

基于自然的 气候变化解 决方案

手册

评估各国基于自然的减缓机遇
的技术指南

作者和致谢

作者： Sara M. Leavitt, Susan C. Cook-Patton, Laura Marx, C. Ronnie Drever, Vanessa Carrasco-Denney, Timm Kroeger, Diego Navarrete, Zeng Nan, Nisa Novita, Anjelita Malik, Kate Pelletier, Kelley Hamrick, Beatriz Granziera, Chris Zganjar, Juanita Gonzalez, Peter Ellis, John Verdieck, María F. Ordóñez, Catalina Gongora, and Juliana Del Castillo Plata

撰稿人： Wang Longzhu, Subarno, Deissy Arango, Ryan Gil, Pathanchali Premachandra, Joe Fargione, Stefanie Simpson, Zhang Xiaoquan, Huo Li, Adrienne Egolf, Dan Majka, Tyler J. Lark, Seth A. Spawn-Lee, Miguel Castro, and Chandra Agung Septiadi Putra

审稿人： Lynn Scarlett, Allison Lewin, Jennifer Tabola, Fernando Veiga, Jill Blockhus, Dong Ke, Sarah Gammage, Claudia Vasquez Marazzani, Herlina Hartanto, Christopher Webb, James Lloyd, Stephen Wood, Dick Cameron, Rose Graves, Catherine Macdonald, Bronson Griscom, Jesse Gallun, Juan Sebastian Sánchez Hernandez, and Will McGoldrick

编辑： Anna Funk

设计： .Puntoaparte Editores

鸣谢： 本指南的编写受到挪威国际气候和森林倡议 (NICFI) 和挪威发展合作署 (Norad) 的资金支持, 但其中表达的观点不一定反映 NICFI 或 Norad 的观点。贝索斯地球基金和哥伦比亚国家石油公司也为本指南的编写提供了额外的资金支持。作者对全球参与本指南研究的合作伙伴和协作者表示感谢。

本文件的大部分内容是在新冠疫情期间编写的。作者谨对参与出版本文件的整个团队所作出的奉献及在这极具挑战的时刻给予他们支持的人表示衷心的感谢。我们在此向因疫情而逝去的众多亲人致敬。

请将此文件引用为：

Leavitt, S. M. et al. (2021). 基于自然的气候变化解决方案手册：评估各国基于自然的减缓机遇的技术指南。大自然保护协会, 美国弗吉尼亚州阿灵顿市。

第二版

本指南有印尼文、英文、法文、中文、葡萄牙文、西班牙文和斯瓦希里文版本。

Cover Photo: Young fern plant in the forest of Laohegou Nature Reserve, Sichuan Province, China. © Nick Hall/TNC

1. 什么是基于自然的气候变化解决方案6

自然在实现国家自主贡献目标中的作用7	基于自然的气候变化解决方案原则10
关于本指南9	NCS路径12

2. 界定范围16

确定目的与受众17	路径界定21
确定评估的尺度17	背景调研23
确定优先路径18	

3. 数据收集25

建立基线26	选择时段32
确定NCS路径的规模27	考虑气候反馈33
计算温室气体通量31	描述成本34

4. 完成分析35

估算减缓潜力36	核算未来的成本变化:贴现方法39
量化不确定性36	下一步工作40
纳入成本:边际减排成本曲线37	

5. 国家案例研究42

加拿大44	印度尼西亚64
中国50	美国71
哥伦比亚56	

附录77

成本估算78	气候公正86
协同效益80	术语表89
碳抵消84	补充资料91

基于自然的气候变化解决方案

手册

作者和致谢2
基于自然的气候变化解决方案(NCS)相关缩略语和单位5
参考资料94

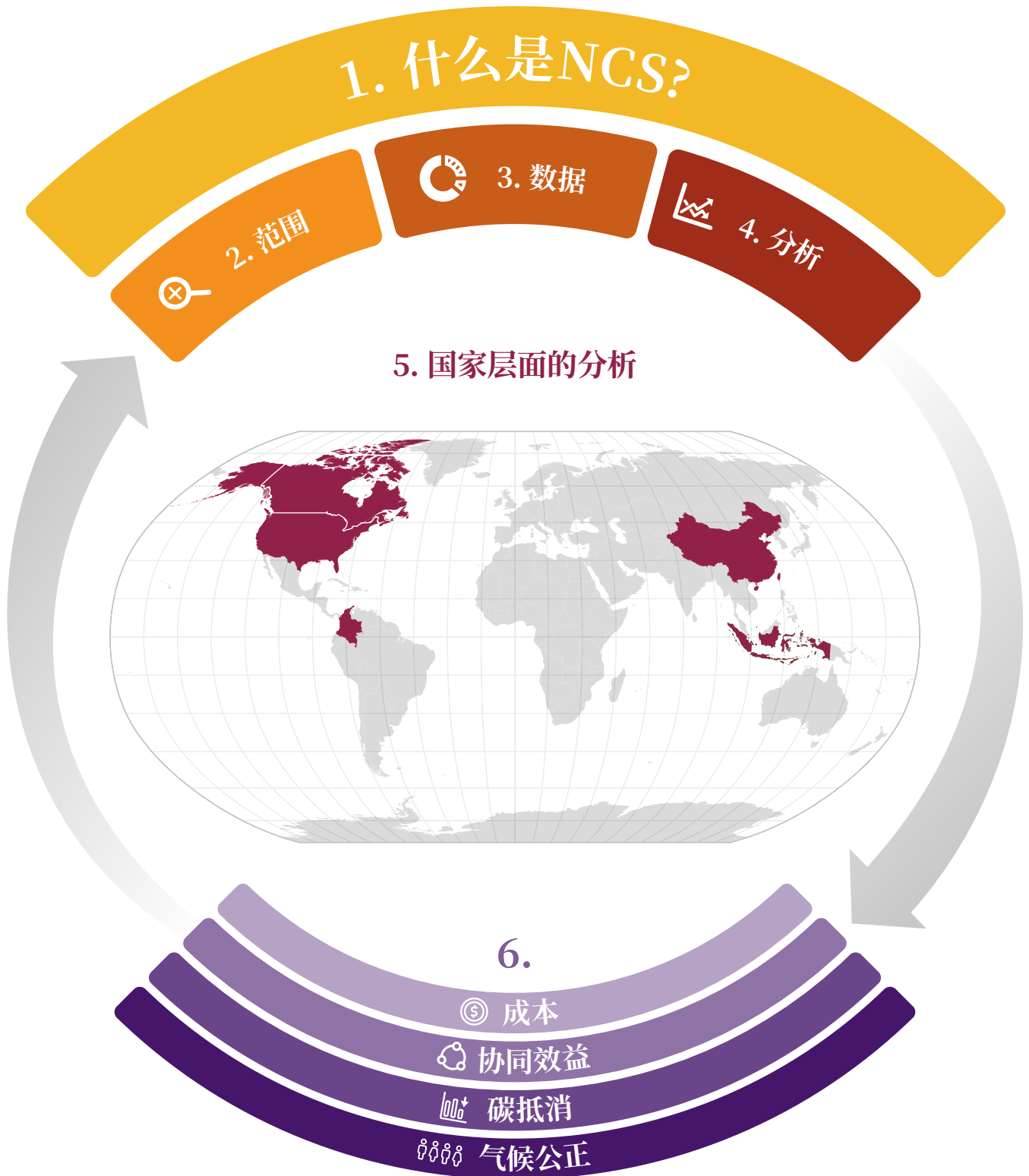


图 1: 目录图示 - 流程

基于自然的气候变化解决方案(NCS)相关缩略语和单位

通用缩略语

AFOLU	农业、林业及其他土地利用
GHG	温室气体
IPCC	政府间气候变化专门委员会
LULUCF	土地利用、土地利用变化和林业
Nbs	基于自然的解决方案*
NCS	基于自然的气候变化解决方案*
NDC	国家自主贡献*
REDD+	减少因毁林和森林退化所产生的排放*
UNFCCC	《联合国气候变化框架公约》


*本手册所附《术语表》中包含这些术语的具体定义。

通用单位缩写和换算

 **ha** = 1公顷 = 10,000m²

Mha = 100 万公顷

km² = 1平方公里 = 100公顷

 **t** = 11 吨 (tonne) **Mg** = 10⁶ 克

Mt = 1百万吨 **Tg** = 10¹² 克

Gt = 10亿吨 **Pg** = 10¹⁵ 克

相关温室气体

C与CO₂ 碳(C)是地球上最丰富的元素之一,也是所有地球生命的基础。二氧化碳(CO₂)分子由一个碳原子和两个氧原子组成。空气中的二氧化碳通过光合作用被植物吸收并储存于碳基有机化合物内。它是一种长期存在于大气中的主要温室气体,主要通过人们在土地利用活动中燃烧有机物质或有机物的自然分解,以及燃烧化石燃料等活动排入大气。

CO₂e 为便于比较,我们按不同温室气体对全球变暖的影响潜力将二氧化碳以外的其他温室气体折算成二氧化碳当量(定义见本手册后附《术语表》);折算方法参见第31页“将温室气体折算成二氧化碳当量(CO₂e)”。

CH₄ 甲烷是通过工业活动、废物管理以及牲畜和湿地等自然生态系统排放,对温室效应的形成贡献极强的一种温室气体。

N₂O 氧化亚氮主要由工业活动和化肥使用等农业活动排放,也是一种对温室效应的形成贡献极强的温室气体。

NO_x 氮氧化物泛指多种氮氧化物,包括含氮间接温室气体二氧化氮(NO₂)和一氧化氮(NO);氮氧化物主要通过燃烧化石燃料和生物质燃料而排入大气。

NH₃ 氨主要产生于畜牧业和使用化肥等农牧业活动并被排入大气,是一种可影响氮循环的重要的短时污染物。

1.

