产生影响。原本已经排水的农地吸收大量洪水，使城市和农村防洪规划工作在采用基于自然的解决方案（NbSs）时陷入两难境地。

2019年，全球人为排放量为540亿吨二氧化碳当量（CO₂-eq），其中170亿吨（31%）来自农业粮食体系。从单项气体看，农业粮食体系排放的二氧化碳在二氧化碳总排放量中占比21%，甲烷占比53%，氧化亚氮占比78%。农地（农场）排放量在农业粮食体系中最大，约为70亿吨二氧化碳当量，接下来是产前、产后过程（60亿吨二氧化碳当量）以及土地利用变化（40亿吨二氧化碳当量）。虽然全球范围内农业粮食体系的排放量1990年至2019年间增加了16%，但其在总排放量中所占比例却从40%降至31%，人均排放量也是如此，从人均2.7吨二氧化碳当量降至2.1吨（图S.2）。

图 S.2

全球农业粮食体系温室气体排放情况，按生命周期各阶段和人均排放量分列



资料来源：联合国粮农组织，2021b。

1.1.5 对农业生产率的影响

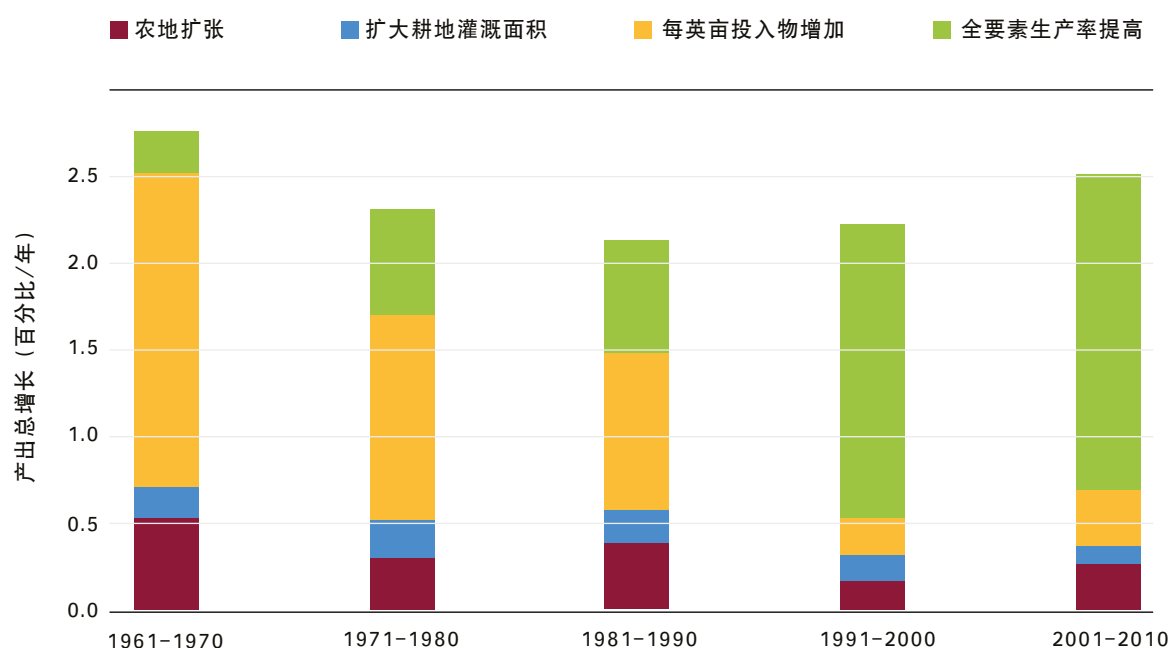
对未来气候变化情景的预测告诉我们，有必要改变目前的耕作方式和管理措施，以适应作物/土地适宜性方面的变化。农业体系已经在通过更精确地利用技术和投入物，适应新的变化，这一方面是为了应对气候变化，但主要还是为了应对全球粮食体系更加复杂的需求。为此，土地及水生产率的传统衡量指标已经逐渐失去其重要性，更多生产要素被纳入考量范围。的确，虽然农地利用和灌溉面积的增长已经趋于停滞，但农业全要素生产率过去几十年一直以年均2.5%的速度持续增长，表明农业投入物的使用效率在不断提高。它已经取代资源密集使用，成为推动世界农业增长的首要因素（图 S.3）。此项进步让各方更好地认识到可持续农业和高效利用有限自然资源的必要性。为满足当前需求，农业投入物



©粮农组织/Giulio Napolitano

的用量一直在增加，其产生的环境影响已经累计到一定程度，导致各类环境服务受到影响，限制了农业的应对能力。同时，各部门间对土地及水资源的竞争也很激烈，因此要想扩大灌溉面积和开发新耕地极为困难。

图 S.3 1961 – 2010年世界农业全要素生产率增长情况



资料来源：美国农业部（2021）。

1.2人为造成的土地退化

随着农业逐步集约化，各种实证同时反映出土地退化的规模和严重程度（地图S.7），具体表现为土壤侵蚀、养分耗竭、盐碱度上升。34%（16.6亿公顷）的农地已经面临人为造成的退化（表S.2）。由于土壤侵蚀以及碳、养分和土壤生物多样性的流失，要想

利用质量较差的土地来扩大耕地面积，提高现有耕地的集约化程度，都面临困难。利用非有机肥料对土壤进行处理以提高或维持产量的做法已经对土壤健康产生了严重不良影响，还会通过径流和排水导致淡水污染。

插文S.1总结评估全球土地退化所采用的方法，该方法在全球土地退化信息系统（GLADIS）的基础上经过适当调整而来。

地图 S.7 2015年土地退化类型，按人为压力的严重程度和自然退化趋势分列

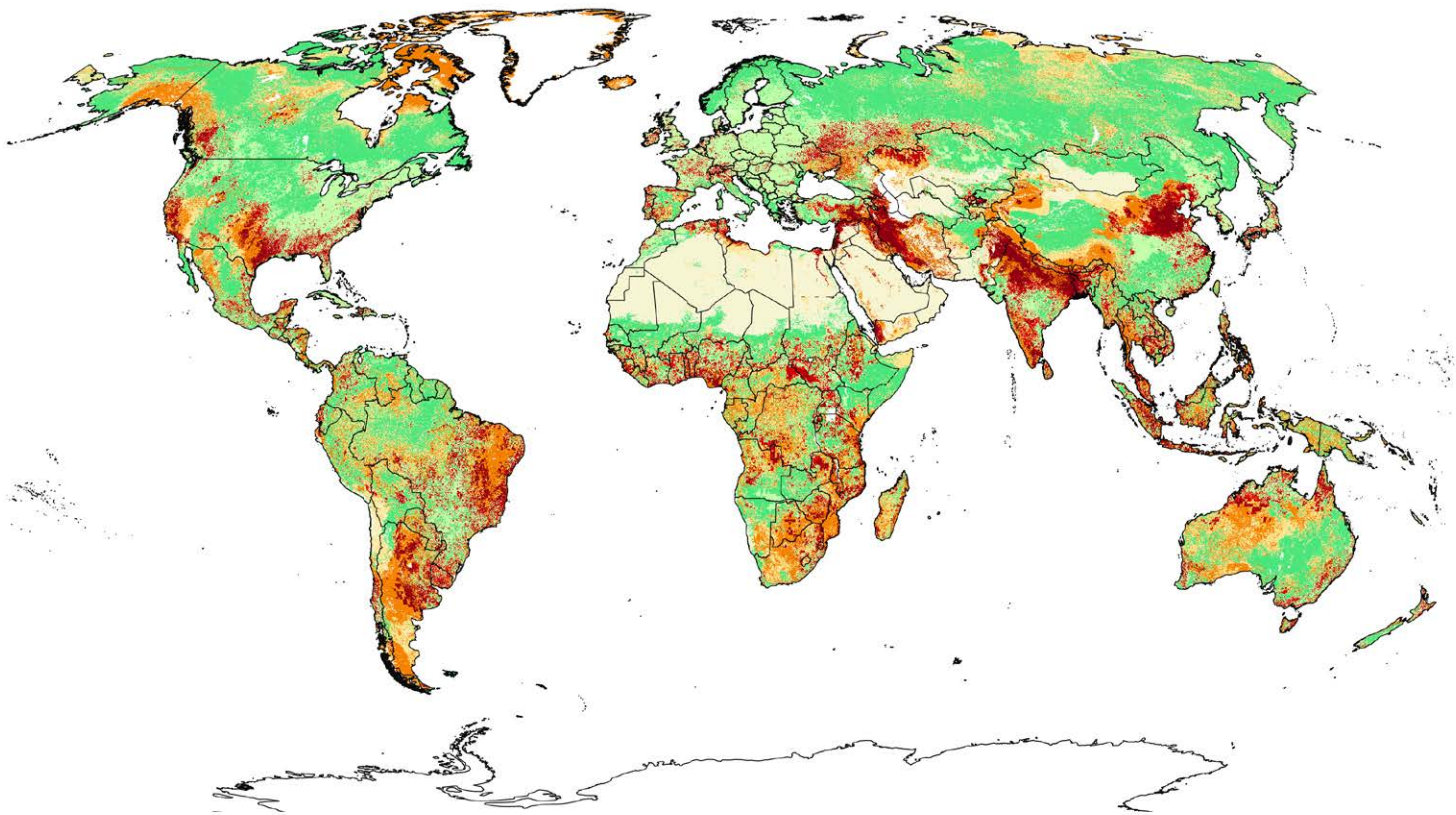
- 人为造成的重度土地退化

■ 人为造成的轻度土地退化

■ 低压力下重度自然退化
- 低压力下轻度自然退化

■ 高压下稳定或改善

■ 低压力下稳定或改善
- 贫瘠之地



注：全球土地退化分布情况。总体趋势加上直接人为因素造成的累积压力。人为造成的土地退化指人类活动引发的不良趋势。自然退化指自然现象或轻度人类行动引发的不良趋势。

资料来源：Coppus, 即将针对联合国标准进行调整，2021。

表 S.2 2015年人为造成的土地退化面积（百万公顷）

退化	全球	干旱地区	湿润地区
合计	1 660	733	927
重度	850	418	432
轻度	810	315	495

注：南极洲、格陵兰岛以及90%以上无覆被的贫瘠之地（大沙漠）未包括在内。就湿润地区而言，潜在蒸散量大于400的寒冷地区也未包括在内。

资料来源: Coppus,即将出版。

从全球看，有56.7亿公顷土地的生物物理状况正在退化，其中16.6亿公顷（29%）属于人为造成的土地退化。其余40.26亿公顷属于自然过程造成的自然退化或受人类活动影响造成。已退化的土地约半数程度较轻，并有可能比重度退化地区更容易受退化过程的

影响。约6.56亿公顷（占全球总退化土地12%）面临中度压力，可能足以引发人为造成的土地退化。这些地区多数可能受到人为造成的土地退化影响，这意味着全球退化土地总量中约41%属于人为造成的土地退化。

插文 S.1

采用经过调整的GLADIS方法开展全球土地退化评估

确定总体生物物理状况和趋势指标时，采用的是一种经过调整的GLADIS方法。这是一种地理信息系统方法，用于分别计算六项内容的生物物理状况和趋势指标，即生物量、土壤健康、水量、生物多样性、经济服务、文化服务。该方法将各项计算结果综合在一起，得出一个总体状态指数和一个趋势指数。趋势指一段时间内的变化情况。

总体生物物理状况、总趋势和累积压力的输入层，按不同驱动因素分列

项目	土壤	水	植被	人口
状况	养分供应 土壤碳含量 水蚀 风蚀	地下水回补 水资源压力	本地物种丰富度 地上生物量	建筑覆盖
趋势	土壤侵蚀变化 土壤保护变化	淡水变化 水资源压力变化	土地生产率变化 森林生物量变化	人口密度变化
驱动因素	农业扩张、毁林、火灾、放牧密度、人口密度、入侵/本地物种比率			

总体生物物理状况、趋势和累积压力地图展示了土地退化三种不同维度。一旦综合在一起，它们就能揭示相关规律、过程及其原因之间的关系。如总体状态和趋势综合在一起，就能看出面临风险的区域。生物物理状况较差和出现自然退化的地区最终将面临退化的结局。生物物理状况较好和自然退化风险较大的地区也可能面临风险。将人类活动带来的压力与生物物理状况和趋势综合在一起，就是区分自然退化与人为退化的第一步。

刊登在同行评审期刊上的地图可提供输入层。其挑选标准包括可获性、使用便利性、文献相关性和出版日期。

土地资源的生物物理状况以体现其当前（或最近）生物物理状况的九个输入层为基础，具体包括土壤养分供应、土壤有机碳、水蚀速率、风蚀、地下水回补、水资源压力、本地物种丰富度、地上生物量、人工土地覆盖物(城市和基础设施)。

趋势以七个输入层为基础来说明土壤、水、植被和人口密度的变化，具体包括土壤侵蚀、土壤保护、淡水、水资源压力、土地生产率、森林生物量的变化。时间为10至20年不等。

采用人为直接驱动因素来估计人类活动带来的压力，包括：农业扩张、毁林、火灾范围及频率、放牧密度、人口密度、入侵/本地物种比率。

面临风险的区域指生物物理状况不佳并可能出现重度或轻度自然退化的大范围连片地区。自然退化较重、生物物理状况好坏相互交错的区域也面临风险。稳定或有所改善的地区目前没有风险。

土地退化类型根据土地自然退化趋势以及人为驱动因素的存在加以确定。如果严重不良趋势与高压力同时发生，则说明出现了严重的人为退化。土地的韧性（即承受人为压力的能力）也在其中发挥着作用，例如，当人为驱动因素未与不良趋势同时发生时。



表S.3列示人为造成的土地退化全球估计结果中各区域的分项情况。人为造成的已退化土地中，五分之一位于撒哈拉以南非洲，随后是南美，占比17%。北美的面积约为南亚的五倍，但这两个区域在全球已退化土地中均占比11%。从相对值看，南亚是

受影响最严重的区域，其41%的面积出现人为造成的退化，其中70%为重度退化。东南亚紧随其后，24%的面积出现人为造成的退化，其中60%为重度，西亚为20%，其中75%重度。这些估计值中不包括沙漠。

表 S.3

2015年各区域人为造成的土地退化面积

洲 / 区域	人为造成的土地退化面积 (百万公顷)	区域土地总面积 (百万公顷)	区域受影响比例 (%)	重度退化 (百万公顷)	轻度退化 (百万公顷)
撒哈拉以南非洲	330	2 413	14	149	181
南美	281	1 778	16	153	128
南亚	180	439	41	126	54
北美	177	2 083	8	82	95
东亚	156	1 185	13	84	72
西亚	123	615	20	92	31
东南亚	122	501	24	74	48
澳大利亚和新西兰	94	796	12	34	59
东欧和俄罗斯	83	1 763	5	21	62
西欧和中欧	56	489	11	12	44
中亚	31	456	7	12	19
北非	22	579	4	9	13
中美洲和加勒比	11	76	14	5	5
太平洋岛屿	0.14	7	2	0.11	0.03
世界	1 660	13 178	13	850	810
高收入	393	3 817	10	175	218
中等偏上收入	621	5 604	11	326	295
中等偏下收入	428	2 207	19	241	187
低收入	220	1 520	14	107	112
低收入缺粮国	283	2 062	14	133	149
最不发达国家	288	2 097	14	134	154

注：受影响区域的比例指区域总面积中受退化影响的比例。南极洲、格陵兰岛以及90%以上无植被的不毛之地（大沙漠）未包括在内。

资料来源：Coppus,即将出版。

人为造成的土地退化问题主要对耕地产生影响。虽然耕地在全球各类土地覆盖（114.77亿公顷）中仅占13%，已退化的耕地却占有所有退化土地的29%。近三分之一的雨养耕地以及近一半的灌溉土地受到人为造成的土地退化影响（表S.4）。用于放牧或作为饲草来源的草地及灌木区过去二十年已减少了1.91亿公顷，到2019年剩下31.96

亿公顷，并被改造成耕地。约13%的草地因受到较大人为压力而出现退化，34%因过度放牧和家畜流动性不足而造成的土壤板结和侵蚀而使其生物物理状况遭到破坏，最终影响土壤功能、植株生长和水文服务。为满足不断增长的肉类需求，尤其在中等至高收入国家里，集约化畜牧生产给当地用于饲料及饲草集约化生产的水及土壤资源带来了

表 S.4

2015年全球土地覆盖类型的土地退化分类

土地覆盖	总面积 (百万公顷)	人为退化 (百万公顷)	自然退化 (百万公顷)	稳定 (百万公顷)	人为退化 (%)	自然退化(%)	稳定 (%)
耕地	1 527	479	268	780	31	18	51
雨养	1 212	340	212	660	28	17	54
灌溉	315	139	57	120	44	18	38
草地	1 910	246	642	1 022	13	34	54
树木	4 335	485	1 462	2 388	11	34	55
灌木	1 438	218	584	636	15	41	44
草本植物	203	16	51	136	8	25	67
稀疏植被	1 034	85	499	450	8	48	44
保护区	880	76	361	443	9	41	50

注：人为退化指人为驱动因素造成的高压力。生物物理状况受到的其他损害被界定为自然退化。

资料来源：Coppus,即将出版。

压力。不断积聚的投入物和家畜粪便已导致化石燃料用量增加、甲烷排放量增加以及各种养分和抗生素药物对水资源造成点源污染加重等问题。

北非、南亚和中东及西亚超过60%的灌溉土地已经退化。最大面积的已退化土地位于北半球，仅东南亚除外。从全球看，仅38%的灌溉土地处于稳定状态。

在中东及西亚，农业扩张、放牧以及交通便利性等因素在推动退化，而在东亚和南亚的人口密集地区，良好的交通便利性以及高放牧密度正给灌溉土地带来高压力。在东南亚，放牧、交通便利性、毁林正导致灌溉耕地受到环境变化的影响。而放牧、交通便利性和农业扩张则是导致美国东部灌溉土地面临压力的最主要原因。

导致东亚和中东及西亚出现土地退化的主要原因是淡水供应量减少、

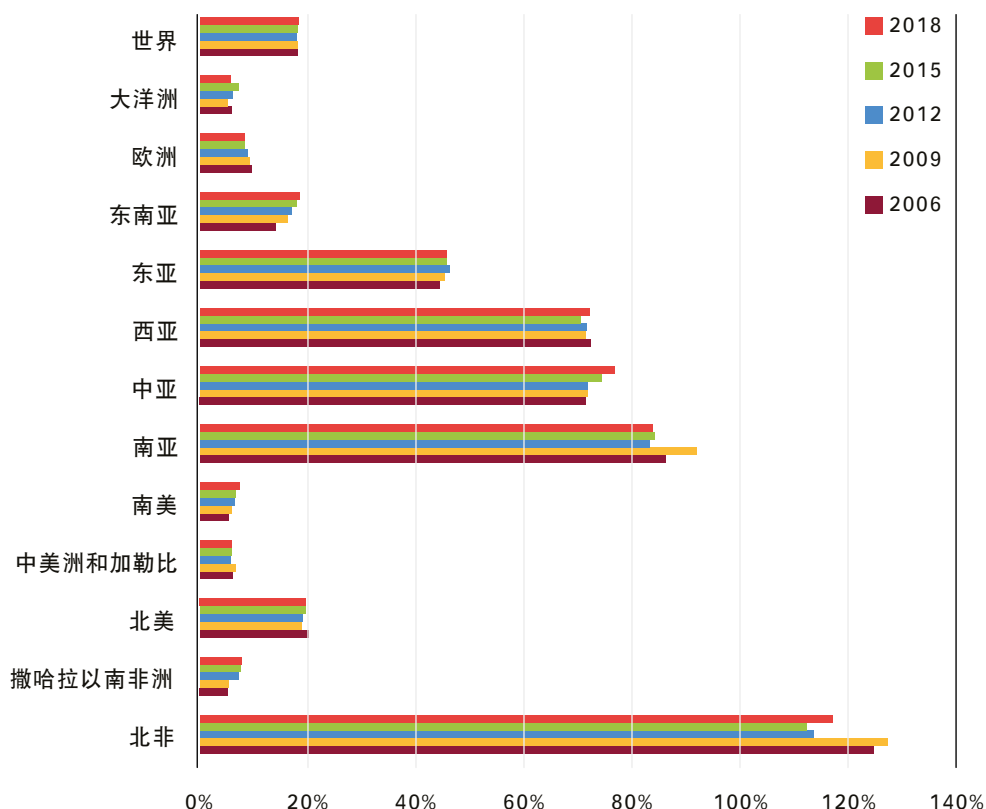
水资源压力增加、土壤保护力度减小以及人口增长。类似的退化原因也发生在南亚。东南亚的主要退化原因为侵蚀速率加快、森林生物量加速减少以及人口增长。在美国东部，导致退化的主要原因是淡水供应量减少和土壤保护力度减小。美国西部的问题与此类似，但人口密度增加是造成压力的另一项因素。

1.3 水资源短缺

全球水资源平衡正面临压力。江河和含水层中的内部可再生水资源(IRWRs)为44000立方千米/年，而取用量（所有部门）超过4000立方千米/年，占内部可再生水资源总量近10%。水资源物理短缺和淡水污染产生的局部影响正在扩大和加速。很多情况下，由于取用量加大而造成的缺水早期征兆就是地下水位下降。

图 S.4

2006年、2009年、2012年、2015年和2018年各区域水资源压力变化



资料来源：联合国粮农组织全球水信息系统（AQUASTAT），2021。

1.3.1 可持续发展 目标指标6.4.2

有关水资源压力（所有部门）的可持续发展目标指标6.4.2¹是水资源物理短缺的总衡量标准。在全球层面，可持续发展目标指标6.4.2在2018年平均为18%，但其背后却隐藏着各区域之间巨大的差异（图S.4）。欧洲的压力程度较低，为8.5%。相比之下，东亚和西亚的压力程度处于45-70%之间，而

中亚、南亚已超过70%，北非则超过100%。农业用水中的非常规利用，如水资源再利用和淡化，目前仍处于较低水平，但正在逐渐增加，尤其是在中东及西亚等缺水地区（地图 S.8）。

在开展集约化灌溉农业的所有流域地区和人口密度较高的城市里，对水资源的竞争十分激烈，导致水资源压力程度较高，特别是受气候条件限制淡水资源稀少的地区。鼓励各国对次流域层面进行细分，以便全面了解水资源压力情况。面临高压或临界压力的流域主要位于水资源压力较高的北非、中亚及南亚以及拉美西海岸等地区。

¹ 可持续发展目标指标6.4.2衡量水资源压力程度，指在考虑环境流量要求的基础上，所有主要部门（农业、工业和城市）淡水取用总量占可再生淡水资源总量的比例。0-25%的比例为无压力；25-50%为低压力；50-75%为中等压力；75-100%为高压力；超过100%为临界压力。

在面临高水资源压力的国家里，农业是导致水资源短缺的主要用水部门。在中亚、中东及西亚以及北非，农业取水量在总取水量中占比较高（地图S.9）。农业取水导致的水资源压力已使阿拉伯半岛和南亚的尼罗河及其他江河流域处于临界状态。结合各灌溉区的具体分布看，这些影响一目了然。

1.3.2 人均淡水可供量和取用量

人均淡水资源可供量分布的总体变化与人口增长保持一致。2000年至2018年间，全球人均内部可再生水资源量大约减

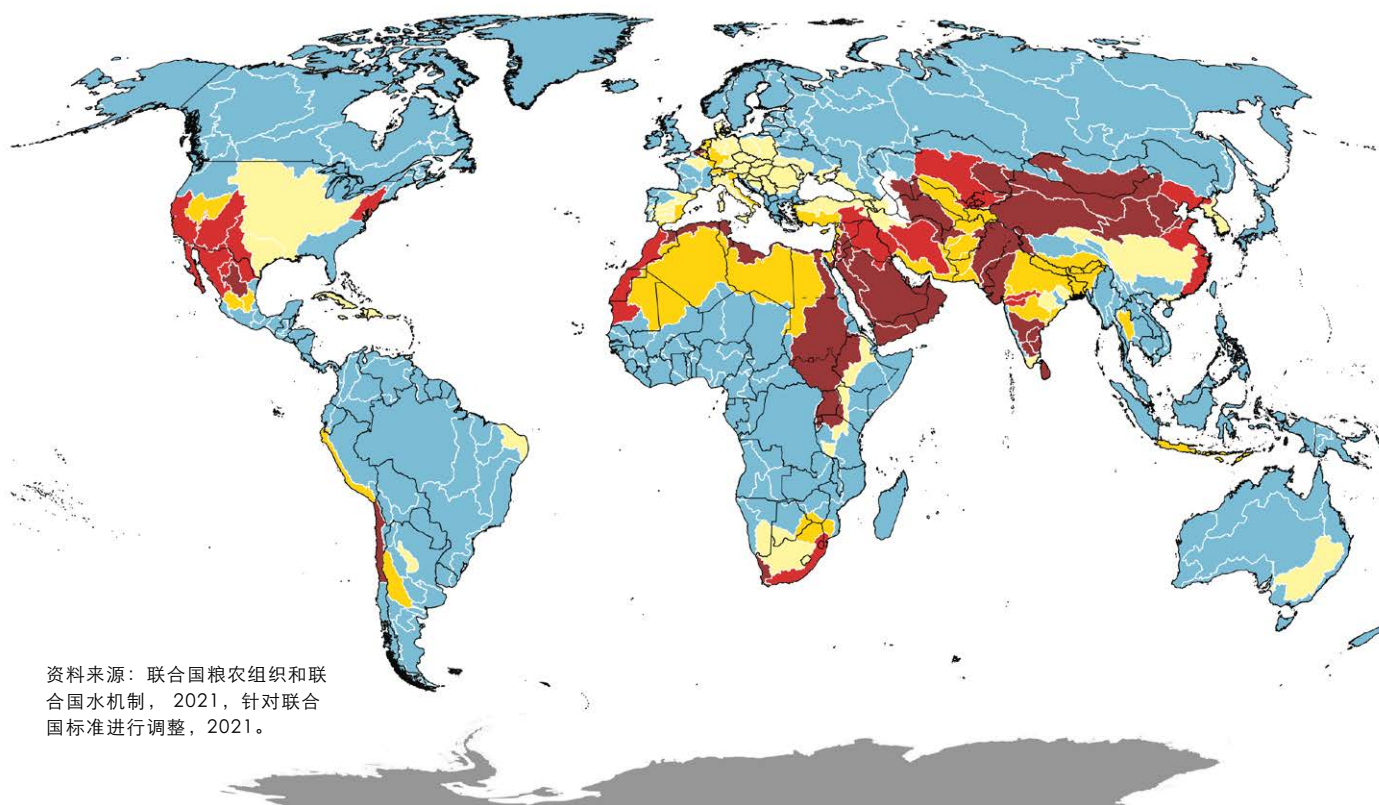
少20%（图S.5）。而在人均内部可再生水资源量最低的国家，变化幅度更大，如撒哈拉以南非洲（41%）、中亚（30%）、西亚（29%）、北非（26%）。减幅最小的是欧洲（3%）。从需求侧看，人均水资源取用量最大的区域是中亚和北美。

人均水资源取用总量2000年至2018年有所下降，但中美洲及加勒比、南美和东南亚除外（图S.6）。这些趋势预计将随人口增长而持续，一方面是由于水资源生产率总体有所提升，包括在农业领域，另一方面是由于人口密度较高地区因长期干旱而引发水资源短缺。

地图 S.8

2018年各主要流域所有部门水资源压力程度

■ 无压力 (0-25%) ■ 低 (25%-50%) ■ 中 (50%-75%) ■ 高 (75%-100%) ■ 临界 (>100%)

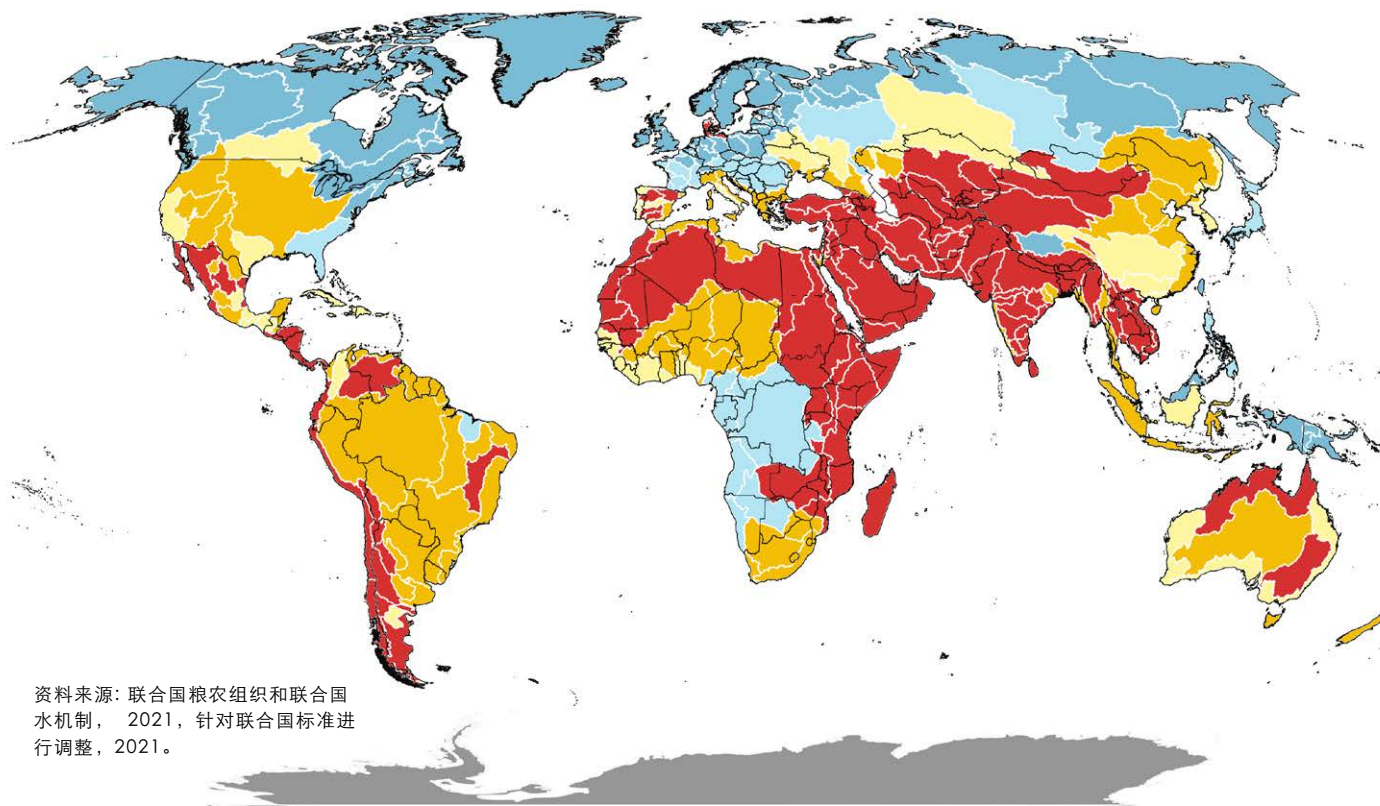


资料来源：联合国粮农组织和联合国水机制，2021，针对联合国标准进行调整，2021。

地图 S.9

2018年各流域因农业部门导致的水资源压力程度

0 - 10% 10% - 25% 25% - 50% 50% - 75% 75% - 100%



资料来源：联合国粮农组织和联合国水机制，2021，针对联合国标准进行调整，2021。

1.3.3 地下水耗竭

根据2018年报告的国家层面汇总数据，估计全球用于灌溉农业的地下水抽取总量为820立方千米/年，与2010年的688立方千米估计值相比增加了19%。用于灌溉农业的地下水抽取量在农用淡水取用量中占比超过30%，并继续以约2.2%/年的速度增长。灌溉区累计整散量（消耗量）中，地下水估计占比43%，因为利用地下水灌溉时输水过程中损耗较小。

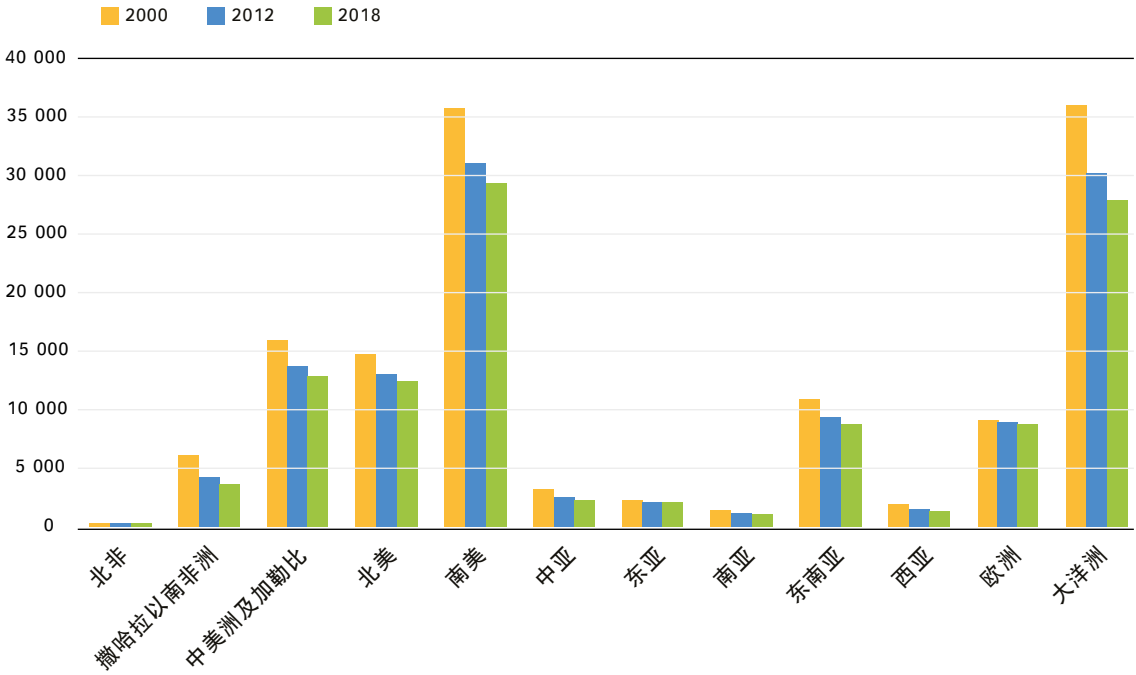
地下水利用已经面临局限。各大洲主要含水层以及高产的沿海平原（盐分侵入一直是严重威胁）的地下水已大



©粮农组织/Giulio Napolitano

图 S.5

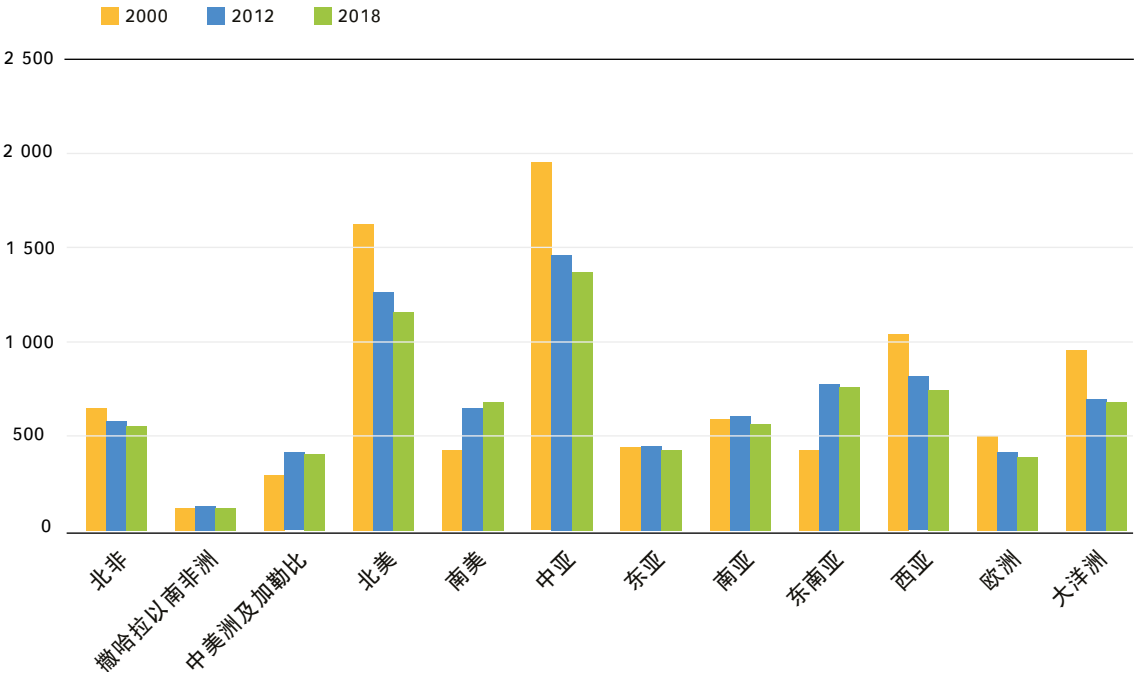
2000年、2012年和2018年各区域年人均内部可再生水资源总量（立方米/人）