什么是基于自然的气候变化解决方案



Scenic view in East Kalimantan, Indonesia. © Nick Hall/TNC

自然在实现国家自主贡献目标中的作用

《巴黎协定》倡导国际社会承担起减缓全球变暖的责任,其目标是将升温控制在 2°C 内,并争取将其控制在 1.5°C 内^[1]。

为实现这些目标,各国需要立即采取行动以大幅减少温室气体(GHG)排放,增加碳汇和碳储量。为此,人类需要深入检讨我们对待地球的方式,并调整我们的土地利用决策,确保我们能利用土地管理领域存在的多种减缓机遇。采取相应的行动以避免灾害极具挑战性,但为全世界众多物种和生物群落的存续,我们能做且也必需这样做。

2017年,大自然保护协会(TNC)在其牵头实施的一项研究中发现,土地管理领域在促进生物多样性保护和促成联合国可持续发展目标(SDGs)^[2]的同时,还有潜力促成“在2030年前将全球升温控制在 2°C 以内”这一目标,其成本有效的减排潜力高达三分之一。本手册编者将这套全球变暖减缓战略称为“基于自然的气候变化解决方案”,简称NCS。NCS的要点是:**保护、修复和可持续地管理自然和人工生态系统,以达到在森林、湿地、草地和农田生态系统中避免温室气体排放或增加碳汇功能(或二者并用)的目的**^[2]。

近200个《巴黎协定》缔约方已做出努力减缓气候变化的承诺,即“国家自主贡献”承诺。这些承诺会定期更新,每次更新都旨在通过提高雄心来逐步缩小在基线情景下的排放量与维持一个稳定气候所需减排量之间的差距。**NCS战略或路径其实是一系列“增量行动”,即为实现并超过其气候承诺目标,各国所能采取的超越基线情景的额外行动。NCS不能替代能源领域的“脱碳”行动,而只是帮助各国实现并超过其减排目标所实施的脱碳行动外的一种补充方式。**

国家自主贡献中的基于自然的气候变化解决方案

自《巴黎协定》生效以来，各国的气候目标及计划已显著提高。当各国在2015年首轮提交国家自主贡献目标时，很多国家在其目标中列入了“土地利用、土地利用变化和林业”相关内容，但仅有70个国家（约三分之一）列入了量化目标^[3]。这一差距显示出一个重大机遇—各国国家自主贡献中“基于自然的气候变化解决方案”行动和目标在数量和质量上还能提高。截至2020年12月，已有75个国家提交了新制定或更新后的国家自主贡献目标^[4]。其中，48个国家提供了量化的土地利用、土地利用变化和林业的气候减缓目标，比如：

- 截至2030年的绝对温室气体排放量和清除量的水平；
- 截至2030年，在无外力介入情况下的排放水平上的相对减排量百分比；

- 截至2030年森林覆盖面积占全国土地总面积的百分比。

虽然越来越多国家正在考虑将NCS纳入其国家自主贡献行动或已采取相应行动，但几乎没几个国家为此制定专项计划，以充分利用成本有效的NCS潜力来实现其国家自主贡献目标。然而，若不在土地管理领域采取具体行动，则大多数国家都无法实现其气候减缓目标。

此外，未来的国家自主贡献目标需要更加宏大。最近公布的《联合国气候变化框架公约综合报告》^[4]显示，与2010年的水平相比，到2030年的预测减排量仅减少了1%。而政府间气候变化专门委员会已指出，若要实现升温不超过1.5°C^[5]的目标，则需达到45%左右的减排量。与此同时，截至2021年7月，131个温室气体排放量占全球总量73%的国家已采用或正在考虑采用“净零排放目标”^[6]。在目标持续升高的同时，若按当前政策推进行动，则预计升温仍会远高于1.5°C。



Dawn on the salt marsh at TNC's Lubberland Creek Preserve in Newmarket, New Hampshire, U.S. © Jerry and Marcy Monkman/EcoPhotography

现在正是采取行动的时候。2030年以后,利用NCS控制升温的潜力可能会降低,而到2050年后则会急剧下降^[2]。这一变化的原因有二:气候变化的影响将逐渐减弱生态系统的韧性水平,在许多情况下则是降低其固碳和储碳能力。同时,若现时排放水平继续增加而不加干预,则NCS的相对影响力将会下降(见图2)。

几十年来,国际社会一直在设定各种气候变化减缓目标—现在是开始实现这些目标的时候了。本指南专为有意寻求基于自然的气候减缓方法的人士编写;我们将向读者提供分步操作指引,帮助他们评估在其国家或地区借助自然减缓气候变化的潜力。

关于本指南

开展NCS评估将有助于确定在各种尺度的区域和景观上最有减缓潜力的土地管理行动。在过去五年里,大自然保护协会及其合作伙伴已在全球完成了一系列的NCS评估。我们开发本指南,以便把来之不易的经验教训与同行分享;这些经验教训由我们的科学家和自然保护从业者分析而得。除我们的同事获得的集体经验外,我们还深入研究了相关科学文献,以便为本指南收集尽可能多的最佳实践方法,为各类技术工作者和决策者界定NCS评估的范围和开展NCS评估提供支持。

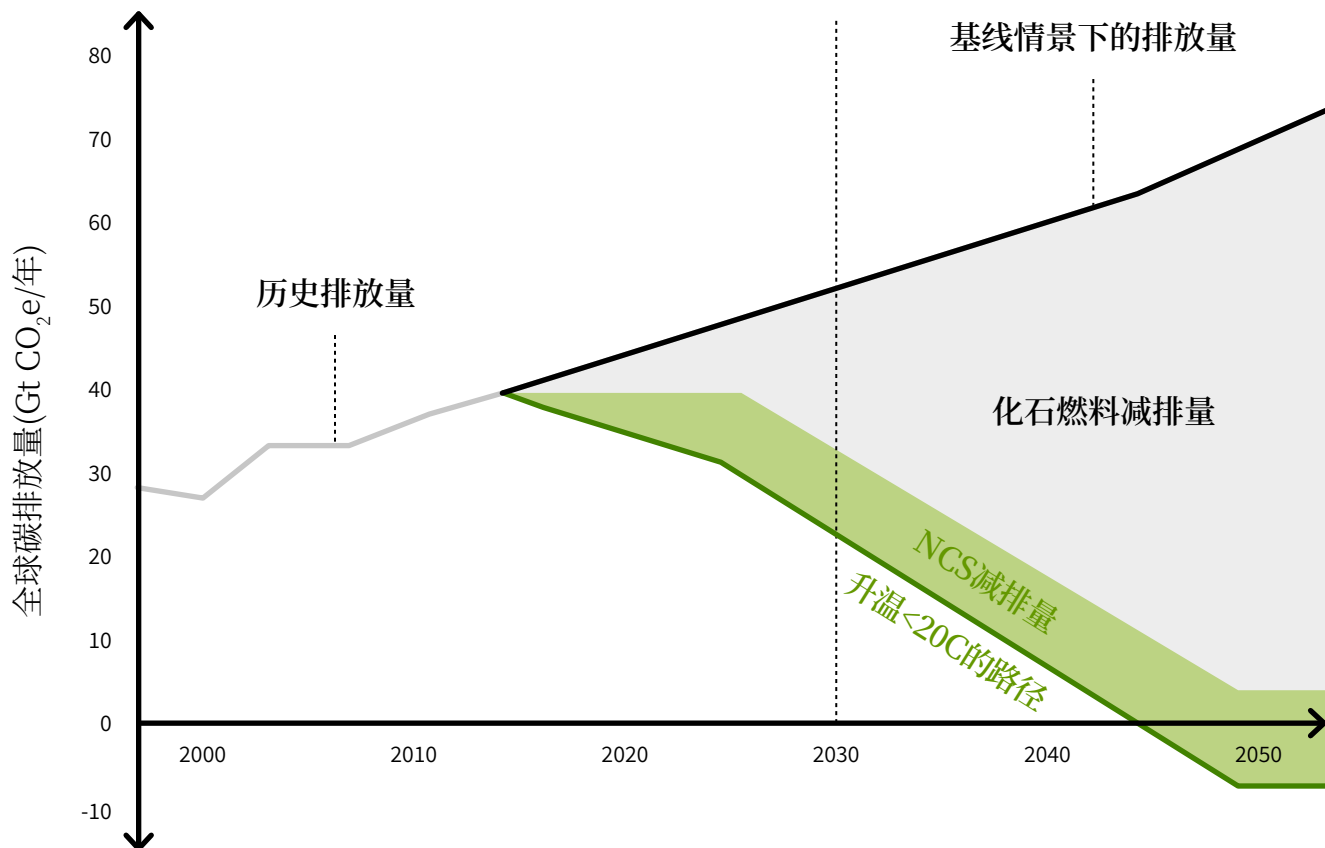


图 2: 基于自然的气候变化解决方案对将升温控制在2°C以内目标的贡献^[2]