资料来源：联合国粮农组织全球水信息系统，2021。

图 S.6

2000年、2012年和2018年各区域人均水资源取用总量（立方米/人）



资料来源：联合国粮农组织和联合国水机制，2021。

多遭到重度开采。灌溉区面临的压力与地下水高强度利用以及含水层耗竭之间有着密切关联（地图S.10）。

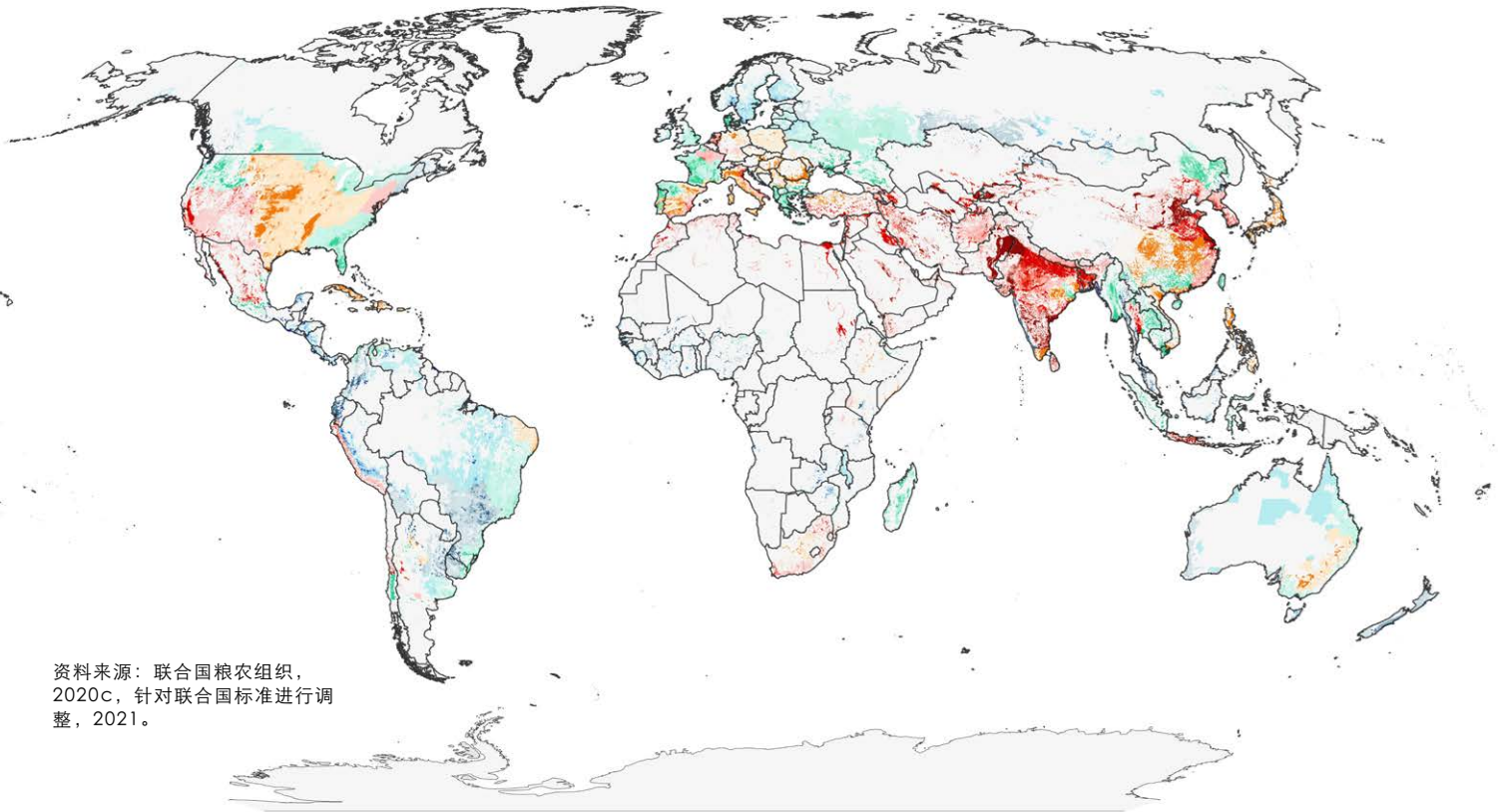
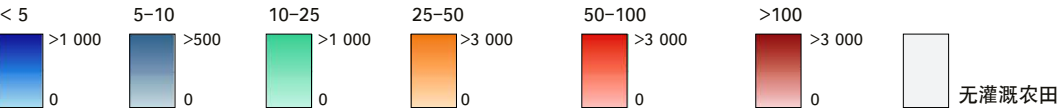
地下水开采被认为导致含水层储量以250立方千米/年的速度减少，更重要的是，随着地下水位下降，它还导致含水层对农民而言失去功能和用途。在回补不足或得不到回补的含水层地区，对生产及生计的局部影响可能十分严重。就地下水耗竭对灌溉型作物生产的影响开展建模分析后发现，地下水耗竭将继续给东亚、中东及西亚、北美和南亚带来巨大压力。



©粮农组织/Ami Vitale

地图 S.10 2015年各灌溉区水资源压力程度

按可持续发展目标指标6.4.2水资源压力程度列示的灌溉耕地面积（公顷）



资料来源：联合国粮农组织，
2020c，针对联合国标准进行调整，2021。

1.4 极端洪灾事件

据气候模型预测，随着全球气候不断变化，强降雨的频率、强度和雨量都会增加。强降雨正使得发生泥石流、严重侵蚀和突发洪水的风险加大。政府间气候变化专门委员会有关气候变化与土地的特别报告指出，热带气旋已经开始向两极地区移动，而且移动速度正在放慢。



©粮农组织/Asim Hafeez



©粮农组织/Lou Dematteis

洪泛平原，破坏了稻米生产系统以及棉花等其他经济作物，其影响一直持续到2011年。通常要为灌溉区设计能抵御10–25年一遇洪灾的粮食生产保护设施，同时通常要设计大型江河蓄水坝和蓄水基础设施，防备出现超大降雨。

位于城市中心上游的灌溉系统不得不做出牺牲，蓄留过量洪水，这已成为东南亚地区一项争议性问题，尤其是偏远的农村土地已被改建成高价值的“绿地”工业区。

沿海地区更易遭受高强度、持续时间长的风暴袭击，将导致土地退化，并影响沿海森林结构和构成。海平面上升已经对沿海侵蚀和盐碱化造成影响，使这些地区更容易受灾难性天气事件的影响。这些地区的年作物生产周期很大程度上受到气候不稳定性的影响，如干旱延续时间较长、降雨频率和强度加大以及随之而来的洪灾。

从沿海地区内陆，河岸泛滥是自然水文循环的一部分。这一直对农地有利（淤泥和养分补充），目前依然如此。但土地是否有能力克服水淹带来的影响并维持自己的耕作周期，是灌溉农业系统韧性的一项重要组成部分。2010年7–9月印度河流域发生的洪灾淹没了至少370万公顷高产的灌溉



©粮农组织/Asim Hafeez

1.5 农业造成的水污染

水污染是正在出现的、直接影响健康、经济发展和粮食安全的一场全球性危机。虽然其他人类活动，如人类居住设施（城市化）和工业，是导致水污染的主要原因，但农业已成为很多国家中的主要污染源。不断退化的水质对食品安全和粮食安全构成了严重威胁。

目前，估计排放到环境中的废水约2250立方千米/年，其中城市污水约330立方千米/年、工业废水（包括冷却用水）660立方千米/年、农业排水1260立方千米/年。

由于对耕地和牧场土壤的人为处理使得淡水中氮、盐分、生物需氧量普遍升高，土壤储存、缓冲、分解水中污染物的能力已经无法满足需求。



©粮农组织/Ivo Balderi

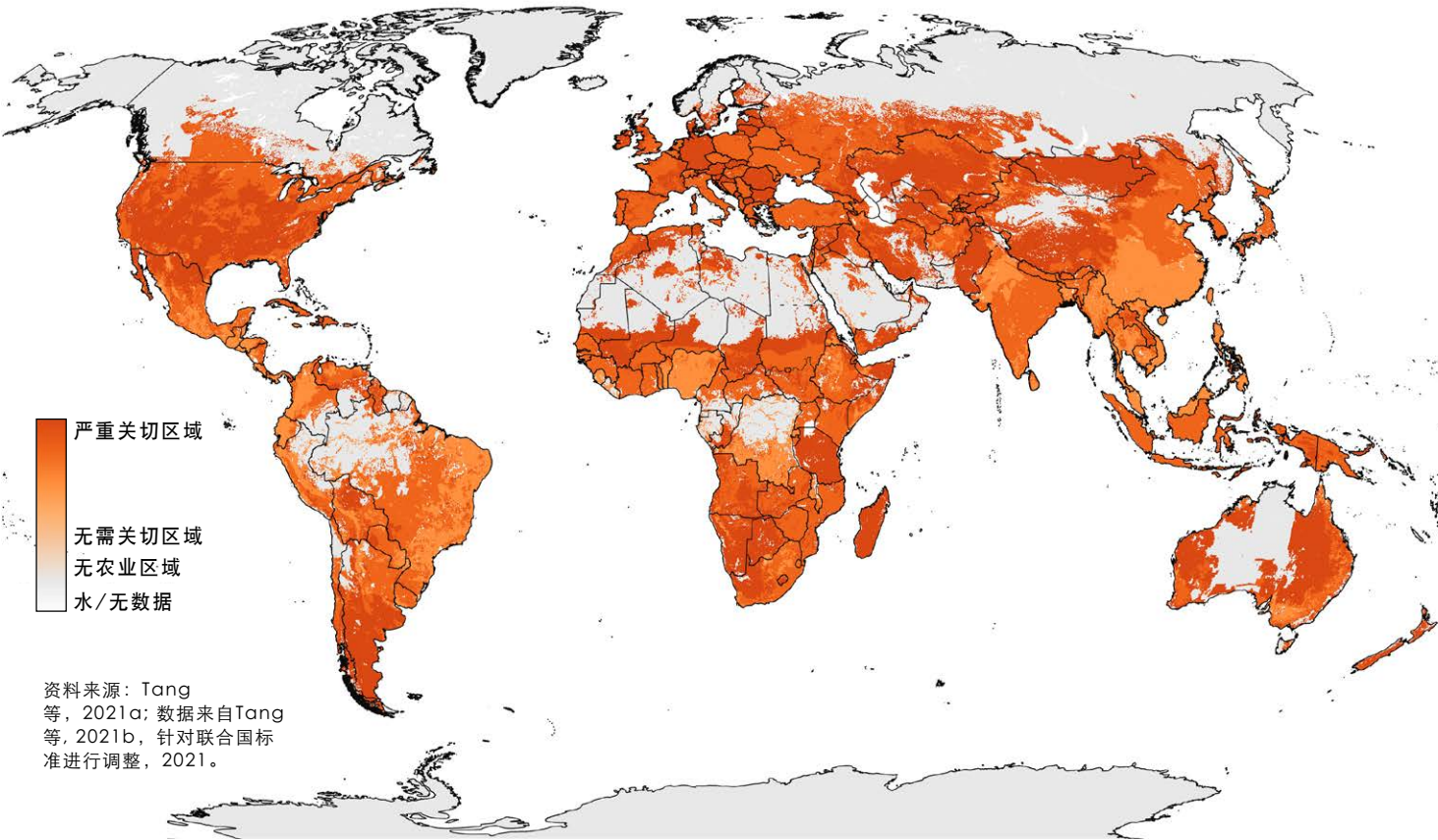


©粮农组织/Aamir Qureshi

农业中活性氮合成肥的用量自2000年起一直呈增加趋势，从近8100万吨增至2017年的峰值1.1亿吨，2018年出现小幅下降迹象。工业化肥生产以及农业中的生物固氮在人为固氮总量中占比80%。全球农业中的磷肥用量小幅增加，从2000年的3200万吨增至2016年的4500万吨峰值，随后大幅回落。据估计，人为造成的进入水域的磷总量每年约147万吨，其中62%来自点源（居民生活和工业），38%来自面源（农业）。农业中的钾肥用量从2000年的2200万吨增至2018年近3900万吨的峰值。这对淡水富营养化的影响并不明显，因为富营养化主要涉及氮和磷，但钾与径流造成的盐碱化有关。

尤其令人关切的是包括农药、兽药和塑料在内的新型化学污染物造成的污染以及目前尚未纳入监管或监测范围的对抗微生物药物的潜在耐药性。地图S.11展示受农药影响而令人关切的全球各区域。

地图 S.11 令人关切的全球各区域（易受农药污染的全球各区域）



与土地及水资源相关的部分事实

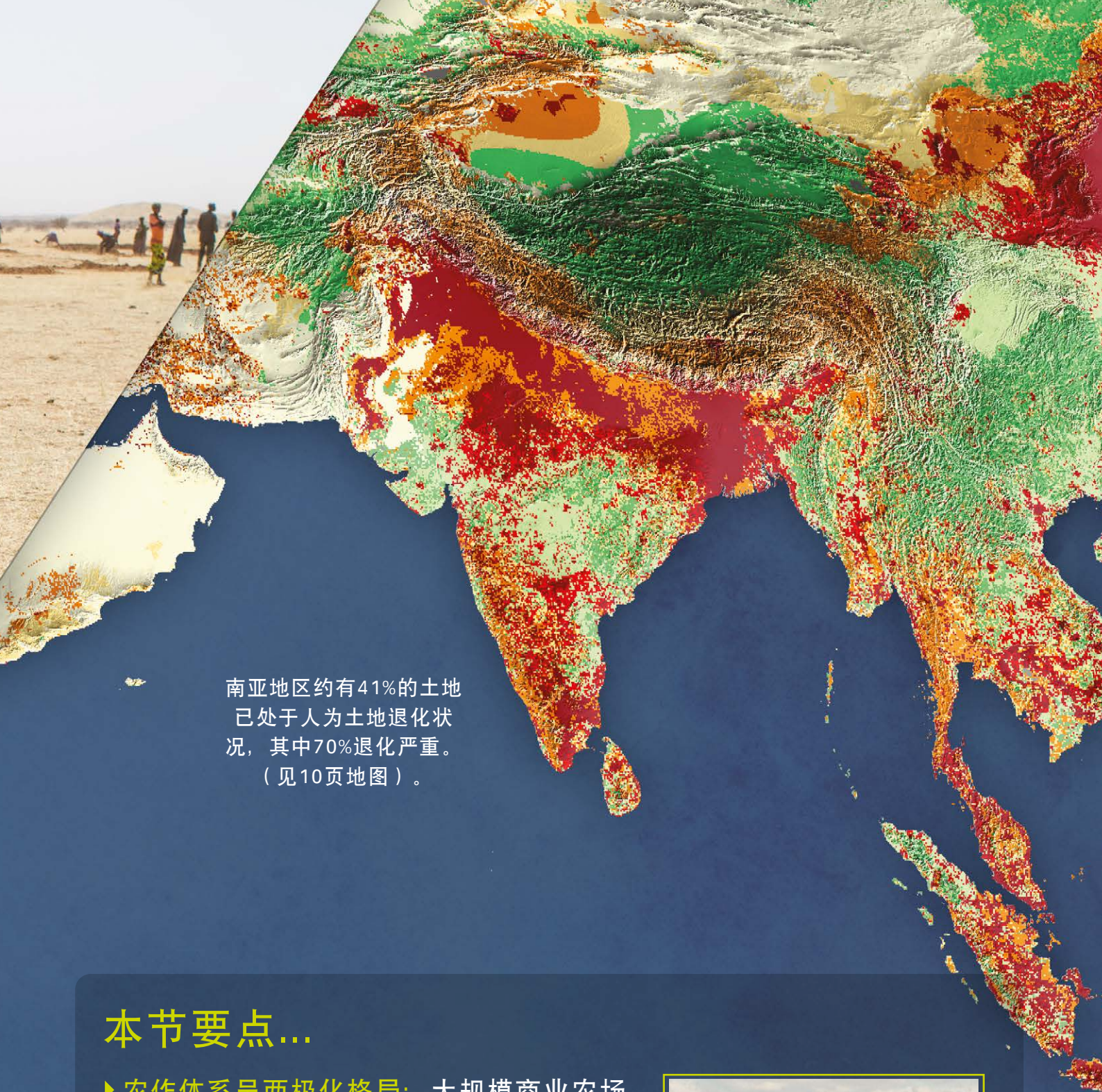
- 雨养农业用占世界80%的耕地生产出占世界60%的食物。灌溉农业用占世界20%的土地生产出占世界40%的食物。
- 2000年城市地区占地球表面陆地面积不到0.5%。但城市的快速发展（2018年55%的世界人口居住在城市）已对土地及水资源造成重大影响，侵占良田。

大约 33% 的土壤出现中度至重度退化。

- 土壤侵蚀每年带走200 – 370亿吨表土，导致作物减产，土壤对碳、养分和水的存储和循环能力减弱。每年因侵蚀造成的谷物减产估计达760万吨。
- 从全球角度来看，农业使用了所有地表水和地下水的 72%，主要用于灌溉。
- 有关全球水资源压力程度的可持续发展目标指标6.4.2从2017年的17%升至2018年18%，但各区域间存在巨大差异。
- 内陆捕捞渔业2019年总产量为1190万吨，占全球捕捞渔业总产量的13%。仅17个国家就生产了占世界捕捞总产量的80%。亚洲的内陆渔业捕捞产量最高，占世界捕捞总产量的66%。

在约12亿人居住的地区，严重的水资源短缺和匮乏问题制约着农业发展，雨养耕地和牧区旱灾频发，灌溉区域用水压力极大。

土地和水资源需求的 社会经济动因



南亚地区约有41%的土地
已处于人为土地退化状
况，其中70%退化严重。
(见10页地图)。

本节要点...