在本指南中，我们归纳了启动NCS评估所需的基本参数，标注出重要决策时点，并对读者在自身独特情形下做决策时应考虑的因素作了解释说明。本指南按我们自己做NCS评估时通常遵循的步骤顺序编排，即以确定编写目的和受众为起点，到确定和定义优先路径，再到确定每条路径的机遇和相关温室气体通量的范围，最后估算减缓潜力和成本。需注意：流程中有许多步骤可迭代实施，并会要求在完成其他步骤后再进行完善。我们还分享了指导原则和最佳实践方法，以帮助相关国家或地区的读者穿过迷雾险阻，准确地评估局部地区基于自然的气候减缓潜力水平。无论你是从零开始还是已走了一段，我们设计的这本指南都能让你从任何节点入手继续随后的工作。我们的目标是每位读者提供他们所需的工具，以便他们针对其个案情况做出最适当的决策。

此外，在本指南中我们还分享了来自加拿大、中国、哥伦比亚、印度尼西亚和美国的简要案例研究；这些案例展示了各地项目团队如何将这套通用的NCS框架进行适应性调整以满足其自身需求，包括在此过程中的各种经验教训。本指南附录提供了一系列额外的推荐文章与资源，供读者深入探究利用NCS机遇所需的某些因素。在本指南中，对于如何将NCS行动对人和生物多样性的影响纳入考虑范围，以及如何确保该等行动有益而非有损于当地社区等问题，我们也进行了反思。

本指南是《将基于自然的解决方案纳入国家自主贡献指南》的一个补充文件，后者简要汇总了可供各国参考的相关技术资源，可为其将NCS纳入本国自主贡献行动提供参考。该指南现有英文、西班牙文、中文、法文和葡萄牙文版本。

我们的初衷是编写一个易于使用并勾画出一条清晰工作路径的操作指南，供同行评估在各种尺度上利用NCS的机遇。

2030年很快就会到来，每一条应对气候变化的可行路径都包括NCS。现在是时候把豪言壮语落实到行动了。NCS是极其重要的，也是切实可行的。让我们开始行动吧！

基于自然的气候解决方案原则

温室气体的仔细核算。NCS概念的一个核心是核算框架，其已经过精心构建，用于全面估算基于自然的减缓潜力，同时也避免重复计算温室气体。

无害性。“无害”是NCS的一项基本原则，特别强调保护生物多样性和维持人类粮食与纤维生产的的目标。NCS方案只包括公认的对生物多样性有中性或正向影响的活动，并符合多数政府与民间领域和公民社会领导者均认可的“惠及自然”原则^[7]。

成本有效。碳定价、实施成本、可替代减缓或适应选项的成本，以及其他因素会影响到实施NCS方案的程度。有些路径的实施成本相对较高，而其他的路径则可能节省成本。在许多情况下，NCS可提供成本有效的气候变化减缓效益(见第34页“描述成本”和附录：成本估算)。

协同效益。NCS活动通常能带来有价值而有助于项目实施的协同效益，如改善空气质量、改善水质和调节水量、提高土壤肥力、维护生物多样性，以及提高生态系统的韧性和适应未来气候变化的能力。(见附录：协同效益)。

NCS方案并非减少化石燃料排放的替代方案。尽管如此，这套方案在某些情况下仍可用于“抵消”无法避免的碳排放(见附录：碳抵消)。

自然可以解决1/3的问题

基于自然的气候变化解决方案

11

NCS带来的减排量Gt CO₂e

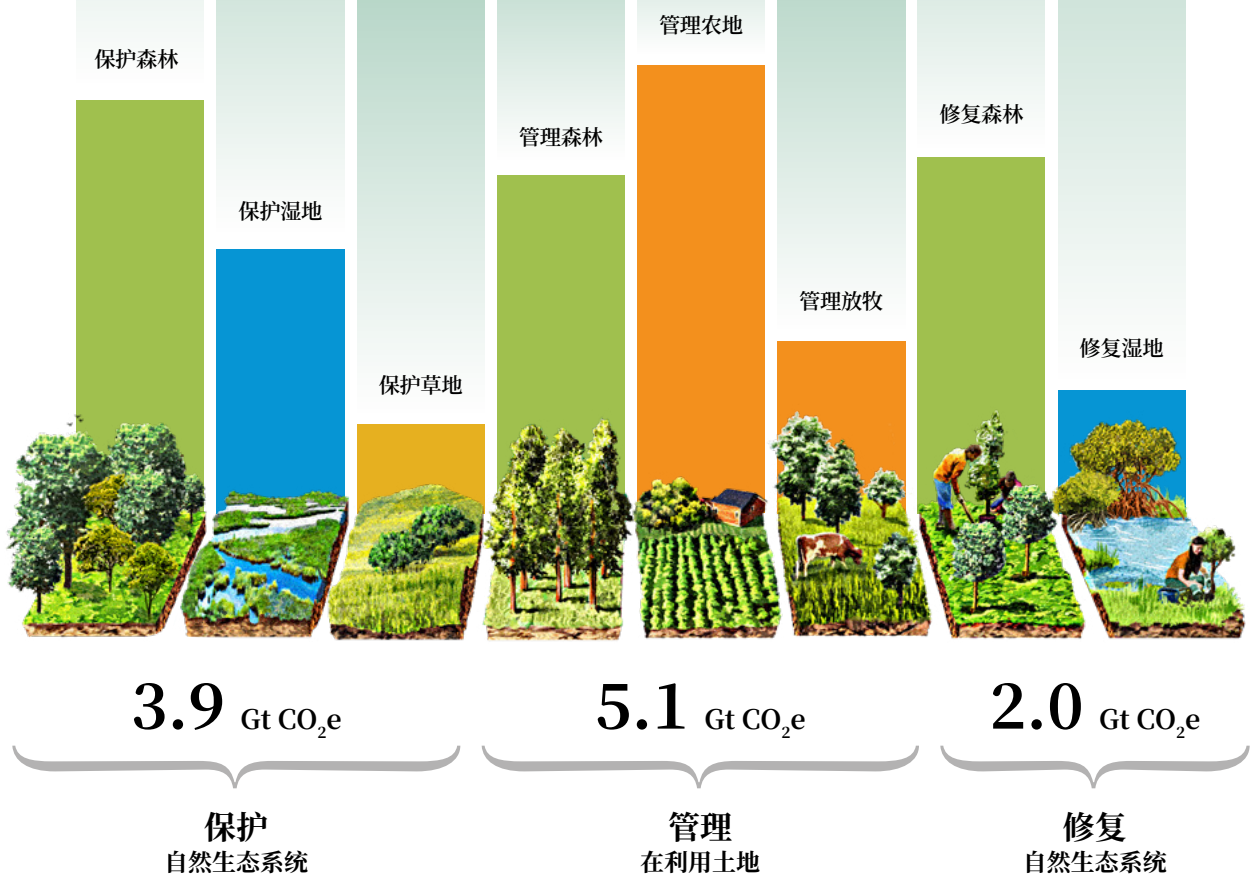


图 3: 实施NCS的成本效益水平可为《巴黎协定》目标达成做出1/3的贡献



Visiting mangroves on Lembongan Island, Indonesia. Mangroves support fishing jobs and food security and can strengthen the resilience of coastal communities to storms and sea level rise. © Kevin Arnold/TNC

采用基于自然的气候变化解决方案，还是基于自然的解决方案？

基于自然的气候解决方案(NCS)是基于自然的解决方案(NbS)的一个子集。NbS在提供人类福祉和生物多样性效益的同时，还可应对多重社会挑战并促成可持续发展目标。NbS涉及大自然提供的很多服务(如：气候变化减缓、生态系统韧性与适应、绿色基础设施及生态系统服务)^[8,9]。在本指南全篇中，我们用NCS这个术语指代我们基于自然的气候减缓策略所需的温室气体核算框架。对已在本国更为广泛接受NbS的国家，我们用NbS一词与其沟通，可为他们理解和接受NCS这套关键的气候减缓策略奠定基础。

气候公正。为保障NCS无害，项目规划者应始终注意了解实施NCS的背景及给不同群体带来的结果是什么。这包括有谁从保护、管理或修复行动中受益，更不必说在项目过程有哪些人参与协商对话和决策。最理想情况是，实施NCS可推动人们纠正历史上涉及环境的不公事件并减少不平等现象。不过，若结构设计不当，则该等方案也可能加剧公平性差距(见附录：气候公正)。

NCS路径

基于自然的气候变化解决方案可分为三大类：**保护自然生态系统、可持续地管理土地和修复原生植被。**具体可以细分为增加碳汇与碳储存或避免**森林、湿地、草地和农地**温室气体排放的路径。详细定义也可参看Griscom等人2017年论文中的S2表、Fargione等人2018年论文中“补充方法”节和Drever等人2021年论文中的表1。