- ▶ **农作体系呈两极化格局：** 大规模商业农场垄断了农业用地，而亿万生计型小农只能固守着很可能会退化和缺水的土地。
- ▶ **包容性土地和水资源治理是提高生产率的必由之路：** 当前迫切需要开展土地利用规划，引导土地和水资源分配，推动可持续资源管理。



©粮农组织/Olivier Thuillier

2.1 社会经济转型与全球粮食体系

驱动土地和水资源需求的主要社会经济变量为人口增长、城镇化进程以及经济发展。这些因素都会影响气候，能够推动农业生产需求朝着总体可预测的方向发展；地缘政治不稳定、冲突和迁移会造成广泛的贫困和粮食不安全。食物不足发生率在保持了五年的稳定态势后，于2020年增长1.5个百分点，约近9.9%。2020年，全球超过7.2亿人面临饥饿，近1/3（23.7亿）的全球人口无法获得充足食物。2019年，健康膳食对于约30亿人而言无法企及，尤其是贫困人群。此种状况遍及全球各个区域。

当前，有限的可再生土地、土壤和水资源面临着前所未有的压力。随着收入水平的提高和城市生活方式的流行，食品需求转向了资源密集型的消费模式，动物蛋白、水果和蔬菜消费量不断增多。全球人口预计将由2019年的72亿增长至2050年的97亿（26%）。最贫困的区域人口增速最快，包括撒哈拉以南非洲；该区域2050年人口将会翻倍，给实现可持续发展目标带来巨大压力，特别是第1项（消除贫困）、第2项（零饥饿）、第6项（清洁水和卫生）以及第15项（地球上的生命）可持续发展目标。

©粮农组织/Lou Dematteis



©粮农组织/Giulio Napolitano

全球范围内，80%的极端贫困人口居住在农村；多数集中在发展中国家，主要以农业为生。农业部门是减少贫困和实现可持续发展目标的关键，但却高度暴露在当前和未来的气候风险面前。应对这些挑战已经成为改进韧性战略不可或缺的内容。

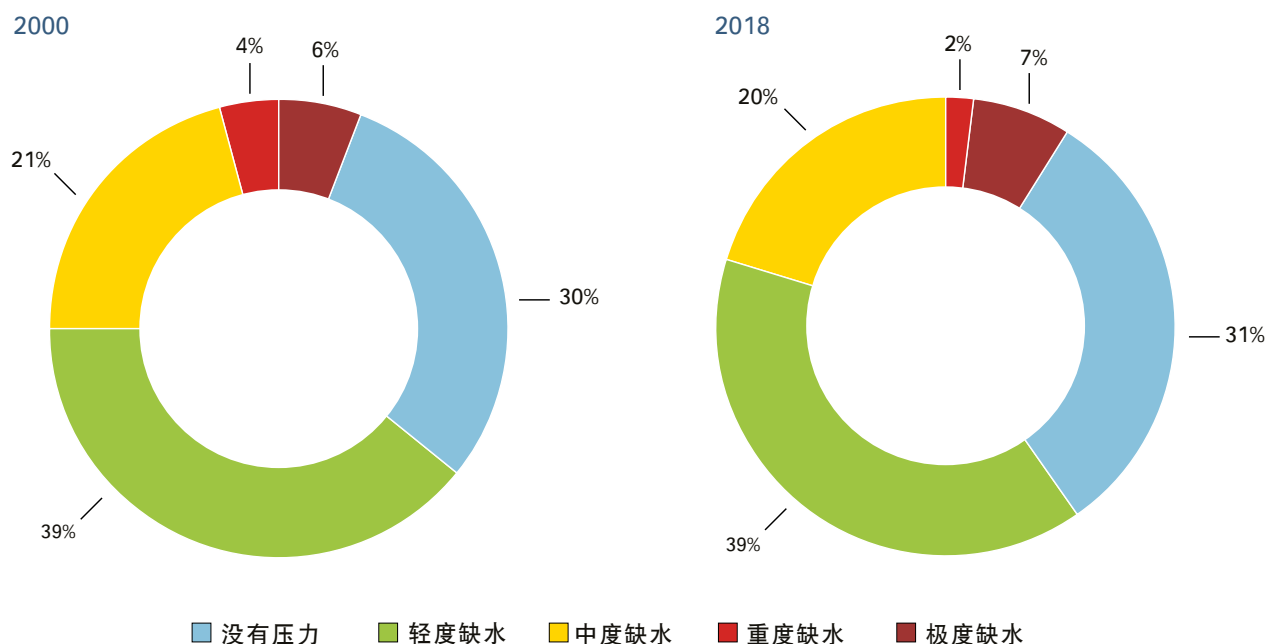
无序城镇化和被迫迁移威胁着可持续资源管理。2050年，2/3的人口将生活在城镇和城市，非洲和亚洲不发达区域的人口增速最为迅猛。城镇居民消耗了80%的食品。加工食品会垄断城市膳食，产生广泛、严重的健康后果，包括营养不良、肥胖和微营养素缺乏。

2.2 人均水资源日益减少

超过7.33亿人生活在重度缺水（70%）或极度缺水（100%）国家，约占全球人口总数的10%。2018年至2020年间，极度缺水地区人口比例从6%提高至7%，但重度缺水地区人口比例却从4%减少至2%（图S.7）。在约12亿人居住的地区，严重的水资源短缺和匮乏问题制约着农业发展，雨养耕地和牧区旱灾频发，灌溉区域用水资源压力极大。

图S.7

按国家水资源压力阈值划分的人口分布情况，2000年（左）和2018年（右）



资料来源：粮农组织和联合国水机制，2021。

人口增长意味着人均自然资源数量减少。在撒哈拉以南非洲，人均水资源量在过去10年间减少了40%，人均农业土地面积从2000年的0.80公顷缩减至2017年的0.64公顷。在北部、南部和西部非洲，人均水资源量均不到1700立方米，制约了国家满足粮食用水和其他部门用水需求的能力。

此外，超过286个流域和约600个含水层穿越国界。然而，60%以上的跨境流域和更高比例的共享含水层仍未建立合作、灵活的跨境管理机制，无法有效应对资源分配和污染防控挑战。加强跨境水资源合作对于实现水相关可持续发展目标以及更大范围的可持续发展目标来说至关重要。

2.3 土地持有模式呈偏态分布

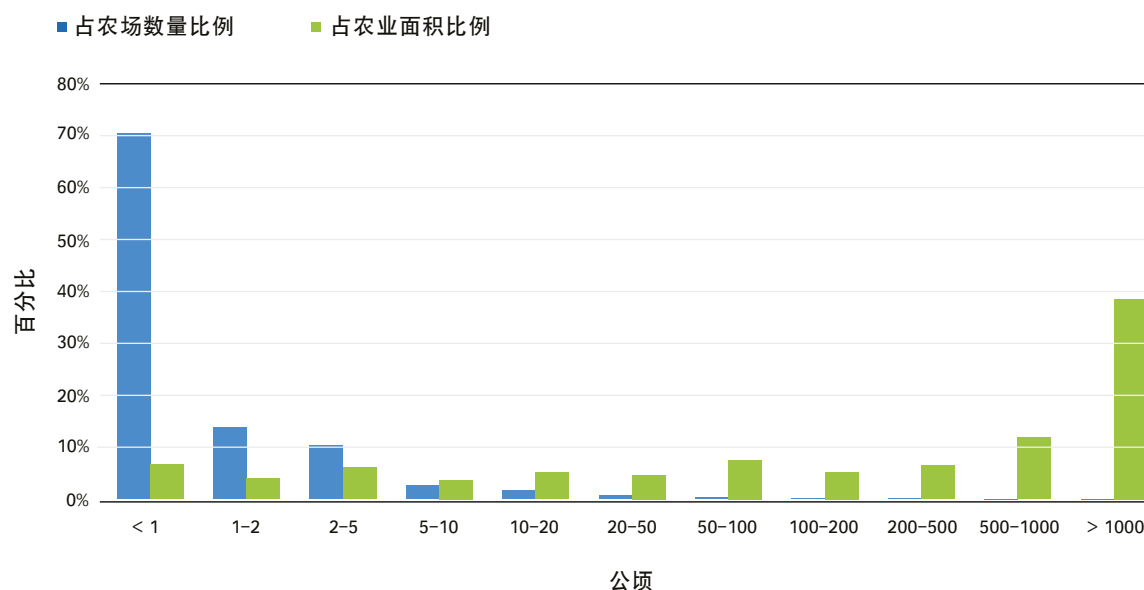
据估测，全球约有6.08亿个农场，但农场规模分布却向大型农场集中：50%以上的农场面积超过500公顷（图5.8）。然而，农场数量分布却呈现出趋近小农的偏态模式，84%的农场面积不到2公顷，仅占全球农田面积的12%。因此，土地管理政策干预既需要考虑土地越来越集中在少数大型农业

©粮农组织/Olivier Thuillier



图S.8

农场和农田的全球分布情况，按土地面积等级划分，2010年



资料来源：Lowder, Sánchez 和 Bertini, 2021。

企业的情况，又要面对亿万小农拥有农田面积不到2公顷的现实。对很多低收入国家来说，小农保持活力是保障本地粮食安全的关键。

1960年至2010年间，在几乎所有的低收入和中等偏下收入国家，平均农场规模均有缩减；而在1/3的中等收入国家和几乎全部高收入国家中，平均农场规模却呈扩大趋势；然而，2000年至2010年，低收入国家平均农场规模却略有增大。在很多非洲和南亚低收入及中等偏下收入国家，平均农场规模不断缩减，经济活力也随之减弱。

在较高收入国家中，农田日益集中在较大农场手中的现象在大多数较大欧洲国家均有体现（西班牙除外），在巴西和美国亦是如此。不平等现象加剧，小型农场数量再次增多，而大规模企业持有的耕地比例也有所提升。2010年，平均农场规模在低收入国家为1.3公顷，在中等偏下收入国家为1.7公顷，在中等偏上收入国家（除中国外）为23.8公顷，在高收入国家为53.7公顷。

2.4 部分群体无法获取土地和水资源

社会结构决定自然资源的可持续性。社会造成土地退化和水资源短缺，而这些进程都是不可逆转的。某些社会开发出了可持续、有韧性的生产系统，能够遏制退化趋势。这些经验可以帮助决策者了解基于社区资源管理系统的潜力。



©粮农组织/Djionil Sy

减少农村贫困需要公平地获取土地和水资源。若没有充分获取自然资源的渠道，也没有充分利用自然资源的能力，就会导致滥用资源，满足短期需要。解决这些问题的关键在于建立良好的治理、有效的制度和有保障的权属。减贫政策与可持续资源管理之间既能协同增效，也要折中取舍。当前的水资源法律趋向于将水资源权利与土地权属脱钩。

发展趋势和气候变化影响加剧了水土资源竞争，增加了贫困和脆弱人群的生计风险。低收入和中等收入国家中，约77%的小型农场位于缺水地区，只有不到1/3的农场能够实现灌溉。在灌溉方面，小农户和大农场之间差异最为显著的地区为拉丁美洲及加勒比、南亚以及撒哈拉以南非洲。灌溉服务不畅可能会对农村生计形成严重制约，尤其是在干旱地区。

此外，围绕水土获取和管理还有凸出的性别与平等问题。女性在全球农村农业劳动力中占比超过37%，在低收入国家中占比高达48%。女性的贡献在所有农业部门中都非常突出。在全球小规模养殖户中，女性占比将近50%；在小规模渔业中，女性构成了一半的劳动力。已经制定法律或政策，具体规定

©粮农组织/FAO/WFP/Michael Tewelde



©Aneth David (SLU)

女性参与农村卫生或水资源管理的国家不到50个。女性在农业土地持有者中所占比例不足15%，在获取农业支持服务方面也不及男性。

2.5 竞争与部门 权衡取舍：水-粮 食-能源的联系

一些重要的协同增效和权衡取舍可能已经超越了部门性战略与投资的范畴。例如，在雨养或灌溉系统中种植生物能源作物可能有助于扩大能源供给，但也可能会加剧水土资源竞争，影响本地粮食安全。建设堤坝发展水电可以刺激电能生产，提供灌溉和生活用水，但也会让居民流离失所，给下游农业生态系统用水带来不利影响。若能在水、粮食、能源等部门同时发力，加强协调，提高资源使用效率，则上述及其他类似的开发项目都将会获益良多。

由于水资源被过度提取用于灌溉棉花，中亚咸海逐渐干涸；这种悲剧式发展带来了很多教训：包括供水过大压力，盐碱化加剧，农业化学品和采矿废弃物对上游河流造成污染，以及水生物种、渔业及相关生计损失。



风险升级：土地和水资源压力既来自农业，也来自更大范围的粮食体系，主要是因为粮食损失和浪费，加之气候不确定性导致土壤和水中新污染物数量激增。（见32页地图）。

本节要点...

- ▶ **挑战深化加剧：**人为因素造成的土地退化、土壤侵蚀、盐碱化和地下水污染过程缓慢，不会被视作紧迫风险，但产生的影响却深远且持久。
- ▶ **土地退化趋势不可逆转“但是”：**修复性土地管理措施可以实施，但必须依托有效改革之后的土地和水资源治理框架。积极谋划遏制土地退化的举措，加之减缓和适应方面高瞻远瞩的气候融资，有可能带来出路。
- ▶ **粮食安全受到缺水威胁：**地下水耗竭对脆弱的农村居民和国家粮食安全都会产生影响。



©粮农组织/Giulio Napolitano

- ▶ **风险意识是关键：**农民和资源管理者要对风险加深认识，与规划人员共同设计应对措施，制定应急预案。

人为土地退化风险主要影响耕地。近1/3的雨养耕地和近一半的灌溉耕地面临人为土地退化风险。

挑战深化加剧

3.1 土地和水资源系统濒临极限

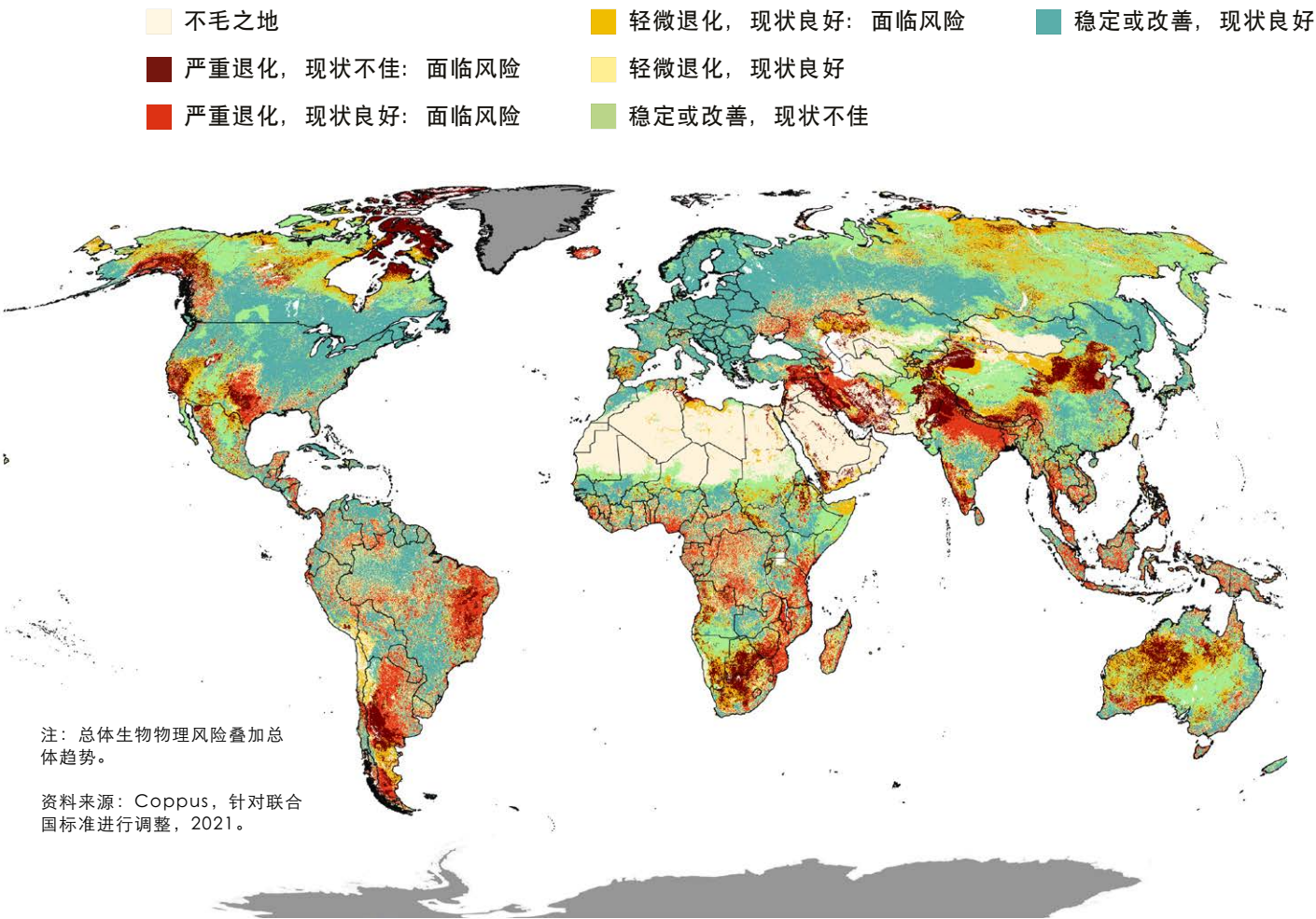
土地和水资源系统的压力正在侵蚀农业生产率；而当前却最需要增长来满足可持续全球粮食目标。人为土地退化和水资源匮乏提升了农业生产和生态服务的风险水平（地图S.12）。气候变化加剧了生产者面对的农业气候风险的不确定性，对于抵御冲击能力最弱以及粮食不安全的居民来说，此种影响尤甚。气候波动以及极端水文和气象事件会影响所有生产者，但在资源禀赋差、人口增长快且经济实力弱，故而无法适应本地粮食体系或寻找替代出路的区域，风险更为突出。



©粮农组织/Giulio Napolitano

当前农业水土利用的规模和密度在很多本地层面上都是不可持续的。某些情况下，此种问题还会延伸至全球层面，因为零存量供给可能崩盘，

地图S.12 基于土地资源现状和趋势划定的风险区域，2015年



注：总体生物物理风险叠加总体趋势。

资料来源：Coppus，针对联合国标准进行调整，2021。

尤其是在不可预知的旱情造成作物严重歉收的情况下。

气候变化情境下的预测数据说明了温度变化对加剧产量风险的影响。水土资源竞争不言而喻，对于贫困社区来说更为突出，他们的粮食安全和生计都直接依赖土地和水。冲突造成的被迫移民推高了脆弱国家的需求，而这些国家本就资源有限，且消耗迅速。