森林路径

森林包括主要由林木植被覆盖的土地，包括热带雨林、干燥森林、北方森林、林地和人工林。森林路径考虑土壤和生物质二者的二氧化碳通量和碳库都被计入评估^[10]。见第29页“什么是森林？”

避免森林转化。防止人为将森林转为其他土地用途（如农业、城镇建设用地或工业用地）而增加的排放量。（注意：因采伐造成的森林覆盖度的临时变动应纳入“天然林管理路径”）。

气候智慧型林业。避免排放或增加用材林的碳汇量（或二者并用）。潜在的管理活动可包括降低采伐影响、延迟采伐（刻意降低森林采伐强度，包括停止在某些地块采伐），林木采伐后进行促进更新的行动及其他行动。

人工林管理。对同龄、集约化管理的人工林，采用延长轮伐期（采伐周期的间隔时间）等策略来增加其碳汇量。某些NCS评估也可将储存于木材产品中的碳纳入考虑范围。

林火管理。在易发山火的森林和热带稀树草原，采用计划烧除等管理方式降低发生严重林火的风险，或控制烧除时机以降低温室气体排放。在不常发生山火的潮湿森林区，则在森林边缘实施防火措施以避免人为引发山火。

避免薪材采伐。主要通过推广高效节柴炉灶来减少煮食和取暖用柴的采伐量，从而减少排放。

城市绿化覆盖。通过增加城镇区域的绿化覆盖来增加碳汇量，或者通过防止树木死亡和补种树木等方式保持碳储量。

再造林。修复森林植被，即将过去曾是森林，之后将其非林地用途恢复为森林用地，以此增加碳汇量。

湿地路径

湿地包括泥炭地和淡水矿质湿地等淡水生态系统,以及红树林、盐沼和海草床等海洋生态系统或“蓝碳”生态系统。该路径考虑土壤和生物质温室气体通量(包括CO₂、CH₄和N₂O)和碳库^[11];为避免重复计算,我们通常将红树林、泥炭森林和其他森林湿地归入湿地路径。

避免对滨海湿地的影响。防止咸水湿地(含红树林、盐沼和海草床)因排水、疏浚、富营养化或其他人为干扰而退化或消失,以此避免排放。

避免对淡水湿地的影响。防止淡水湿地(主要是泥炭地)因泥炭火灾、排水、疏浚、使用化肥导致的富营养化或其他人为干扰而退化或消失,以此避免排放。

滨海湿地修复。通过修复已退化咸水湿地(含红树林、盐沼和海草床)的生态功能以避免排放;除修复滨海区植被以增加碳汇外,还包括重建湿地水文连通性(connectivity),让湿地回湿或提高水体盐度。

淡水湿地修复。通过修复被排干或被转作他用的淡水湿地(主要是泥炭地)[12]的水文功能,以避免退化湿地土壤产生排放,以及修复植被以增加碳汇量。

草地路径

地球上多种多样的草地包括草原草地、草甸草地、灌丛地、苔原、热带稀树草原和几乎无林木植被覆盖的自然生境。该路径考虑二氧化碳通量,土壤是主要碳库。

避免草地转化。防止将原生草地或利用的草地和灌丛地转为耕地,以避免排放。

草地修复。将农田恢复成草地,特别是在农业生产力受限的地区,并在原有草地或灌丛生态系统的原址修复草地系统,以增加碳汇量。

农业路径

农业用地包括广泛用于作物种植和牲畜养殖的土地,包括农地、牧场和其他放牧区。温室气体通量包括CO₂, CH₄和N₂O。土壤是主要的碳库。

农业用地上的树木。在农地或牧场上增种树木或保护已有树木以增加碳储量。这可能包括混牧林(牧场林木)、农林间作(林木与一年生作物行状混交)、设河岸缓冲区、防护林带/防风林或农地自然更新(改变管理方式以促进某些区域的林木自然再生)。

稻田管理。改善“放水泡田”的种稻方式,包括栽种过程中的排水、田地干湿期交替和移除田中秸秆等方式来避免排放。

养分管理。采用“4R”(即:正确来源、正确数量、正确时间和正确地点)最佳实践方法^[13],减少过量使用氮肥的做法,从而避免化肥生产过程中的排放。

生物炭。将农作物秸秆转化为炭并将其作为土壤改良物质回补入农田,从而增加农田土壤的碳汇量。这一路径不包括森林枯落物,以免误导性激励而导致减少森林碳储存的结果。

覆盖作物。在主要作物的种植间歇期,种植其他作物以增加农田土壤的碳汇量。用豆科作物肥田时,因无机肥用量减少,化肥生产减少而减少排放的情况也包括在内。

减免耕。采用减耕或免耕的做法,增加农田土壤碳汇。

豆科作物。采用谷物与豆科作物(隔年)轮种方法,减少氮肥使用,从而避免排放。

牧场中的豆科植物。在人工种草的牧场中播种豆科植物以增加土壤碳汇;这仅限于可产生“净碳汇”的区域。这也可包括牧场减少用化肥而避免排放的情形。

优化放牧。在放牧不足的地方增加放牧密度,并在过度放牧的地方减少牲畜数量或放牧活动强度,从而增加土壤碳汇。

放牧牲畜与饲料管理。通过以下方式减少反刍动物肠道发酵而避免排放:1)采用育种和牲畜健康技术;2)使用谷物等高能饲料喂养牲畜并改善牧场放牧条件。

粪便管理。通过改进粪便管理而避免排放;主要涉及奶牛场和生猪饲养场粪便处理设施的改良。

2. 界定范围



当您开始评估NCS策略如何在您的国家或地区减缓气候变化时，您先得确定范围。本节为如何确定评估的受众、尺度和内容提供建议。界定和完善范围会花费比您想象的还要长的时间 – 您得确保花足够时间来做这步。

确定目的与受众

进行NCS减缓潜力分析的第一步，是确定其中心目的，比如是为了确定国家减缓计划的某个新目标，还是为确定实现既定目标的实施策略。您还得确定评估会涉及到的目标受众，包括可能对如何使用分析结果具有影响力的那些人。

开始前，您得考虑的几个好问题：

- 贵国的“国家自主贡献”或其他国家层面、次国家层面上的气候变化减缓目标是否包括天然林(草)地和正在利用的土地?如果是,则该目标是否已设定量化目标(指标)且足够详尽以利于行动?
- 贵国是否已有可用于评估NCS潜力的某些框架,比如国家清单报告?
- 哪个政府部委或机构(若有)具体负责制定气候变化政策和管理气候行动?
- 哪些部委和机构能影响贵国的农业与自然资源管理?
- 贵国是否有倡导气候政策的民间组织、企业和民间资助者?

对这些问题的回答不仅有助于确定前述分析的目的和受众，还会影响到设定评估范围和优先重点。

确定评估的尺度

一旦确定了主要目的和目标受众，您就可以开始确定评估的深度(比如：使用全球、国家或局地层面的

数据)和广度(比如：路径的类型和数量)。随着这些维度的参数得以逐步完善，本部分的余下步骤可能会涉及数次决策调整。

评估的深度?

在某些情况下，用NCS世界地图集这类全球尺度的资源进行快速分析就足以满足您的需求。**虽然全球数据的分辨率较低，但对了解局地机遇的大体情况或比较全球范围内的机遇还是会有帮助。**

有些时候，您的目的和目标受众可能会想让您做一个有更多利益相关者参与，更细化的评估(即在国家或其下级层面的评估)。比如，要是您的受众未参与评估过程，他们会接受最终结论吗?要顺利实现您的目标，是否在评估开始时就得让某些个人或机构参与?在某些情况下，虽然从科学的角度来看，全球数据可能已足够，但具体到您的目标，这类数据也会不够。

NCS世界地图集：进行快速评估的有用工具

若需用大体数字简单地评估一个国家内机遇的大小，或比较国与国之间的机遇情况，就可使用NCS世界地图集^[4]网页。该地图集汇集各国的国家报告供下载，且管理方会根据最新和最先进的全球科学数据，定期更新NCS潜力的估值。这些数字是一套极好的工具，可用来同有兴趣了解更多NCS潜力的决策者、公司或多边组织开展对话。

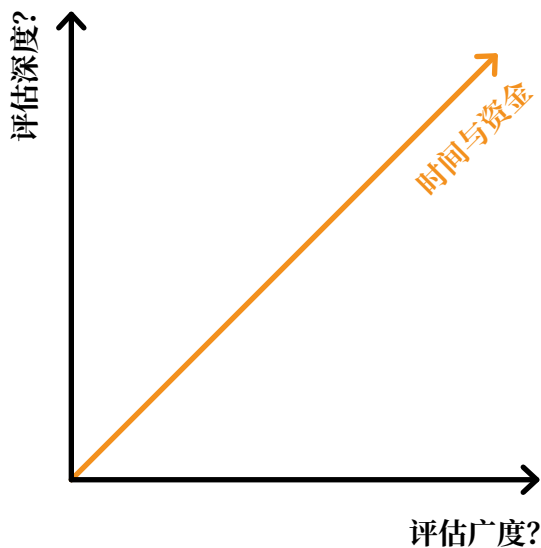


图 4: 在评估的深度和广度间找到平衡以有效利用时间和资金

对于大多数项目的执行规划和决策, 评估需要在次国家层面进行。若能获得分辨率更高的数据, 则将有助于更精确地估算出实施NCS的机遇在哪里, 以及这些机遇能带来多大的减缓效益等。更精细的评估也不排斥采用局地的定义和加入更多符合局地利益的变量。例如, 若您所在的国家有一项与行道树有关的具体政策(例如印度的“绿色公路计划”), 则您可以把对国家公路图的分析纳入评估, 以完善您对NCS机遇的估值。

评估的广度?

一旦您决定了评估的深度, 下一步就是确定您是要调研所有相关的NCS路径, 还是只调研某个子集。

评估每条路径都需要时间和资金, 因此缩小您的重点会比较有利; 根据我们的经验, 对所有路径进行全面评估并公布评估报告至少需要18个月, 且需要一个庞大团队的研究者建言献策。一般来说, 最好的做法是, 先不要考虑把评估做多深多广, 只要能达到您的目的就好。例如, 您可能已知道哪些路径是政策优先事项或具有最大的减缓潜力。利用现成数据对几个关键路径进行快速的减缓潜力

分析, 也可为后续旨在为具体实施提供信息指引的经济社会和政策分析预留出更多的时间和资金。

另一方面, 若资金允许, 进行一项投入很大但也很值得的全面的NCS评估也未尝不可, 因为结果可能很令人惊喜。例如, 在加拿大, 在进行全面评估前, 我们预计森林路径会产生最大的减缓潜力。但后来我们发现, 到2030年, “避免草地转化”才是最大的减缓机遇, 且农业总体上都比森林路径拥有更大机遇^[15]。这是因为加拿大的树木生长缓慢, 还有该国树木覆盖的增温效应(即反照率, 参见《术语表》); 这就意味着, 森林路径需要更多时间才能实现其减缓潜力。若未进行加拿大NCS的全面评估, 我们就不会发现这项完全意外的结果。此外, 全面评估也有助于建立一个基于科学的NCS实践专业社群, 激励来自不同领域的专家加入。除建立一个利益相关者间的联系网络外, 这个社群还可提供一个探索多行业相互权衡的可靠平台。

在启动评估时, 您或许并不清楚是否将重点集中于某些方面或如何确定重点。以下步骤会对您很有用: 首先, 您得进行广泛的调研以确定项目范围。等分析逐步深入, 您可得到更多信息时, 再把范围缩小到特定路径。

确定优先路径

若您打算将评估工作的重点放在某一组路径上, 但不清楚哪些路径可能会是您的目标受众的最优先重点, 则需考虑多重因素, 包括:

减缓潜力

先确定在您的国家或地区哪些路径可能具有重大减缓潜力, 这非常重要。请注意, 要取得最大的生物物理减缓潜力可能不太可行, 因此, 考虑当每吨二氧化碳当量的价格分别为10美元、50美元或100美元时, 减缓潜力会如何变化或许更有帮助(见“描述成本”)。例如, 在全球层面, 若不考虑成本, 再造林路径是迄今具有最高生物物理减缓潜力的路



Peatland research area in Tanjung Putting National Park, Central Kalimantan, Indonesia. © Nanang Sujana/CIFOR

径。但是，当碳价高达每吨100美元时，再造林的减缓潜力则仅相当于“避免森林转化”路径的潜力。了解不同路径的潜力如何因成本高低而变化，可能会影响对每条路径的相对重视程度 – 不过，您可能要到后期考虑成本时才会弄清这点。

局地相关性

熟知局地情况，是选取或增加适当路径的关键。以“稻田管理”为例，这条路径可能有很高潜力，也可能没有潜力，这取决于一个国家的水稻产量是高还是低。国家政策也可能会有影响。例如，全球数据显示，“避免森林转化”路径在中国的减缓潜力很大。然而，由于已启动了旨在保护中国大陆四分之一以上土地的生态保护红线政策，永久性森林转化的可能性会很低。

协同效益。

虽然NCS评估的重点是气候变化减缓潜力，但纳入行动的活动通常也会带来其他效益（见附录：协同

效益）。您可能想把那些可产生协同效益的路径排为优先项，因为您的目标受众和其他利益相关者会对协同效益更有兴趣。

社区影响

有些路径会比其他路径更可能帮助或伤害到当地社区居民。例如，有些路径会产生经济效益，比如：采用化肥管控的方法可让农民节省种植成本，而修复红树林则可为渔民带来多重可持续渔业机遇。您可能想按可为当地社区带来的潜在利益，把某些路径排为优先项。但您得知道：利益的取得和公平分配取决于精心搭建分析架构和后续实施。

信息的可得性

虽然会有蕴藏着很高减缓潜力的路径，但如果缺乏足够信息也无法进行评估。到那一步时，您就得考虑：是继续做有数据的其他路径，还是再做些基础调研就可弥补的这一重要数据空白 – 再一个就是弥补该数据空白是否已超出您的研究范围。

保护

3.9
Gt CO₂e



保护自然生态系统在NCS缓解策略中的效率最高。若不保护原生态景观地，则损害将使管理与生态修复工作望尘莫及。

2.

管理

优先排序 - 自上而下

5.1
Gt CO₂e



改善林业、农业和放牧实践无需改变土地用途但却可以极大地减少排放。

修复

2.0
Gt CO₂e



修复森林、湿地和草地见效慢且成本高但也能带来极重要的效益。

图 5: 运用于NCS策略中的多层级减缓强调保护完整的生态系统

多层级减缓

首先要最大限度地减少损害,而非发生了损害再采取措施来抵减余下的不可避免损害,这点非常重要。把这一概念应用于NCS时,它意味着接下来您得考虑几个选项:1)大幅减少能源、工业和交通行业的温室气体排放;2)保护自然原貌;3)改善土地管理;4)修复已退化或已转做它用的自然土地。这些行动可以且应该同时纳入规划;多层级减缓应把重点放在减轻危害上。同时,多层级减缓也有助于优化投资方向,确保投入时间和资金能取得最高的减缓效益。例如,若贵国正经历一个森林转化盛行的时期,若不采取行动来遏止这个势头,则森林修复行动可能并非最佳的重点工作,因为森林转化会减损修复行动的成效。

行业。

全面地调研分析诸如林业和农业中的某个行业,以及二者间的权衡发展问题,比如转化草地用以发展农业这类问题,可简化分析性考量因素和政策考量因素。不过也要注意,您也得重视您选的行业与未选行业间存在的互动关系。

社会或政策相关性

在特定国家,某些路径多少都有些可行性,这取决于当下的社会或文化因素及政策框架如何。例如,在哥伦比亚实施“混农林业”路径行动非常符合当地的社会和文化传统。因此,选择更易实施或政策制定者已感兴趣的路径最有合理性。另一方面,您的国家或许存在某种具有较高减缓潜力、但被视为在政治上不太可行或被忽视的路径,您把它纳入评估也是恰当的,比如印尼的红树林生态系统中的土壤碳。

团队的能力

虽然合作伙伴对于任何NCS评估都不可或缺,但利用自己团队成员的专业技能,在办公室内完成分析工作中最耗时那些部分并管理好项目,可能效果最

好,因此把重点放在您的团队已有经验的领域上或许更有帮助。若从外部雇用专业人员或将某些工作外包,则最好找在相关领域内有高度影响力的研究者来做。最重要的一点,是让那些最熟悉后续实施活动的社会和生态影响的当地研究者参与。另外,让那些入行不久的专业研究者(如学生和博士后研究人员)参与,这既可培养项目所需的能力,也可支持他们开展自己的研究并实现其职业目标。

路径界定

最理想的是,您会从第一部分的路径列表选出NCS路径(见第13-15页)。在研究中统一NCS相关定义有助于推动NCS在全球的广泛适用性并提升各国的透明度和责任。尽管如此,在某些情况下,或有必要增加或调整某一路径以适应局地具体情况。若要增加或更改某条路径,则您必须确保更改被清晰的界定且符合以下标准:

NCS路径必须具有以下特点:

- 可衡量;
- 追踪记录基线以外额外的减缓机遇;
- 避免与其他路径重复计算(见“确定规模”,第27页);
- 保障食物和纤维生产;
- 避免给生物多样性或人类带来负面影响。