人为土地退化风险主要影响耕地。近1/3的雨养耕地和近一半的灌溉耕地面临人为土地退化风险（表S.5）。



©粮农组织/Giulio Napolitano



©粮农组织/Albert Gonzalez Farfan

面临风险的农田通常位于近期开发生产的区域；此类区域淡水供应有限，人口密度增加。雨养农田历史旱情发生频率表明，人口密度高的地区土地干旱风险也更为集中（地图S.13）。

多数风险草场都面临淡水供应量减少的现状，南美洲和撒哈拉以南非洲除外；在这些区域，土地生产率下滑和土壤保护不力是生态系统服务退化的主要因素。在亚洲，水资源压力加剧让草场面临较大风险。在撒哈拉以南非洲，草场面临大火频发风险。

林地面临毁林风险；在撒哈拉以南非洲，严重森林火灾也频有发生。受水循环影响，多数风险区域的生物物理特点体现为土壤有机质含量低，植物物种生物多样性低。据估测，土壤盐碱化每年会毁坏30万至150万公顷耕地，此外还会造成2000万至4600万公顷土地生产率下滑。美国农业部数据显示，每年约有1000万公顷可耕地因为盐碱化、石漠化和荒漠化而不再适于农业用途。

表S.5 面临人为退化风险的生产性土地，2015年

土地覆盖	总面积（百万公顷）	面临风险的面积（百万公顷）	面临风险的面积（%）
耕地	1 527	472	31
雨养	1 212	322	27
灌溉	315	151	48
草场	1 910	660	35
林地	4 335	1 112	26

注：人为退化指人为因素带来的高压力；除此之外，生物物理状况的所有其他减弱均称之为自然退化。

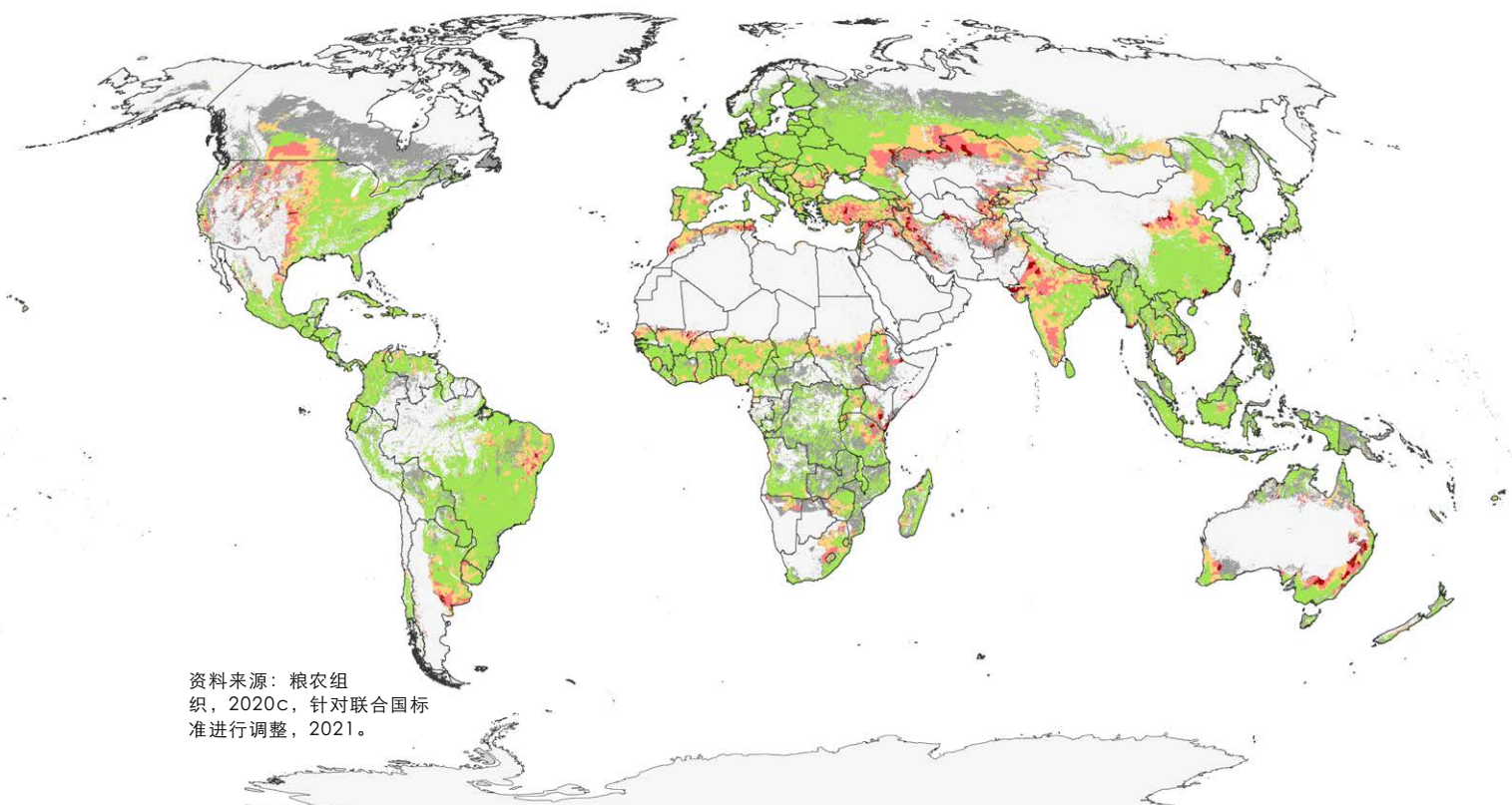
资料来源：Coppus，即将出版。

地图S.13

雨养耕地历史旱情发生频率，1984–2018年

雨养耕地严重干旱发生频率（%）

■ < 10
 ■ 10–20
 ■ 20–30
 ■ > 30
 ■ 无数据
 ■ 无雨养耕地



3.2 展望未来

据粮农组织估测，相较于2012年，到2050年农业需要增产近50%的粮食、饲草和生物燃料。南亚和撒哈拉以南非洲的农业产量要至少翻番（增长112%）才能满足估测的热量需要。全球其他地区至少需要增产30%。实现上述目标意味着要增加作物单产，提高种植密度，以及丰富种植品种。扩大耕地面积可选方案有限，因此需要在营养价值、作物生产率与气候韧性之间进行权衡取舍。

2011年《土地及水资源状况》阐释了生产性土地和水资源系统总体绩效面临的各类风险；着重关注了最为



©粮农组织/Vasily Maximov

突出的风险：水土退化、农业用水造成的水资源匮乏，以及土地污染。2021年SOLAW报告的主要重点是最突出的风险：土地和土壤退化、与农业用水有关的缺水和土地污染。

在粮农组织发布的《粮食和农业的未来》中，耕地展望情境运用一整套技术改进和气候变化因素，对2030年和2050年满足食物平衡所需的作物收获面积进行了测算。根据雨养和灌溉耕地收获面积的预测结果，计算了三种情境下的土地和水资源需求（插文S.2）。

将灌溉和雨养收获面积预测转化为可耕地需求后，在“一切照常”情境下，耕作面积需要从2012年的15.67亿公顷增加至2030年的16.9亿公顷和2050年的17.32亿公顷。基于预期单产增加和种植密度，满足食物平衡表要求将需要农田面积到2050年增加1.65亿公顷。“一切照常”情境预测，灌溉收获面积到2050年将增加至9100万公顷（表S.6），年均增速仅为0.14%，显著低于1961年至2009年；在此期间，全球灌溉面积年均增速为1.6%，最贫困国家增速超过2%。灌溉土地面积



©粮农组织

增加可能主要集中在低收入国家。在“一切照旧”情境中，灌溉面积对总产值的贡献率需从2012年的42%提高至2050年的46%。

此种增长对水资源的影响在2021年《土地及水资源状况》中开展了模型分析。分析表明，蒸散量将从2012年的1285立方千米增加自2050年的1540立方千米（不考虑气候变化）和1730立方千米（考虑气候变化）（表S.6）。考虑到土地整理的用水需求

表S.6 粮农组织《粮食和农业的未来》展望情境下灌溉收获面积以及因对其灌溉（包括蒸散）而产生的蒸散增量基准（2012年）与预测（2050年）

《粮食和农业的未来》情境	2012年基准		《2050年粮食和农业的未来》预测		
	灌溉收获面积 (百万公顷)	包括蒸散的灌溉 (立方千米)	灌溉收获面积 (百万公顷)	包括蒸散的灌溉 (立方千米)	包括蒸散和气候变化的灌溉 (立方千米)
“一切照常” (SSP 2/3 - 中间路线) 气候未来 RCP 6.0	408	1 285	499	1 540	1 730
TSS (SSP 1 - 绿色路线) 气候未来 RCP 4.5	408	1 285	477	1 424	1 594
SSS (SSP 4 - 分化路线) 气候未来 RCP 8.5	408	1 285	499	1 530	1 771

注：CC表示气候变化；ET表示蒸散；RCP表示典型浓度路径；SSP表示共享社会经济路径；SSS表示分层社会；TSS表示实现可持续发展。

料来源：2021年《土地及水资源状况》背景研究。

插文S.2

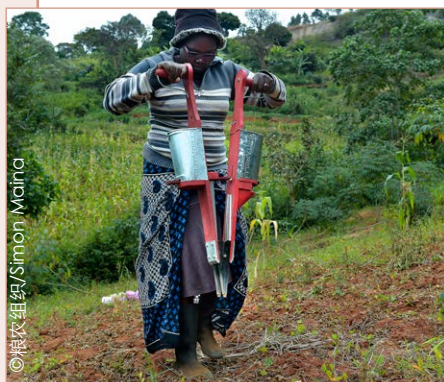
从土地和水资源利用视角出发的粮农组织展望情境

一切照常：气候未来，RCP 6.0 和 SSP 2/3 （“中间路线”）

可耕地面积（临时性或永久性农作物种植面积）年均增幅快于过去十年，土地退化问题仅得到部分解决。随着种植和养殖单产提高，土地利用强度及单位产出用地面积均会有所下降，但这些成绩的取得需要渐进式使用化学品。用水效率提升的同时，毁林和不可持续原材料开发仍未得到遏制；而技术止步不前会造成越来越多的国家面对缺水困境。



©粮农组织/Michael Tewelde



©粮农组织/Simon Maina

实现可持续发展（TSS）：气候未来，RCP 4.5 和 SSP 1 （“绿色路线”）

与“一切照常”情境相比，低产出过程将导致用水强度显著下降，能源强度显著改善。得益于可持续农业集约化，以及提高资源效率的其他措施，土地利用强度及单位产出用地面积比当前水平均将有所下降；有利于保持土壤质量，恢复退化和侵蚀土地。农业土地不再无序扩张，土地退化问题得到缓解。取水量仅占可用水资源的较小比例。

分层社会（SSS）：气候未来，RCP 8.5 和 SSP 4 （“分化路线”）

毁林进一步加剧。新增退化面积需要新的农业土地补偿，以期满足不断增长的农业需求，而此种需求并未得到有效管理。家庭农民的商业农业单位产出用地面积保持稳定或略有增加，而受到极端气候事件影响，作物损失有增无减。很多地区水资源利用不可持续，但在提高用水效率方面却几乎没有任何投入。气候变化加剧了水和土地的压力。



©粮农组织/Christiana Dowsett

注

不同耕作制度的收获面积和单产差异（灌溉和雨养）

使用收获面积数据计算了基准年份不同作物雨养和灌溉生产系统所占比例，以及两种系统的单产差异。粮农组织与国际应用系统分析研究所的全球农业生态区数据门户包含了地理空间数据集，这些数据与粮农组织统计数据库的国家层面收获面积、单产和作物产量数据口径一致。具体做法是运用反复再平衡方法将2009年至2011年粮农组织统计数据库内的国家层面产量数据分解到像素层级，确保分解数据与国家总量相符。将作物和作物系统分配给每个像素的过程是基于粮农组织的全球土地覆盖比例；该数据库能够提供高分辨率的土地覆盖数据，灌溉土地的地理空间数据（全球灌溉区域地图，可见www.fao.org/nr/water/aqua-stat/irrigationmap/index.stm），以及其他数据集。

土地面积

利用土地覆盖数据估测了未来不同气候情境下可供使用的适宜土地面积。全球农业生态区数据门户包含了像素级保护区数据，来源于世界保护区数据库的最新版本。后者是一套综合全面的全球海洋和陆地保护区数据集，包含了自然保护区和国家公园等由世界自然保护联盟管理的保护区，获得国际命名地位的保护区（如世界遗产和拉姆萨尔湿地），以及获得国家保护地位的保护区。土地适宜性评估并未对自然退化或人为退化导致的长期土地生产率变化进行分析，可能也高估了潜在的土地供给数量。

资料来源：粮农组织，2018。



3.3 从气候风险到雨养生产 - 土地适宜性的变化

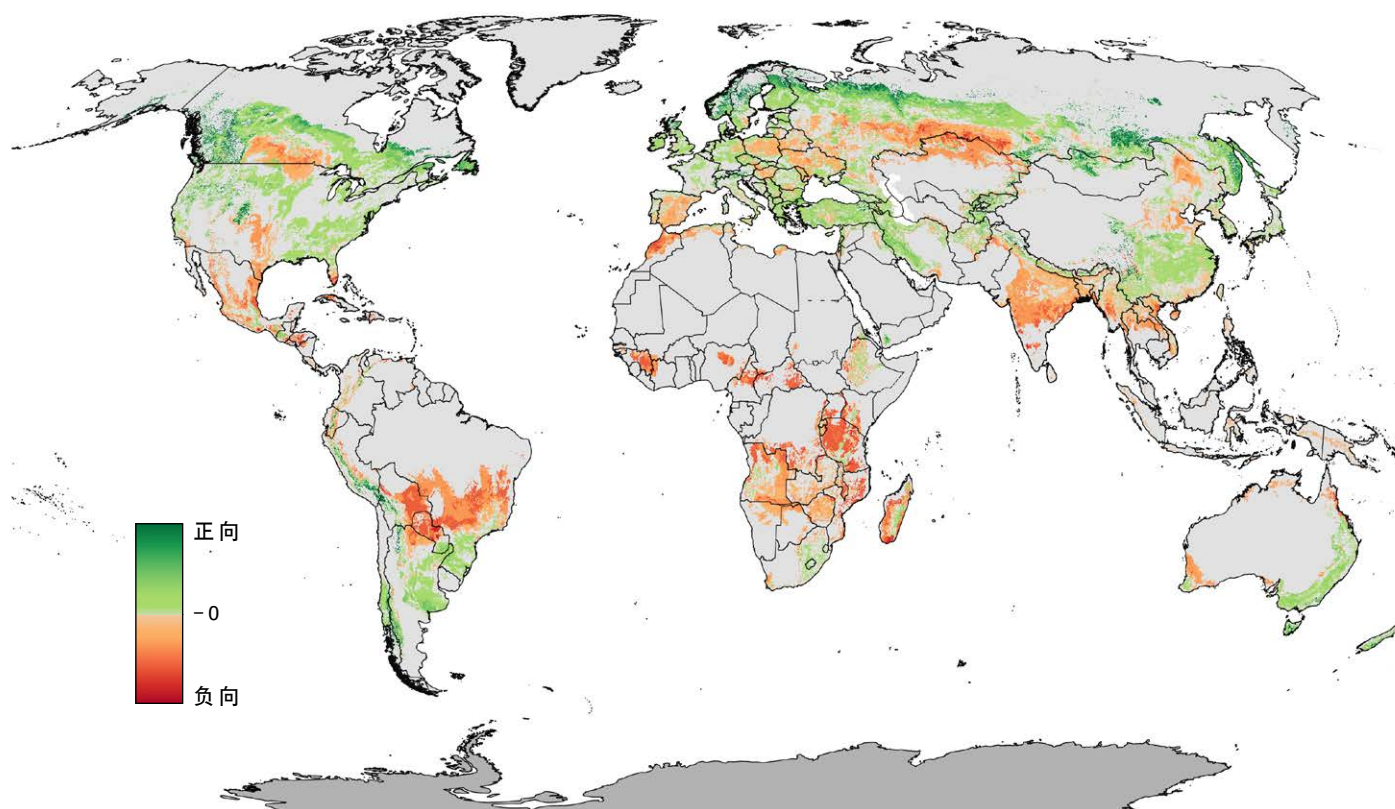
土地的种植适宜性并非一成不变；随着气候变化，土地适宜性和种植面积也会随之改变。全球农业生态区划方法等土地资源规划工具，以及气候建模，可提供宝贵的信息，反映出这些变化会如何重新分配各类种植和养殖生产可用的土地面积，揭示这些变化对生产率和单产差距的潜在影响。