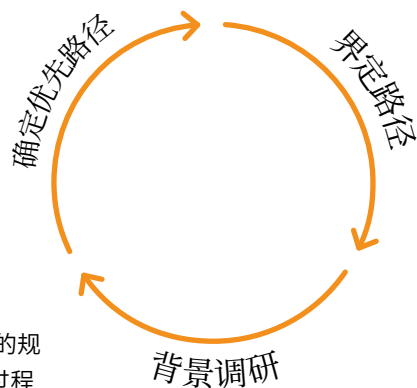


图 6: 合理确定NCS评估的规模是一个需重复多次的过程

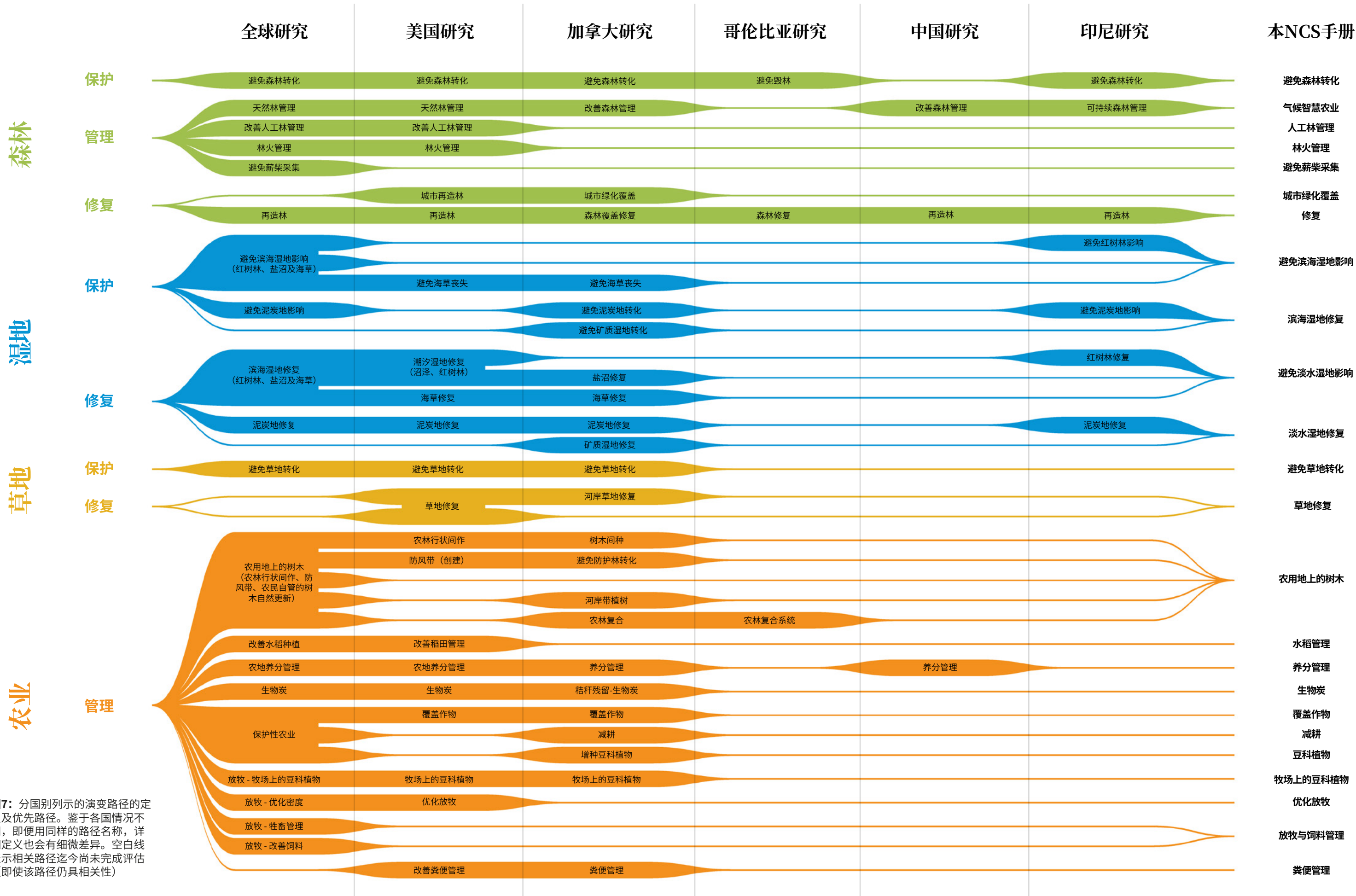


图7: 分国别列示的演变路径的定义及优先路径。鉴于各国情况不同, 即便使用同样的路径名称, 详细定义也会有细微差异。空白线表示相关路径迄今尚未完成评估(即使该路径仍具相关性)



Corn Fields outside of Arapahoe, North Carolina, U.S. at sunset. © Will Conkwright/TNC

背景调研

文献研读

同其他研究工作一样,评估过程也以文献研读为起点,这样可确定出可得信息有哪些并避免重复工作。它还有助于确定需要与其协商对话的潜在的权益持有人和其他利益相关者有哪些。除已出版的学术文献外,其他来源的信息也会有帮助,包括:通过查询门户网站获得的线上数据、政府、非营利组织和企业的报告,国家或其以下层面的温室气体清单、土地利用规划和农业补贴计划。在文献研读过程中,您还可以确定一个与政策相关的目标年度作为评估相关期(见选择时间范围,第32-33页)。

公共政策研究

下一步,我们建议研读您所在地区的现有公共政策,探究制定这些政策的动因、目标、指标和数据来源。很多国家已制定出NCS相关政策,比如旨在减少毁林、促进自然生态系统和生态功能退化地区的修复的政策,或者建立碳定价机制以增加碳汇或避免二氧化碳排放^[16]。这些种类的政策往往是

立法机构和其他政府机构共同努力的结果,或有助于增大实施某项NCS行动的可能性。若能获得该等信息,还可研究一下次国家层级的地方政策,以及局地层面上的传统和惯常土地利用安排,特别是那些可能影响原住民或被边缘化人群的政策。

可纳入政策研究范围的国家政策举例^[16]:

- 国家自主贡献文件及向《联合国气候变化框架公约》提交的国家信息通报;
- 向《联合国气候变化框架公约》提交的“国家适当减缓行动(“减缓行动”)”文件^[17];
- 国家气候变化应对政策和法律;
- REDD+(减少毁林和森林退化所致排放量)战略^[18];
- 本国政府就履行《联合国生物多样性公约》所作的国际承诺文件,比如《波恩挑战》及本国的《国家生物多样性战略和行动计划》等;
- 国家气候适应计划;
- 碳市场管理规定或条例;
- 低碳发展战略;
- 土地利用规划;
- 保护区管理规划

所需的国家气候政策

截至2018年,已有157个国家在其国家自主贡献目标中设定了涉及国家整体经济的减排目标,但只有58个国家将这些目标纳入国家法律或政策,只有17个国家制定了促进国家自主贡献目标的国家法律或政策^[3]。这一现状告诉我们,各国的国内政策与国际承诺(即国家自主贡献目标)在一致性方面仍有改善空间。两者在范围上有重大重叠,如果协调一致,它们可以相互强化,并加深其协同影响。已有迹象表明,多国在2020年提交的新制定的和更新的国家自主贡献目标包括了与NCS方案有关的改进数据且更好地融合了国际和国内政策^[4]。

专家与利益相关者会议

推动各类不同利益相关者和专家参与您的NCS评估起步阶段的工作^[8]极为重要。同这些群体进行对话,能让您确切地知道他们的需求和现有气候变化减缓战略计划,当然也包括实施NCS行动过程中的潜在障碍和机遇。利益相关者可包括来自政府、商界、非营利和学术机构的研究者,政策专家和决策者,原住民及其他当地社群代表等权益持有者,以及青年倡导者。

在政府内部,一系列部委或机构可能负责NCS相关政策及项目实施,包括主管森林、自然资源、环境、气候变化、农业、畜牧业、渔业、经济和金融的部委办局,负责气候谈判的主管部门,以及各级地方政府。由于需要协调多部委以确保跨行业联动来实现NCS的潜力,邀请负责NCS方案推广的多个政府部门都参与很重要,因为这样可确保评估报告能被目标受众所接受。同时,与相关政府部门建立联系,还便于随后各方就NCS实施过程中遇到的挑战和取得的进展进行对话沟通^[16]。

[不同机构参与会带来不同的视角。鉴于实施NCS可实现气候中和或可持续发展目标,或者抵消不可避免的排放,商界代表或许对投资于这类项目感兴趣,而学术研究者则可能更关注评估NCS减缓潜力和协同效益最方便获得的信息和模型。社区居民权利倡导者可能最感兴趣于文化、健康或生计等协同效益或纠正历史上的不平等问题。最重要的一点,是将这些迥然不同的视角或关注点纳入评估分析并牢记:在设计评估项目时做出的任何决策都会产生真切的现实影响,并以不同方式对利益相关者群体的利益造成影响。通常,决策过程都很有挑战性,尤其对那些被边缘化的社会群体更是如此。让多样化的利益相关者参与调研分析过程,可确保他们的关注点被纳入评估结果并同决策者分享。

举办NCS专题研讨会

我们发现,完成某些初步规划和背景调研后,举办一次2至3天的启动研讨会非常有用。在此过程中,您可以同20-30名主要利益相关者代表进行研讨以收集到更多信息、讨论本指南所列的决策时点,并让研究人员参与评估过程。除提供指导外,这些专家和其他利益相关者还可成为随后传播NCS评估相关信息和实施减缓战略的引领者。

例如,印尼的评估团队曾与该国内环境和林业部所属的研究机构合作,举办了一次让NCS概念为更多社会群体了解并确定国家评估中最优先路径的研讨会。通过让大量的利益相关者参与这一安排,评估团队获得了多个有影响力群体的高度认同;会后,团队又让各方继续参与后续活动以确保这一安排的延续,这又进一步强化了他们的认同。

3. 数据收集



Powderhorn Ranch, one of the few remaining large tracts of intact native coastal prairie and wetlands on the Texas coast, U.S. © Jerod Foster/TNC

3.

一旦您确定了用于分析的路径并熟悉了相关的现有研究、政策和利益相关者群体，下一步就是收集计算每个NCS路径减缓潜力所必需的数据。

查找数据时一个非常好的起点，是研读联合国开发计划署出版的《提升气候雄心和影响：使基于自然的解决方案在国家自主贡献目标中主流化的工具包^[19]》。另见附录：额外资源。无论您要使用全球、国家还是地方数据，开展任何NCS评估都要考虑以下主题。这个阶段可能耗时最长且需要循环往复，因为等您把新信息融合后，评估的范围可能需要作调整。

建立基线

参照基线情景，要使NCS在气候变化减缓方面更见成效，相关行动就必须有助于固定更多碳或降低更多温室气体排放。基线就是指在未实施额外的减缓行动条件下的常规排放量或碳汇量。在某些情况下，过于复杂或数据缺失都会让准确估算基线数据的工作异常困难，但无论如何，这都是应该仔细斟酌的重要一步。在为您的国家或地区建立基线时，应记住以下几点：

数据应最新。建立一套准确的基线必须用相对较新的数据（近十年左右的数据），因为旧的数据或许不

能真实地反映现状。若您缺乏最新的国家数据，请考虑用全球数据来替代。

数据应包括多个年份。纵向研究近期多年的排放数据以判断年际之间的差异，这非常重要。例如，与平均水平相比，最新可得数据可能来自于某个排放量异常高或异常低的年份（例如：由于热带风暴、快速发展、全球性疫情等而导致数据异常）。使用多个年份的数据能让您算出年平均值，从而消除异常值。若近期的数据显示出重大的上行或下行趋势，您显然也会想要一组反映该趋势的基线数据。在多数情况下，使用10年左右的数据较为合适。

尽量简化。有时人们用复杂的模型预测一组未来的基线数据，但研究显示，用复杂的模型做预测可能事与愿违^[20]。一般来说，我们都发现，用历史数据可以更好地预测未来趋势且更简单易懂。尽管如此，您仍可通过深入研究本国的未来规划来改善您预测的未来基线数据。比如您可以把规划的大型基础设施项目看成一个影响因素（如：会导致森林或泥炭地丧失的新建石油开采设施）。

只关注人为活动。人类不可控的温室气体通量不应作为NCS评估中的一个参照系。例如，在加拿大，多数发生在偏远地区的森林丧失是由山火和昆虫干扰造成的。除非人类能采取措施来减少这类自然干扰，否则您无需将其纳入基线。相反，重点应该被放在已被转为其它土地利用类型或因人为干预而受影响的森林地区。

现有的、尚在进行中的活动可纳入基线。现有治理状况和保护、管理或修复自然土地的项目行动应该被纳入基线，认识到这点也非常重要。例如，若法律要求在皆伐后必须种植树木且该法律基本也已在执行，则植树行动就不应被视为NCS框架内额外的减缓行动。与此相反，也有这类情况：若不能保证过去实施过的活动将不再继续（例如：各类国际发展项目、慈善家的公益投资或在特定政策背景下的政府项目），则该类活动就不应被纳入基线。在这点上，美国农业部的自然保护项目和加拿大的防风

林项目都是很好的例证。我们可以从中看到投资是如何随时间（或政府更迭）波动不止。

确定NCS路径的规模

一旦建立了基线，您就可以开始量化NCS减缓行动。做这个的第一步是**界定机遇的规模**。对很多路径来说，规模就是可实施NCS的土地面积，常以公顷（ha）为计量单位。对一些路径，规模可能得使用非面积数字指标来衡量（例如，“粪便管理”路径用牛的头数衡量）。

在确定相关土地面积时，绘制地图会非常有用，它对项目选址和与决策者和利益相关者进行协商交流尤其有帮助（大家都喜欢看地图！）。然而，绘制详细的地图需要时间、资金和数据。与此类似，您或许不知道某个生态系统的潜在范围有多大，比如几百年前被排干的泥炭地。若您无法绘制地图，则可用非空间信息来确定和量化有实施机会的区域，比如森林覆盖率随时间而改变的**表格化数据**。

无论绘制地图与否，**千万不要重复计算同一区域内多条路径的碳通量**。例如，避免泥炭林地转化为排干农地的机遇可归入“避免对淡水湿地的影响”路径或“避免森林转化”路径，而不是同时归入两个路径。减缓潜力的估算方式都是一致的，都将考虑生物质碳和各种温室气体通量—这只是一个归入何处计算的问题。注意，某些路径即便在空间上相互重叠也不应被视为重复计算。例如：“优化放牧”路径和“牧场上的豆科植物”路径可在同一片土地上实施。通常的做法是，**若湿地路径是某个特定区域的一个选项，则我们建议按该湿地选项来计算，因为与其他系统相比，湿地系统会有额外的温室气体通量（如甲烷）和独特的土壤条件**。您也可以根据成本高低做决定。例如，对于一个低生产力的草场，NCS选项可能包括“再造林”或“优化放牧”路径。鉴于再造林项目的实施成本较高，您可选择将该区域归入“优化放牧”路径。



Aerial view of Parque Nacional Natural Sierra de Chiribiquete in Colombia. © Erika Nortemann/TNC

3.

一般来说,这一步骤的目标是确定生物物理允许条件下的最大机遇,即可用于NCS行动干预的最大面积或规模。为提高政策相关性,您可以选择**根据成本或可行性这类额外标准缩小生物物理最大机遇的规模**。例如,在加拿大的NCS评估中,我们将植树区域限定在离公路1公里以内的地方,因为我们推断,在植树点离公路太远会耗费太多人力且成本较高^[15]。根据拟实施的NCS路径是否与保护、改善管理或修复有关,您将使用不同的方法来确定机遇的规模。

保护类路径

保护类路径可防止生态系统丧失或退化。合理量化这类路径的规模需要两个关键信息来源,即:**1) 生态系统位于何处?2) 生态系统中的哪个部分正受到干扰或被转化为其他土地利用类型的威胁?**第二个问题至关重要;规划减缓路径或行动时,常见的一个错误是将某些储存大量碳的区域列为优先区域,但却不先问问这些区域是否已受到人类活动干扰的威胁。尽管保护这些地区对于生物多

样性保护或其他原因或许很重要,但如果不能恰当地考虑额外性,要声称能取得气候变化减缓效益还真没有底气。

要确定哪些地点可能会受到威胁,确实具有挑战性。但若不清楚究竟哪里需要保护,则我们建议您对历史趋势做一番研究。在某些情况下,空间数据可通过国家层面的监测机制或全球尺度的工具(比如【全球森林观察】)获得。而在别的情况下,您可能还得靠非空间数据来确定。例如,若您知道过去十年受干扰的泥炭地的平均面积,则您可用平均值来预测未来可避免干扰区域的潜在面积。这类计算可能使您难以在空间上绘制保护类路径图,但您仍可以确定历史上受较高干扰的局地区域(如州、省或县),从而确定更高的潜在减缓潜力。

鉴于保护类路径中都潜藏着威胁,所以其规模常以预测的丧失率表示,通常以每年丧失的公顷数来表示。这与修复类路径(一般用潜在修复面积的总公顷数来表示)形成对比。

什么是森林?

一定要阐明您会如何对土地覆盖类型进行分类。在什么是“森林”的问题上,各国给出的定义迥异。在某些国家,面积大于某个数(如0.5公顷),林木覆盖率至少达到某个比例(如10%或25%)的地块,都被视为“森林”^[21]。而全球尺度的数据集常用25%-30%的林木覆盖率作为森林的阈值。无论如何,使用与您的目的、受众和所用数据相关的阈值最合适。**无论您选用什么阈值,请在整个评估中都使用同一阈值。**

什么是湿地?

一定要明确界定您的湿地;很多人用土壤类型(比如有机土)来划分湿地。

管理类路径

管理类路径会改善生产性土地的管理措施,使土地在保持商品生产功能的同时,提供气候变化减缓效益^[22,23]。相对于保护类和修复类路径,很多管理类路径的规模常用实施管理措施区域的土地面积来表示,但也不排除其他指标。例如,“养分管理”路径就采用田间施肥的数量来代表其规模。绘制这些机遇的空间详图或许不太可能,但您应当能使用与路径相关的指标来估算规模。

修复类路径

修复类路径可增加已退化或已转作他用多年的生态系统的面积或功能性^[2]。NCS仅包括将土地覆盖修复为历史状态的活动。比如,我们不会纳入在天然草地上植树的活动。在草地生态系统内植树往往不会成功,相反会减少生物多样性并对土壤碳产生负面影响。

牧场路径涉及政策问题

有好几个管理类路径都包含与放牧有关的策略。不过,政府间气候变化专门委员会和其他机构向人们强调,从肉类主食转向植物主食的转变蕴含着巨大的气候变化减缓潜力;这样可腾出牧场用于修复,同时也可减少牲畜的直接排放,而与“森林变牧场”(大规模毁林)相关的间接排放也将不复存在^[24,25,26]。因此,我们将一些草地视为可修复土地。尽管如此,在您所在的地区,这种做法或许不具有政策或社会可行性,所以在分析中您需要基于最佳判断处理好牧场土地问题。