和渗漏因素，加之从取水到用水之间的输送损失，全年农业取水总量将达到3500立方千米。

地图S.14描绘了高排放量/高温情境下到本世纪80年代前（RCP 8.5）适于种植雨养小麦的土地面积变化情况，

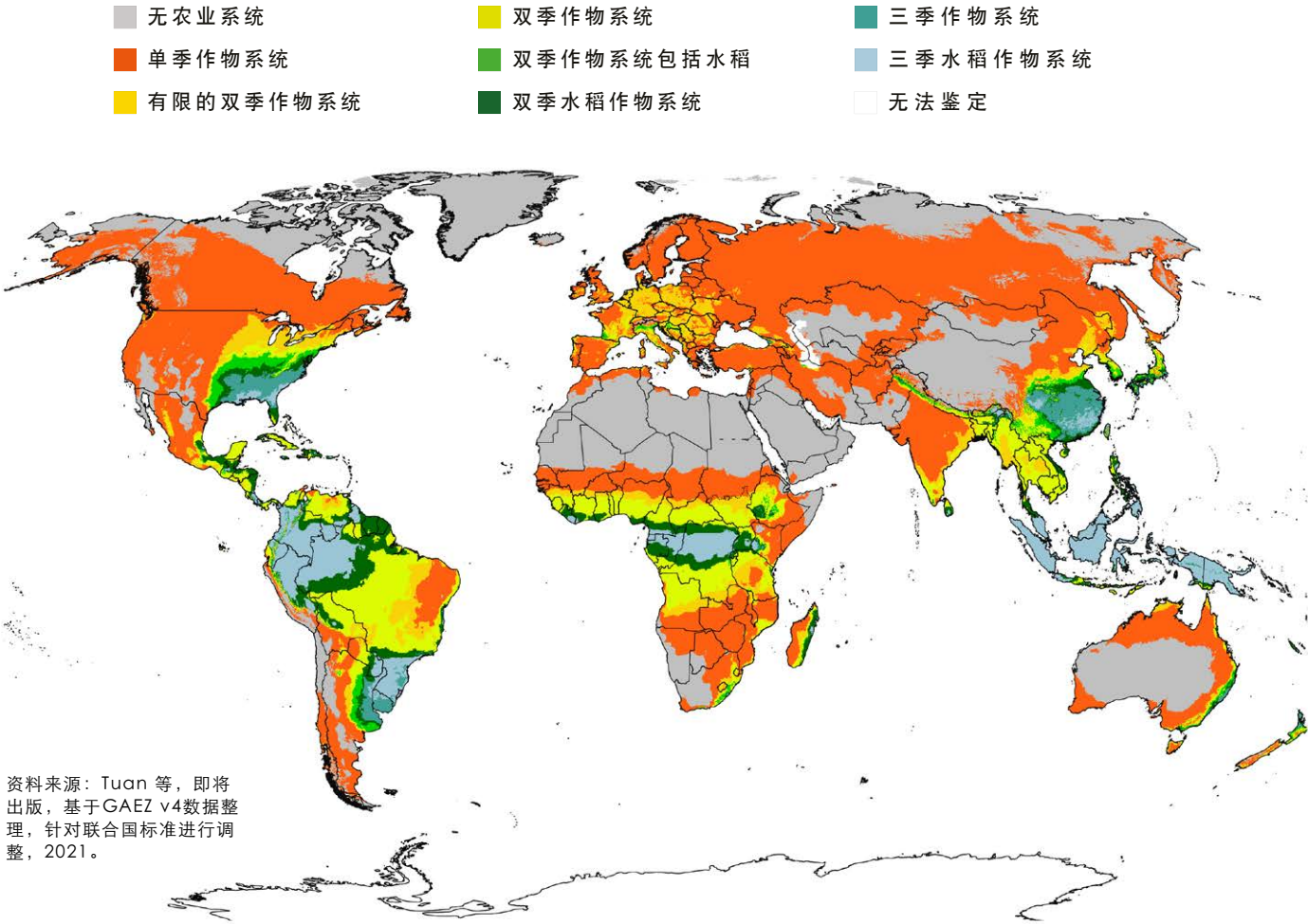
地图S.14

本世纪80年代与基线气候（1981–2010年）相比雨养小麦的土地适宜性变化情况（ENS-RCP 8.5）



资料来源：Tuan 等，即将出版，基于GAEZ v4数据整理，针对联合国标准进行调整，2021。

地图S.15: 二十一世纪80年代雨养农业复种区等级划分 (ENS-RCP 8.5)



在此期间气温升高4.2℃。阿根廷、澳大利亚、加拿大、智利和欧亚大陆北部会乐见小麦增产, 而中非多数地区、巴西部分地区、中亚和印度则会出现小麦减产。其他作物的结果有好有坏; 预测结果表明, 部分作物的潜在耕作面积会有所增加, 其他作物则呈相反态势。

地图S.15描绘了二十一世纪80年代之前复种区的预测变化趋势, 体现了气候变化的影响。补充灌溉也会延长生长季节, 增加价值。然而, 灌溉会带来另外一些问题, 如设备和水资源的获取, 费用以及实现高效灌溉所需的技能。

表S.7列出了本世纪80年代与基准气候(1981-2010)相比雨养复种潜力的绝对值变化和百分比变化(ENS-RCP 4.5)。



表S.7 本世纪80年代与基准气候（1981–2010）相比雨养复种潜力的绝对值变化和百分比变化（ENS-RCP 4.5）									
未来气候（2080S ENS-RCP 4.5）									
基准气候（1981-2010）	雨养复种区 （千公顷）	未种植作物	单种	有限复种	一年两熟	一年两熟， 含稻米	湿地稻米一年两熟	一年三熟	稻米一年三熟
	未种植作物	3 862 810	975 100	3 880	50	0	0	0	0
	单种	118 890	4 058 270	367 440	18 720	300	0	0	0
	有限复种	0	165 950	332 550	135 270	42 490	1 070	30	0
	一年两熟	0	22 490	181 180	948 510	69 640	44 770	2 010	0
	一年两熟， 含湿地稻米	0	1 540	4 680	53 820	53 410	60 170	48 650	0
	湿地稻米一年两熟	0	0	50	205 760	14 050	332 850	84 950	3 640
	一年三熟	0	0	0	2 120	5 860	36 760	129 340	91 060
	湿地稻米一年三熟	0	0	0	6 830	0	202 570	10 660	732 590
	本世纪80年代合计	3 981 700	5 223 350	889 780	1 371 080	185 750	678 190	275 640	827 290
变化									
		基准气候总量 （1981-2010）	二十一世纪80年代 总量（ENS-RCP 4.5）	差值（千公顷）	差值（百分比）				
		4 841 840	3 981 700	-860 140	-18				
		4 563 620	5 223 350	659 730	14				
		677 360	889 780	212 420	31				
		1 268 600	1 371 080	102 480	8				
		222 270	185 750	-36 520	-16				
		641 300	678 190	36 890	6				
		265 140	275 640	10 500	4				
		952 650	827 290	-125 360	-13				

注：绿色表示没有变化。

资料来源：Tuan 等，即将出版，基于GAEZ v4数据整理。

气候变化会给很多人带来挑战，也会让部分群体从中获益。在部分地区，例如中非和东欧，适于耕作的土地面积将逐步缩减，因此种植、养殖以及水土管理模式都要进行改革，以便适应新的生产条件。热带和亚热带地区有望得益于复种系统的发展。放眼全球，各生态区域之间的种子和种质交流以及加强培育抗性更强的作物品种也非常重要，有助于开发出能够

抵御未来气温、盐碱化、风量和蒸发量变化的作物和品种。

3.4对土地和水资源的风险影响

对于多数常见雨养作物而言，由于适宜土地面积增加，部分地区可能会获益于气候变化。气温升高会促使谷物生产向北延伸，加拿大、欧亚大陆北部，以及大洋洲和南美洲部分地区会从中受益。但在中非和东欧等地，适宜土地面积将会缩减，需要引入更适应新农业条件的耕作制度、土地和水资源管理模式，以及通盘考虑的土地利用系统。北半球温度升高以及部分地区预计降雨增多会造成单种面积增加9,751,000平方公里（20%）（由未耕作土地转化而来）。稻米一年两种植



©粮农组织/Isak Amin/WFP



积将增加601,000平方公里（27%），一年三种的潜在面积将达到910,000平方公里（34%）。

然而，由此带来的问题也不容小觑，包括生物多样性损失，以及现有耕作面积和前沿土壤的碳封存和水资源服务。据估测，前沿土壤本身就封存了1770亿吨碳，未来可能会逐步释放；此外，若在气候因素驱动下开发前沿土壤，受影响的流域面积会波及180万人。

水资源短缺会给农业生产带来更多的风险，因为水资源供应、储存和输送系统都已达到设计上限。在严重缺水的很多地区，农民通过采掘浅表地下水进行灌溉来防范生产风险；在部分地区，他们使用不可再生的地下水。然而，由于含水层面临过度采掘和盐碱侵蚀的双重压力，高质量地下水日益减少，竞争也随之加剧。很多含水层还面临着农业和工业污染问题。

气候变化会增加极端天气事件的频率和强度，改变平均气候条件和气候变异，因而会带来更多的干旱风险，也会给缺少旱情应对经验的地区带来新的威胁。干旱状况发展缓慢，开始时不易识别；但若旱情严峻且广为扩散，且社会、生态系统和经济影

响未能得到应有的重视，则旱情就会快速演化成一场危机。

由于降雨量低，季节性水资源供应不稳定，农业旱情尤其会对粮食安全产生不利影响，因为干旱会造成作物减产，削弱草地和森林的生产率，也会增加火灾危害。对于无法获取充足水源或灌溉服务的小农家庭来说，影响尤其深重；干旱还可能会造成对本就十分稀缺的资源竞争加剧。

与生活废水和工业废水造成污染一样，农业水污染问题也愈演愈烈。新的污染物增加了清理成本，给土地、湖泊和近海环境的污染治理带来了更多挑战。

旱地面临着很多复杂问题，包括耕作方式不可持续，草场过度放牧，毁林以及气候变化。投资不足、本地知识流失以及内乱等社会经济和治理问题使得当前状况雪上加霜。然而，旱地占全球流域面积的15%，支撑着21亿人的生计和粮食安全。

农业面临的现实问题十分复杂。农业部门需要思考如何减少粮食生产面临的各種风险：一方面要改革农业土地和水资源管理模式，建设高效、强健的农业体系，另一方面也要减少对生计、人类健康和生态系统服务造成的不利影响。



气候变化对耕作和土地管理的未来潜在影响

二氧化碳浓度提高表明可能需要转变土地利用模式和土地管理方式，保持/提高作物生产率。

温度升高会使谷物生产向更高纬度区域延伸，加拿大和欧亚大陆北部在此过程中获益明显。然而，在其他地区，如中欧和东欧等传统小麦高产地区，生产率却可能不升反降。

温度升高会给传统的经济作物生产带来不利影响，例如巴西和西非的咖啡，以及马格里布的橄榄；而在东非等其他地区，咖啡种植可能拥有了更好的生长条件。

在一些区域，农民被迫要改变传统的耕作模式，因此就需要考虑替代作物，改变管理方法，包括实施技术转让计划。

增加投入、改善作物管理会带来很多区域的作物增产。

气候变化可能会为增加雨养复种创造机遇，尤其是在热带地区以及部分亚热带地区。

加大投资力度，推动各生态区域之间开展种子和种质交流，以及加强培育抗性更强的作物品种也非常重要，有助于开发出能够抵御未来气温、盐碱化、风量和蒸发量变化的作物和品种。

而在当前主粮作物和细分作物不大会受到气候影响的区域，也有很多方案可供选择，包括替代性的一年生和多年生木本作物，各类牲畜，以及不同的土壤和水资源管理方案。应当分析条件相似生态区和其他社会经济背景下的相关经验，为探索未来的最优土地利用方式提供指导。

社会经济以及生态条件将在很大程度上决定适应方案的可行性，为投资实施最适宜的适应方案提供依据。此种分析和情境开发是土地利用规划的必要工作，涵盖所有利益相关方的参与式方法也不可或缺，包括农民、牧民、渔民和林民，相关的农村社区，以及土地和水资源的其他使用者（水产养殖、养蜂、温室生产、碳生产以及采砂）。

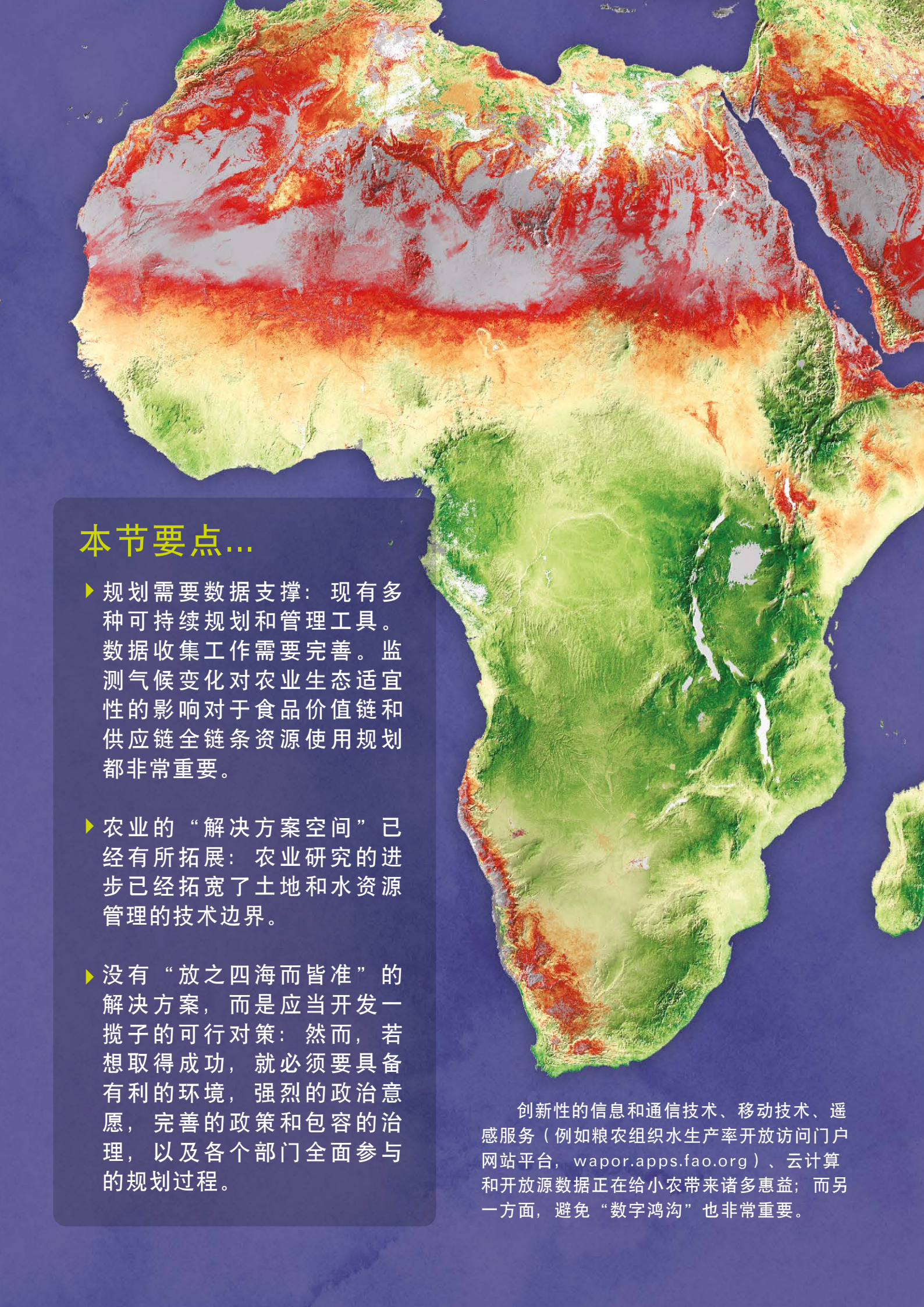




风险应对与行动

《2021年土地及水资源状况》介绍了土地、土壤和水资源状况，分析了规划和投资的动因、风险及机遇。农业生产风险来自于气候的自然变异，以及人为因素带来的改变和压力，包括社会经济进程、政策决策以及制度和金融结构的影响。一部分因素会创造更加有利的环境；也有一些因素会带来压力和限制；某些问题来源于设计，也有一些是由意料之外的行动所致。对这些不同结果的分析不会自动形成目的单一的“处方解决方案”，而是要对土地和水资源“状况”进行通盘考虑，将自然过程和人类行动引导至理想状态，或达成新的平衡。

土地和水资源及其治理模式是粮食体系的基础；理想的粮食体系效率高、有活力、有韧性，能够高效利用资源，并包容其中的生产者以及以此为生的所有人。在四个重点行动领域同时发力，有助于推动向可持续水土管理转型。



本节要点...

- ▶ 规划需要数据支撑：现有多
种可持续规划和管理工具。
数据收集工作需要完善。监
测气候变化对农业生态适宜
性的影响对于食品价值链和
供应链全链条资源使用规划
都非常重要。
- ▶ 农业的“解决方案空间”已
经有所拓展：农业研究的进
步已经拓宽了土地和水资源
管理的技术边界。
- ▶ 没有“放之四海而皆准”的
解决方案，而是应当开发一
揽子的可行对策：然而，若
想取得成功，就必须要具备
有利的环境，强烈的政治意
愿，完善的政策和包容的治
理，以及各个部门全面参与
的规划过程。

创新性的信息和通信技术、移动技术、遥感服务（例如粮农组织水生产率开放访问门户网站平台，wapor.apps.fao.org）、云计算和开放源数据正在给小农带来诸多惠益；而另一方面，避免“数字鸿沟”也非常重要。

4.1 行动领域一： 采纳包容性的土地 和水资源治理模式

有效和包容的治理对于建设有能力、有资源的制度和组织非常重要。然而，改进水土治理需要各部门制定实施协调一致的政策，向多重目标同时发力，包括自然资源管理、权衡取舍，以及相关的生态系统和服务。各个层级的政府和各个政策领域都需要协调一致，因为水资源和土地领域之外的决策也会对自然资源产生较大影响。这种理念也要延伸到跨境资源管理方面，因为水和沉积物都有可能穿越国境。

了解并承认传统与法定土地和水资源权利的关系，以及多元法律体系对于包容性水土权属制度的作用，是实现各类政策和发展目标的基础。有效、高效和包容的土地与水资源政策需要依托多层级治理框架。多利益相关方和多部门工作方法对于实现综合水土管理非常重要，包括同民间社会、科研机构、本地社区、妇女和女童、青年人和私营部门进行互动。

实证表明，恢复退化资源、实现可持续集约化以及增强韧性均可通过全面规划实施多利益相关方综合举措



©粮农组织/Noah Seelam



©粮农组织/Antonello Proio

而成为可能。实现途径多种多样，包括汇水区或流域管理、景观综合管理与恢复、灌溉现代化和气候智能型农业，此外还要辅以长期战略、投资，以及创新性的融资和伙伴关系，确保持续举措，改善生计。

由于制度性或技术性阻碍，且生态相连的资源在管辖范围上并不匹配，因而国家层面的土地和水资源政策及法律框架往往相互脱节，无法落地，或效果欠佳。水资源综合管理承认需要实行系统管理，通常会将整个流域、部分流域或含水层作为一个整体进行考虑；但水资源系统的边界往往无法与政治或行政边界匹配。为实现良好治理，提高用水效率和可持续性，必须出台技术、金融和制度解决方案，并确保行之有效、协调一致的跨部门实施。

关于土地和水（数量和质量）、分布、获取、风险及利用的信息对于有效决策非常重要。实时数字信息可支持政策制定者运用优质、可及、及时和可靠的细分数据，智能技术以及强劲的监测机制，开发出有效的跨部门政策，“不让任何一方掉队”。

在实现国际社会的陆地生物（可持续发展目标15）和可持续水资源管理（可持续发展目标6）目标方面，当前筹资水平仍有较大缺口。要鼓励国际筹资以及公共和私营部门投资，创造更

加有利的环境，探索投资开发环境可持续土地、土壤和水资源的新方法。农民也必须被视作是主要投资者，而不仅仅是补贴和税收保护政策的受益人。

三项主要治理应对措施有助于推动转型，建立起统一、公平的土地和水资源治理框架，推动可持续粮食体系、人类和生态系统发展：

- 所有部门实行协调一致的政策、法律和制度安排；
- 分散治理权力，应对权力差异问题；以及
- 开展适应性治理，保证结构灵活性。

4.1.1 实行协调一致的政策、法律和制度安排

国际公约和高级别政策承诺为多部门、综合性土地和水资源治理提供了强有力的职责和支持，是实现可持续发展目标，以及谈判社会、经济和环境结果的基础。

各类土地和水资源挑战的解决方案要根据具体情况加以甄选和调整，此外还需要各个决策层级出台治理措施，强化制度和能力。在底层层面上，要采



取行之有效的水土资源治理措施，鼓励灵活适应的投资和行为改变。要把可持续的资源和生态系统管理方案转化为长期的大范围行动。

要开发治理安排和工具，以期认识并应对各部门之间的权衡取舍，协调各项经济发展、社会保护和环境保护目标。要通过承认、尊重和落实土地及水资源权属权利，重点突出地减缓水资源分配以及土地和水资源获取方面的不平等现象，尤其是依赖这些资源提供粮食和生计的个体和群体的获取和使用权利。要对脆弱性和风险开展评估，以期避免不利风险。

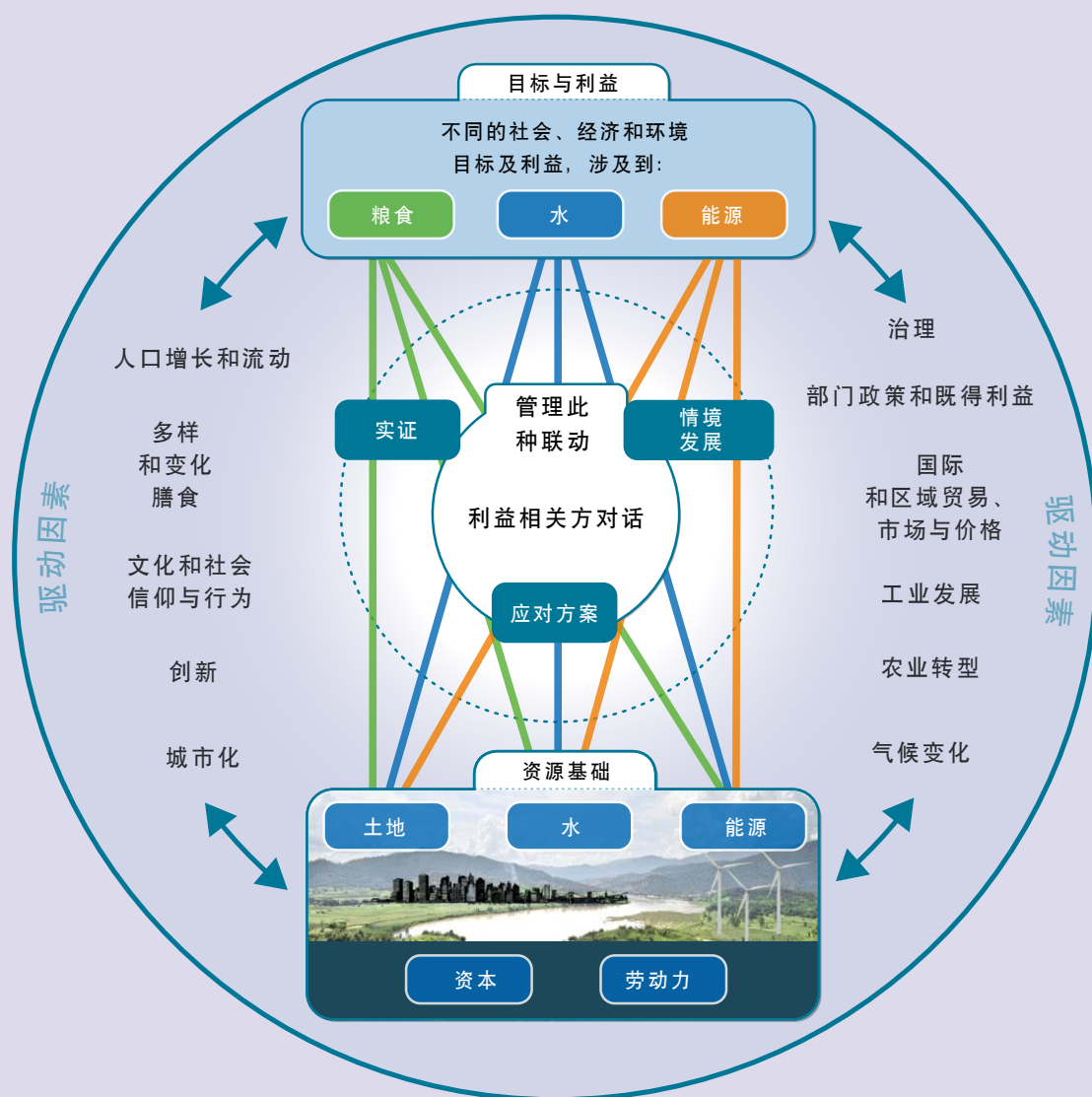
跨部门和地域性工作方法，例如景观综合管理、水资源综合管理以及水-粮食-能源联动，可为完善和实施水土综合治理框架提供宝贵经验，支持更大范围的土地资源和生态系统保持、可持续管理和恢复，推动实现可持续发展目标。然而，这些工作方法需要战略性政策工具，尤其是参与式土地规划、激励机制、可持续筹资以及相应的权力下放机构；需要最先进的诊断、规划和评价工具，一体化数据集，最前沿的数字化管理工具和多利益相关方工作方法。

强化营养和生态系统健康以及可持续、有韧性农业粮食体系的成熟策

越南红河流域的水-粮食-能源联动模式

越南北部红河上游河段的水库调节水流，是越南现代化和工业化战略的主要电力来源。这些水系也同时支撑着生活用水，灌溉着红河三角洲750,000公顷的稻田，对保障社会稳定和粮食安全发挥着重要作用。多数灌溉系统使用电力水泵，由上游水利项目供电。

水资源日益稀缺，能源和农业部门对水资源竞争加剧，而国内却没有对政策有意义的可靠数据和信息来引导水资源配置选择。解决这个问题需要行之有效地开展跨部门磋商，确保将水资源利用和分配决策放在一个综合、长期、多部门战略的背景之下加以考量。



资料来源：粮农组织，2014。

略包括农业生态、保护性农业、有机农业、农林混作以及农牧综合生产系统。

农场内外的土地、土壤和水资源行动正在成为权衡取舍的主要考量因素，目的是协调生产与生态系统管理，提高农业生产率和气候韧性，减少粮食损失和浪费，改变食品消费模式，以及转型成为资源效率更高的粮食体系。

4.1.2 分散治理权力， 应对权力差异问题

分散治理权力、应对权利差异是根据社会经济和生态条件制定政策以及实施惠及贫困人群战略的前提条件。包容性土地和水资源治理需要各个机构、层级和部门之间建立紧密的联系，也需要所有行动方参与进来。要打造对话和共识平台，支持包括边缘群体在内的民间社会有效参与，并同政府和企业进行谈判。此举将确保通过谈判达成的权衡取舍体现公平结果，也支持转型成为可持续的粮食和农业体系。



4.1.3 开展适应性治理， 保证结构灵活性

“科罗尼维亚农业联合工作”是一个里程碑式的项目；项目承认土地是气候解决方案的重要内容，在各项公共政策和治理工具中着重指出并优先考虑了气候相关风险。

环境服务付费等工具可将部分惠益让渡给土地使用者，进而促进采纳可持续、高效率的水土管理及农业粮食体系，刺激进一步投资。

推广实施可持续土地管理和恢复方面的经验表明，要实施各类实质性、针对性的长期激励措施，让从设计到规划等各类利益相关方参与实施和监测。另外，土地权属和使用权利也要加以明晰。

插文S.3

克罗尼维亚农业联合工作 (KJWA)

这项举措将各农业部门的气候适应和减缓政策统一起来，为加强水土治理搭建了平台。克罗尼维亚农业联合工作着眼解决的具体问题包括以下方面：开发用于评估草场和耕地适应、适应共同效益、减缓，以及土壤碳、健康和肥力改善情况的具体方法；改善畜牧管理（包括农牧生产）系统，以及农业部门气候变化的社会经济和粮食安全维度；以及具体实施模式。此外，该进程促进了多利益相关方知识交流，明确了可以推广实施的重要政策和治理工具及良好做法，旨在支持气候智能型农业、生计和粮食安全。

资料来源：《气候变化框架公约》，2018。



4.2 行动领域 二：全面实施综 合性解决方案

国际社会倡导全面可持续的自然资源管理和恢复，包括针对土地、土壤、水的具体方法以及生态系统服务。这些方法有助于确定自然资源系统的关键阈值，形成涵盖技术、制度、治理和资金的一揽子支持计划，进而取得积极的成果。

4.2.1 土地和水资源规划 - 关键的第一步

涵盖所有农业气候区的可持续资源管理是关键的第一步。土地和水资源系统压力可能会削弱落后地区的农业生产率，不同决策层级的水土资源规划将在推动高效可持续资源利用方面发挥重要作用。

当前，有多类资源规划工具和方法支持全球、国家和本地层面的决策者、规划者和从业者围绕各种可持续土地管理方案进行规划，采取行动，



©粮农组织/Giulio Napolitano

推广实施（插文S.4）。缺少数据给有效规划带来局限，但资源规划者还是积极应对挑战，运用遥感、大数据以及创新性的分析方法给规划工作带来革命性的变化。模型在包括所有利益相关方的参与式工作方法中得到了越来越多的运用。模型可用于开发并适应粮食和农业体系，改善经济和社会条件，为本地和国家经济以及公共/私营投资创造多重利好和机遇。

目前有很多新的工具帮助资源规划者了解单产和产量缺口的程度和位

插文S.4

流域综合规划与治理助力推广实施可持续土地管理

卡盖拉河流域跨境农业生态系统管理项目是非洲大陆可持续土地管理战略投资计划在撒哈拉以南非洲实施的36个项目之一。

卡盖拉河流域（布隆迪、卢旺达、乌干达和坦桑尼亚联合共和国）为超过1600万人提供农业、放牧和渔民生计。然而，人口快速增长、农业集约化、农田面积逐步缩减以及不可持续的水土管理模式让资源基础不断退化。

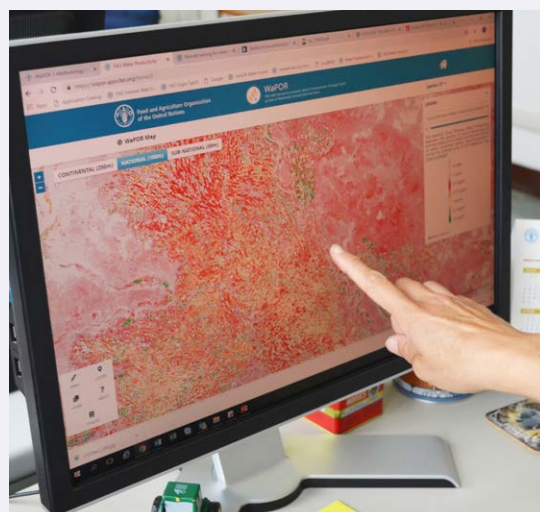
流域规划和管理方法被纳入本地治理战略，借以推动参与式、可持续的土地、水和生物多样性管理。布隆迪和坦桑尼亚联合共和国成立了流域管理小组，负责优先安排并监督实施工作；项目实施后，粮食安全水平提高，资源冲突问题得以解决。在乌干达和坦桑尼亚联合共和国，参与式土地利用规划使得社区和政策认可流域规划结果，并通过农业生态系统综合管理在农业生产率、自然资源、气候、生物多样性、粮食安全和生计等方面实现了好的收效。

资料来源：粮农组织，2017。



置；在很多区域，雨养耕地单产不高，产量缺口明显。例如，在撒哈拉以南非洲，单产水平仅为在增加投入与合理资源管理条件下能够实现单产的24%。受投入少和管理不善影响，显著单产缺口也出现在中美洲，印度和俄罗斯联邦。有效规划能够支持决策者根据需求和投资机会设计有的放矢的干预措施，提高粮食产量。

粮农组织开发的土地资源规划工具包可为参与式土地资源规划提供支持，可以提供信息以及多种工具和方法，为不同区域和部门以及不同层面上的利益相关方提供帮助。该工具包为网络化工具，可以免费获取，会定期更新，提供了摘要介绍，以及粮农组织和其他机构开发的各类土地资源规划工具和方法链接。



粮农组织水资源工具包括水资源核算和审计、集水、模块化耕作系统、非传统式水资源规划，包括早期预警系统在内的干旱工具包，AquaCrop（水生作物），环境流量工具，以及综合渔



业与灌溉制度、旨在提高效益并增强可持续性的综合渔业系统。

土地和水资源管理也需要被纳入灾害风险管理计划、洪涝干旱管理计划、国家适应计划以及《巴黎协定》下满足国家自主贡献的各类计划。

4.2.2 提供一揽子可行方案

私营部门主体多元，从小规模农民，到参与食品价值链上加工、储存、运输和营销等环节的主体，包括其各自的供应商，可为应对土地和水资源挑战创造良好契机。他们的技术选择，业务地点选择，环境管理和社会责任行为都会受到关注，也能够提供更多的举措和良好做法范例，包括认证和企业披露制度。

粮农组织通过可持续集约化和气候智能型农业帮助各成员适应未来的需求增长，和有限的水土资源。可持续集约化包括提高资源利用效率，优化外部投入，减少粮食生产的不利环境影响，缩小当前表现欠佳的农业土地的单产缺口，以及利用改良作物和畜牧品种。气候智能型农业旨在提高农业生产率和收入，适应气候变化并建设韧性，减少温室气体排放。

《2018年世界水资源开发报告》侧重于基于自然的解决方案。此类解决方案可作为有力策略，鼓励农业部门将投资转向生态系统服务，为应对水资源管理、土壤恢复、生物多样性和保护方面挑战提供经济有效的长期干预措施。

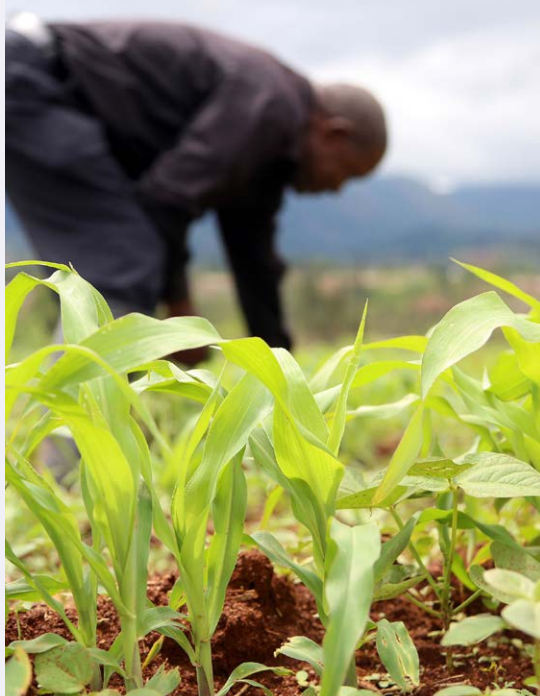
水土综合管理方法为信息及通信技术与产品加持，功能更加强大。即便简单如移动电话，也是跨领域、多利益相关方土地管理的重要协调途径，可为推广实施扫清很多障碍（插文S.5）。气候智能型计划可将设计精密的环境或虫害防治内容带给田间用户。

可通过知识型方法认真对待土地和土壤、负责任地管理水资源，特别是要通过景观或环境服务方法有的放矢地实施活动。

农业的“解决方案空间”已经有所拓展：农业研究的进步已经拓宽了土地和水资源管理的技术边界。基于自然的解决方案可与虫害防治、作物物候学和土壤生物多样性结合起来，大规模实施，减少环境压力的逐步累积。

提高土地和水资源生产率对于实现粮食安全、可持续生产和可持续发展目标都非常重要。很遗憾，解决这些问题并无放之四海而皆准的方法。可运用“一揽子”可行解决方案提高粮食产量，应对土地退化、日益缺水和水资源质量下滑带来的主要威胁。然而，若想取得成功，就必须要有有利的环境，强烈的政治意愿，完善的政策和包容的治理，以及各个部门全面参与的规划过程。





农业部门气候变化影响适应和减缓措施是一整套综合措施的部分内容。这套综合措施涵盖从着眼处理脆弱性动因到明确评估气候变化影响等方方面面的考量。

4.2.3 避免并扭转土地退化趋势

人为土地退化需要重点关注，但过去这个因素往往都被忽略了。很多情况下，人为土地退化都是可以避免，可以逆转的。可持续土地管理等方法着眼于土地人为退化挑战，同时管理土壤水分、植物生长和相关生物多样性；此类方法对于满足全球粮食安全目标以及可持续发展目标非常重要。这些方法要纳入主流并推广实施，另外还要辅以有效的政策和金融机制。研究表明，恢复成本不到不作为成本的1/3，而避免退化的成本通常会远低于恢复成本。

土地退化中性是指土地面积和质量能够支持生态系统功能，有助于改善粮食安全水平；此种状况能够帮助政府应对退化挑战，基于避免>减缓>逆转土地退化的原则设定目标和计划干预措施。

《世界水土保持技术和方法纵览》（《纵览》）作为一套知识系统，可为可持续土地管理和土地退化零增长举措的实施提供参考。《纵览》系统包括多种技术和方法，例如集水、水土保持、雨养和灌溉农业、畜牧和农牧管理、汇水区管理，以及气候适应和减缓。

4.3 行动领域三：拥抱创新技术和管

目前，农业部门的技术应对措施主要着眼于显著改进土地、土壤和水资源管理。移动技术正在快速普及，创新性农场机械化也是如此。围绕作物、自然资源、气候条件、投入和市场的遥感服务、云计算和开源数据已经将小农纳入了数字化创新农业粮食体系，使其从中受益。插文S.5介绍了一个此种案例。要注意避免新技术资源获取渠道不一的人群出现“数字分野”。可持续土地管理和气候智能型农业可与土地、土壤及水资源管理结合，广泛实施，进而维持产量水平。



插文S.5

信息及通信技术的发展帮助小规模稻农把握作物多元化机遇

信息及通信技术、遥感、大数据等技术进步可加强政策和战略的针对性和成本效益。目前有多种知识和移动电话应用可以支持农民和牧民提高生产率，防范相关的环境风险，确保可持续土地和水资源管理。在亚洲，运用相关应用实时识别休耕稻田就是一个很好的例子；此种应用为充分利用休耕土地推动作物多样化创造了有利契机，例如种植粮食豆类，施用营养物质解决土壤和植物营养不足的问题，以及减少农业化学品，此外还可支持气候预测。

资料来源：Biradar等，2020。



©粮农组织/Hoang Dinh Nam

4.3.1 应对问题土壤

土壤盐碱化每年夺走约150万公顷耕地。放任土壤盐碱化继续发展代价很高。应对盐碱问题以及盐化土壤流失现有多种方案，土壤对于干旱和半干旱环境的未来粮食安全至关重要。除传统的土壤淋溶外，还有一种选择是接受含盐排水，选择耐盐作物，采用适当的耕作模式和管理方法，进而开发生物盐化农业。若在汇水区或景观层面上进行规划，这种适应方法便可减少环境退化，恢复旱地生态系统。

农业部门要承担起管理环境风险的责任，减少使用化学投入品，减少土地上的动物粪便。这项工作目前是全球重点关注的领域。病虫害综合防治以及《肥料可持续使用和管理国际行为规范》（《肥料规范》）可用于遏制一些不利趋势，包括不可持续农业集约化，以及肥料、农药和除草剂的用量增加和有害影响。《肥料规范》为应对肥料使用不当、使用不足和使用过量问题提供了指导，同时也考虑了营养物不平衡和土壤污染等问题。

4.3.2 应对缺水和干旱

雨养农业占耕地面积的80%，全球粮食和纤维产量的60%。提高产量、增强韧性需要优化土壤和水资源利用，改进雨水收集，增强土壤蓄水能力，增加渗透，减少地表径流和蒸发。土壤含水量对于土壤健康和功能非常重要，有助于封存有机碳，阻止含碳土壤干硬或增加排放量。

淡水资源稀缺导致水利灌溉再获关注，灌溉用水占到淡水提取总量的70%，淡水消耗总量的90%。新的规划、设计和评价技术，如水资源核算

©粮农组织/Benedicte Kurzen/NOOR





与审计，信息及通信技术以及自动化，正在推动当前制度的现代化进程，同时也在催生新的设计。关注重点正在由定义模糊的用水效率转向提高水资源生产率，切实节约水资源，以及满足农民对更灵活、更可靠供水的需求。

蓄水可以作为缓冲手段，支持应对气候不确定性和气候变异，管理供需动态，以及建设气候变化韧性。全球范围内，蓄水量在不断减少，但这个趋势需要逆转。当前，很多地方正在由传统的基础设施带动模式，转向蓄水管理，以及肯定所有不同类型的蓄水模式（自然和人造）。相较于地表水和地下水的联合使用，地表蓄水和地下蓄水设施的联合管理有望摊薄风险，提供更多类型的社会和环境效益。

多数国家仍将干旱置于与洪涝和地震同样的自然灾害类别之内。此种分类既浪费了宝贵的资源，也无助于培育面对未来冲击的韧性。采用风险管理模式可以显著减少干旱风险和影响。目前正在部署“三轴联动”的工作方法，即投资建设监测和早期预警系统，开展研究评估干旱脆弱情况，以及采取行动减少不利影响。

绿色基础设施和基于自然的解决方案利用基于生态系统的方法防范洪涝灾害，有助于减少洪泛风险。当务之急是恢复洪泛平原，而非建设堤坝。绿色基础设施可为社会带来多重惠益，包括

避免洪涝损失，改善生物多样性，改善水质，增加休闲场景。

基于自然的解决方案可以防范农业、城市、水文地貌以及森林环境中的河流洪泛。农业措施旨在管理径流，减少洪泛风险。森林措施旨在通过截断地表溢流，或鼓励渗透和土壤蓄水来管理林地。水文地貌干预措施包括湿地和洪泛平原恢复与管理，人为设置河道弯曲，重新调整河床等级，以满足开发前的河流能量梯度。

循环经济理念对于农业用水管理和更加宽泛的粮食体系来说同等适用。循环经济可为非传统水资源的利用创造机遇，如盐水和咸水，农业排水，含有有毒物质和沉积物的水，以及污水排水。农业系统内循环利用的其他方面包括营养物回收，再造土壤健康，以及减少雨养和灌溉系统中使用的不可再生能源、材料和投入品。

4.3.3 农场之外的考量

农场和粮食体系之外的很多行动都会直接影响土地、土壤和水资源管理，也正日益成为主流考量。此类行动包括平衡农业生产与生态系统管理，针对耕地和草场采取再生性措施，提高农业生产率，减少粮食损失和浪费，尝试改变粮食消费模式，以及旨在提高资源使用效率的循环粮食体系。在不同景观



和社会环境中采纳先进的农业体系可以带来多重利好，能够创造不同的产品、就业、稳定生计，以及营养可持续膳食，维持资源和健康运转的生态系统，推动温室气体减排，增加碳封存潜力。

旨在促进可持续粮食体系、粮食安全和营养的创新方法可调整适应，运用在不同的土地和水资源背景之中。这些方法可从多个方向切入，例如农业生态方法、保护性农业、有机农业、农林混作、农牧综合系统、气候智能型农业和可持续集约化。2021年粮食体系峰会认可了此种多部门地域性方法对于推广良好做法的重要性。

自2000年以来，作物品种与牲畜性状培育方面取得了可喜的进展。这些进展非常重要，有助于提高单产，并增强对干旱、积水、寒冷和盐碱等各种压力的耐受程度；此外，在适应气候变化，以及补充现有解决方案，如增加用水，更多地使用农业化学品和农业机械化方面，也变得越来越重要。遗传修饰作物仍是长期辩论的焦点议题，主要涉及对生物多样性、人类和环境健康的风险，以及惠益共享。

减少粮食损失和浪费前景最被看好，此项措施有助于改善粮食安全，降低生产成本，减少自然资源压力，增强环境可持续性。可持续发展目标具体目



©粮农组织/Giulio Napolitano

标12.3呼吁：到2030年，将零售和消费环节的全球人均粮食浪费减半，减少生产链和供应链上的粮食损失。

要建设循环粮食体系，克服当前（主要为线性）经济模式的低效问题，即提取自然资源生产产品，使用一定时间之后将产品作为垃圾进行填埋。据估测，全球粮食体系年均成本高达1万亿美元。此种模式的替代选择是在农村聚居区和城市周边就近耕作，实行再生式粮食生产，利用自然过程而非化学品，循环利用，减少浪费和污染，改善影响，推广可持续膳食。

旱地农村社区经过几代人的努力，开发出了适应干旱、半干旱和半湿润条件以及旱灾风险的农业系统和耕作模式。他们依赖有限的土地和水资源，基于生长季较短的耐旱作物，以及湿地和冲积平原周边消退的洪水，开发了农牧混作系统。他们可为当前因气候变化而面临缺水 and 干旱的国家提供经验、教训和知识。

4.4行动领域 四：投资推动长期可持续发展

要重新审视农业投资，支持雨养和灌溉农业中的水土资源综合管理，重视政策协调一致。人为因素退化和不作



©粮农组织/Marco Longari

为带来了巨大成本，突出表明当前亟需增加可持续土地、土壤和水资源管理以及恢复退化生态系统方面的投资，包括在重点流域和面临风险的生态系统实施可行的水土管理技术，推行综合景观方法。2020年初新冠病毒（COVID-19）暴发后出现的一系列问题也要纳入未来投资范畴，这些问题暴露了全球供应链的脆弱性，而且仍在持续造成破坏。

农业部门国际投资的主要范围包括了农业发展与治理、灌溉和排水改善、水资源管理、气候变化，以及一定程度上的土地和水资源管理。很多项目还着眼于改善农业企业，关注经济或环境维度，或侧重减贫和社区开发。传统供资主要目的是提高农业效率，寻找比较优势；这意味着，缺水地区对粮食自给率的重视程度不及生产高价进出口作物的地区。

因此，需要通过改进治理、大规模综合干预以及管理和技术创新等方式，由基础设施解决方案和增加产量，转向培育雨养和灌溉系统的可持续生产率。

投资实施大范围综合性干预措施潜力很大，还可辅以创新性的筹资和激励机制。公共投资有助于加强生产者协会、监管部门以及应用研究的能力。当前可以实现的重要目标是建设有效的土地和水资源治理框架，鼓励负责任投资，推动采纳适合可持续水土措施的创新管理和技术。这就需要了解部门之间的权衡取舍，农业、森林和城市的用水用地冲突，以及通过避免毁林、加强碳封存来减少温室气体排放的迫切需要。

私营部门投资要对发展银行和环境基金的投资形成补充。政府可鼓励消费者、非政府组织和企业在水土管理和可持续粮食及农业体系方面采取负责任投资模式。

农民和本地社区也是重要投资人，因为生产率提高有助于维持生计，改善收入。鼓励农民成为可持续土地和水资源管理的投资人可以带来方方面面的环境效益。然而，农民可能需要创新筹资和工具予以支持，以便协调生产与环境管理。当前有很多收效甚好的工具，例如基于社区提高土地和水资源生产率，支持建设小规模基础设施，以及获取小微信贷。

最后，需要强调的是数据和信息管理方面需要补充性投资，以期加强所有生产者、市场和监管部门之间的联系，创新技术和科研方面的投资也不可或缺，尤其是可再生能源系统和遗传应用。早期预警系统和绩效监测也会改进农场决策，而关于不利环境和社会影响的信息有助于引导负责任投资。



©粮农组织/Olivier Asselin



《2021年 土地及水资源 状况》的主要结论

人口不断增长，全球粮食体系日趋复杂，土地和水资源系统勉强能够满足由此产生的需求。生产性土地面积的扩大空间极小，而98%的粮食都出产自土地。若要系统持续运转，就必须保障环境完整性。

当前的集约化模式不可持续：水土资源的过度使用已将系统生产能力逼至极限，造成了土地和环境服务的严重退化。预计气候变化将会增加蒸散，改变降雨量和降雨分布，导致土地/作物适宜性发生改变，河流径流与地下水补给出现更大的变异。

同时，耕作制度也呈两极化格局。大规模商业农场垄断了农业用地，而数百万生计型小农只能固守着易于退化和缺水的土地。水资源匮乏威胁着数百万贫困人口的粮食安全，而地下水耗竭则进一步加剧了农村人口的脆弱。



©粮农组织/Lou Dematteis



©粮农组织/Travis Bekke



©粮农组织/Oliver Thullier



©粮农组织/Iwa Baidari



©粮农组织/Giulio Napolitano



农业面临的社会挑战和环境风险不断增多。土地和水资源压力主要来自农业内部，也有一部分来自更加宽泛的粮食体系；农业粮食体系温室气体排放量大，同时还排放各种土壤和水污染物。人为因素造成的土地退化、土壤侵蚀、盐碱化和地下水污染过程缓慢，不会被视作紧迫风险，但产生的影响却深远且持久。水土管理对于农业温室气体减排至关重要。

然而，尽管面临种种压力，土地退化的趋势却无法逆转。修复性土地管理措施可以实施，但必须依托有效改革之后的土地和水资源治理框架，要大范围采取修复行动，将惠益分享给需要长期稳定获取生产性土地和淡水资源的人们。

毋庸置疑，农业的“解决方案空间”已经有所拓展。农业研究的进步已经拓宽了土地和水资源管理的技术边界。信息技术的快速发展为数字民主提供了很好的前景；然而，若要大规模实施相关解决方案，土地和水资源治理就要进行调整，确保发展过程的包容性，为农民提供创新支持。

转变粮食体系满足未来需求的任何进步都需要重视土地资源规划，要对土地、土壤和水资源开展分析，并辅以贫困和粮食安全监测。现有多种可持续规划和管理工具。数据收集和信息传播工作需要改进。监测气候变化对农业生态适宜性的影响对于整条食品价值链和供应链上的资源使用规划都非常重要。

通过跨部门综合性工作方法实施各项规划无需过于复杂：工作方法可以直观易行，而解决方案需要各部门密切合作。农民和资源管理者要对风险保持更高的认识，与规划人员共同设计应对措施，制定应急预案。

面向农业的支持需要调整方向，确保在农业自然资源基础长期稳定和农民生计方面取得理想的效果。积极谋划遏制土地退化和水资源匮乏之道，加之减缓和适应方面高瞻远瞩的气候融资，有可能带来一线生机。农业项目渐进式、分阶段筹资仍有开发空间，可与重新定向的补贴政策联系起来，确保土地和水资源系统正常运转。

最后，没有“放之四海而皆准”的解决方案，而是应当开发一揽子的可行对策：若想取得成功，就必须要有有利的环境，强烈的政治意愿，以及包容的土地和水资源治理。

参考文献

- Biradar, C., Sarker, A., Krishna, G., Kumar, S. & Wery, J. 2020. Assessing farming systems and resources for sustainable pulses intensification. Paper presented at *Pulses the climate smart crops: Challenges and opportunities (ICPulse2020)*, Bhopal, India.
- Coppus, R. forthcoming. *Global distribution of land degradation*. Thematic background report for SOLAW 2021. Rome, FAO. (also available at <https://www.fao.org/land-water>).
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2014. *The water-energy-food nexus: A new approach in support of food security and sustainable agriculture*. Rome. 28 pp. (also available at <https://www.fao.org/3/bl496e/bl496e.pdf>).
- FAO. 2017. *Watershed management in action: Lessons learned from FAO projects*. Rome. 170 pp. (also available at <http://www.fao.org/3/i8087e/i8087e.pdf>).
- FAO. 2018. *The future of food and agriculture: Alternative pathways to 2050*. Summary version. Rome. 64 pp. (also available at <http://www.fao.org/3/CA1553EN/ca1553en.pdf>).
- FAO. 2019. GLOSIS - GSOCmap (v1.5.0). Global soil organic carbon map. Contributing countries. In: FAO [online]. <http://54.229.242.119/GSOCmap/>
- FAO. 2020a. FAOSTAT. In: FAO [online]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- FAO. 2020b. *Global forest resources assessment 2020: Main report*. Rome. (also available at <https://doi.org/10.4060/ca9825en>).
- FAO. 2020c. *The state of food and agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture*. Rome. 210 pp. (also available at <https://www.fao.org/3/cb1447en/cb1447en.pdf>).
- FAO. 2021a. *Global map of salt-affected soils, v1.0*. Presented at the Global Symposium on Salt-affected Soils. (also available at <https://www.fao.org/events/global-symposium-on-salt-affected-soils/en>).
- FAO. 2021b. *The share of agrifood systems in total greenhouse gas emissions: Global, regional and country trends 1990–2019*. FAOSTAT Analytical Brief Series No. 31. Rome. 12 pp. (also available at <https://www.fao.org/3/cb7514en/cb7514en.pdf>).
- FAO AQUASTAT. 2021. FAO's global information system on water and agriculture [online]. [Cited 23 February 2021]. www.fao.org/aquastat/en/
- FAO & IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis). 2021. *Global agro-ecological zones v4.0 – Model documentation*. Rome. (also available at <http://www.fao.org/nr/gaez/publications/en/>).

- FAO & UN-Water.** 2021. *Progress on level of water stress: Global status and acceleration needs for SDG indicator 6.4.2*. Rome. 96 pp. (also available at <http://www.fao.org/3/cb6241en/cb6241en.pdf>).
- Lowder, S.K., Sánchez, M.V. & Bertini, R.** 2021. Which farms feed the world and has farmland become more concentrated? *World Development*, 142: 105455.
(also available at <https://doi.org/10.1016/J.WORLDDEV.2021.105455>).
- Tang, F.H.M., Lenzen, M., McBratney, A. & Maggi, F.** 2021a. Risk of pesticide pollution at the global scale. *Nature Geoscience*, 14(4): 206–210.
(also available at <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00712-5>).
- Tang, F.H.M., Lenzen, M., McBratney, A. & Maggi, F.** 2021b. Global pesticide pollution risk data sets [online]. <https://www.nature.com/articles/s41561-021-00712-5>
- Tuan, H., Nachtergaele, F., Chiozza, F. & Ziadat, F.** forthcoming. *Land suitability for crop production in the future*. Thematic background report for SOLAW 2021. Rome, FAO.
(also available at <https://www.fao.org/land-water>).
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change).** 2018. *Decision 4/CP.23*. FCCC/CP/2017/11/Add.1. (also available at <https://undocs.org/en/FCCC/CP/2017/11/Add.1>).
- USDA (United States Department of Agriculture).** 2021. International agriculture productivity [online]. <https://www.ers.usda.gov/data-products/international-agricultural-productivity/>

世界粮食和农业领域 土地及水资源状况：

系统濒临极限

概要报告 2021

满足日益增长的粮食需求在世界范围内给水、土地和土壤资源造成压力。农业可为减轻这些压力贡献力量，助力实现气候和发展目标。可持续农业模式能够直接改善土地、土壤和水资源状况，产生生态系统惠益，减少土地来源的排放。实现上述目标需要精准的信息，更需要我们大刀阔斧地改革资源管理模式；此外还需要自然资源管理范畴之外的补充力量，以便协同增效，权衡取舍。

2021年版《世界粮食和农业土地及水资源状况》旨在介绍土地和水资源现状，着重指出风险，梳理相关机遇和挑战。此外，报告还强调了适当政策、机制与投资的重要作用。近期开展的评估、预测和情境分析表明，水土资源消耗加速，生物多样性损失愈加严峻。2021年版《土地及水资源状况》着重分析了土地、土壤和水资源的相关风险和发展趋势，提出了解决用户竞争、实现预期惠益的途径。报告介绍了最新的知识内容，提出了一整套应对措施和行动，可以帮助决策者做出合理决策，推动由退化和脆弱转向可持续和韧性发展。

#SOLAW/2021

ISBN 978-92-5-135419-3



9 789251 354193

CB7654ZH/1/12.21