要量化这些路径的减缓机遇的规模,您需要了解**每种土地覆盖类型在没有人干扰情况下的自然分布范围**。若您不知晓某个生态系统的自然分布范围,比如海草床早已在能够绘图前就丧失,则您可考虑用生态系统分布图来制作一个替代范围。

接下来,您得了解**相关生态系统的当前分布范围**。从自然景观历史分布的数据(面积数)中减去当前尚存自然景观面积的数据,您就可以得出有多少已被人类利用的面积估值。您或许也能绘制这些地点的分布图,或者仅有一组非空间的估值。下一步,您会想把那些不太可能修复的地点剔除,比如城镇地区(但考虑“城市绿化覆盖”路径的除外)、高产农地、开阔水域或冰盖区,还有山顶等。剔除后剩余的面积就是可考虑纳入修复项目的最大面积。如上所述,您可能还想再做筛选,以找出更有可行性的地点,比如那些成本低、通达性好或能提供更多协同效益的地点。

由于修复类路径适用于可修复土地的未来情景,其规模通常以潜在的可修复总面积的公顷数来表示。这与保护类路径形成对比—保护类路径常以预测的丧失率(每年丧失的公顷数)来表示规模。

再造林项目提示

- 选择一个预期的林木覆盖率阈值 (参见“什么是森林?”, 第29页)。
- 再次确认项目点在历史上曾是森林而非其他生态系统 (比如草地)。要确定什么才是“历史上的森林”并不简单。它取决于所选时间框架的长短, 在有些情况下, 相关地点可能很早前就不是森林, 而是原住民部族长期以来有意烧除和实施其他管理做法的结果。我们建议您根据某个相关时段的现有数据及与利益相关者的交流做出决定。在整个NCS评估过程中, 您都要做这一步。
- 避免在不可行或“有人不期望做”的地点(如高产农地)造林。
- 优先选择多种本土物种而非引进外来物种或单一栽培物种。
- 切记: 森林生长缓慢且适宜造林的地区在气候变暖的大势下也在发生变化。此外, 还应优先选择能长期保持气候稳定, 适宜于森林覆盖的地区。

3.



A woman holds a young tree to be planted in East Kalimantan, Indonesia. © Nick Hall/TNC

计算温室气体通量

除确定规模外，估算NCS如何改变温室气体在土地和大气间的转移或“通量”也很重要。NCS策略涉及的温室气体包括二氧化碳(CO₂)、含氮气体(主要是N₂O)和甲烷(CH₄)。根据路径的不同，其中一种或全部气体都可能与NCS相关。通常，您可从文献中查到现成数据并汇编整理出通量的估值。

+1为了我们的星球

为跟踪记录您的分析等式中通量的转移方向，我们使用正号(+)来表示增加的碳储存或减少的排放量(即表示土地管理行业的储存增量)。但您也会遇到有的研究人员更习惯从大气储碳的角度列示通量值，即用负号(-)来表示增加的碳储或减少的排放量。只要您在整个评估中都保持一致，随使用哪种都行。当然您也得确保您的团队中每位成员都使用相同一致的符号!

为比较不同路径的通量，我们建议您将所有温室气体都转换成**二氧化碳当量(CO₂e)**。换算需要将温室气体乘以一个科学界普遍认可并作了标准化处理的换算系数。NCS评估通常使用Neubauer和Megonigal(2015年)基于100年时间尺度得出的以下转换系数^[27]:

将温室气体转化为CO₂e

气体种类	时间框架(年数)	持续通量全球升温潜势(SGWP)
CO ₂	不限	1
CH ₄	100	45
N ₂ O	100	270

例如，要将10吨CH₄转换为二氧化碳当量，就得用吨数10乘以系数45即得450吨的二氧化碳当量。在某些情况下，尤其是涉及农业路径，考虑使用全球

变暖潜势系数GWP*^[28,29]或许更合适;该方法将短期气候污染物作为一个影响因子纳入计算。无论您使用哪种换算系数，都要确保在所有NCS评估报告中引用它们，并确保您使用的单位的统一和可追踪。此外，用温室气体原来的单位来计量估值也很有帮助，这样在需要将二氧化碳当量和特定温室气体数值进行转换时就很方便。

就“**保护类路径**”而言，主要通量指通过防止土地转化或持续退化而减少的排放量。例如，与“避免森林转化”路径相关的通量包括因植被和土壤受干扰而丧失的碳储量(常以每公顷固定的吨数为单位，表示为t C/ha或Mg C ha⁻¹)。从理论上讲，您也可计算某个生态系统已丧失的未来固定更多碳的能力，但把未来气候对生态系统影响的不确定性这个因素排除，则更保守和简便(见第32页“考虑气候反馈”)。对于“**管理类路径**”，通量是指相对于基线，因管理得到改善而增加的固碳量或减少的排放量。而对于“**修复类路径**”，最大通量值常因植被和土壤固定更多温室气体(通常以每公顷每年固碳的吨数为单位，表示为t C/ha/yr或Mg C ha⁻¹ yr⁻¹)而得，但修复也有助于避免已退化生态系统的排放。例如，泥炭地积水被排干后，可能也需数年时间才能完全退化(或转作他用)，但在整个过程中这些土地会持续排放温室气体。因此，修复泥炭地的自然水文条件既能提高固碳量，同时也能防止排放。

不只是碳

我们建议不要用“碳”作为二氧化碳或二氧化碳当量的简写，因为有些分析可能会真正使用碳(C)作为实际计量单位，特别是对生态系统碳储量的分析。犯错很常见但影响也很大，因为每一吨碳约等于3.67吨二氧化碳。换算碳(C)量和二氧化碳当量(CO₂e)时，请使用公式CO₂e=C*(44/12)，以反映二氧化碳(44个分子质量单位)与碳(12个原子质量单位)之间的差异。无论您使用何种符号，都不要把计量单位搞混淆。

计算森林通量

计算通量的一种方法是使用“**承诺排放**”方法；在此方法下，为便于核算，您假定采伐的或受干扰的植被中的全部碳都在受干扰后立即“承诺”（即排放）到大气中。然而，这往往是一种过泛化的概括。森林被采伐后，残留枝叶可能要过很多年后才完全腐烂并停止排放温室气体。但另一方面，采伐的木材可用作建材且比混凝土或钢材更具可持续性；木材也可用作取代含碳量更高的化石燃料的替代能源。木制产品的储碳和替代相关问题比较复杂，必须从木材的生命周期评估^[30]中获得数据，才能算出对整个相关生态系统的净影响。

计算每条NCS路径的通量时，您需要记住一些额外因素：

基线。虽然基线数据也常被纳入规模的估值中，但有时NCS通量的估值也必须表示为与一个基线数值相对应的估值。例如，已修复的湿地也会排放甲烷，但最终它们排放的甲烷会比未修复的湿地要少。因此，NCS通量将会是因实施NCS而带来的甲烷排放状况改善的结果。

位置。通量会随空间不同而变化。例如，我们发现在全美不同地点森林更新产生的碳汇量相差悬殊，差异甚至高达25倍^[31]。虽然在可能时使用空间精确的估算有一些优势，但有时最好的可得信息却来自于那些适用于大面积区域的估值。把通量的计量从一个大尺度区域（如国家）降到较小尺度区域（如州、省或市）时，则须特别谨慎，因为大尺度区域的平均值或不能提供准确数值为你所用。

非温室气体因素：其他非温室气体因素也可影响减缓潜力，比如反照率。**反照率**指不同土地覆盖如何反射或吸收太阳的热量。增加深色树木植被，特别是在有大量积雪覆盖的地方，会导致升温而抵消树木固碳所带来的减缓效益。例如，在加拿大的评估中，反照率和碳汇的估值都被采用，以确定在哪些地方修复森林植被才能带来正面的气候效益。此外，反照率的升温效应（或称“辐射强迫”）也常被转换为二氧化碳当量，以便对不同路径进行比较（详细转换方法见Drever等人编写的《加拿大基于自然的气候变化解决方案》的资料和方法）。像**蒸发和挥发性有机化合物**这类其他因素也会影响NCS减缓效益的估值，但多数评估都未将这些因素纳入考虑范围，因为其影响很可能较小且缺乏可得数据。

选择时段

自然系统都是动态变化的，NCS亦如此。**温室气体的通量会随时间推移而改变，机遇的规模亦如此。**为确保NCS估值是精心设计的且与政策相关，您需要明确评估的时间框架。要做到这一点，**得考虑采用与目标受众或其他利益相关者相关的时段。**比如，是否有某些日期与贵国的国家自主贡献目标相关？为便于比较，您需要在分析全部路径时**采用统一的时间框架。**

时段将决定您如何报告一条NCS路径的效益。通常，我们会**按与政策相关的具体年份报告年度减缓潜力**（比如2030年的年均GtCO₂e数值）。但您也可以报告数年后累积的总减缓潜力估值，比如2020年至2030年这十年间的GtCO₂e数值。

同样，NCS活动实施的早晚也能成为这些估值的证据支持。您假设所有行动都在第一年开始吗？您是否预留时间以便向利益相关者做宣传交流，比如向农民作宣传以推动他们采用改进的管理方法？修复森林所需树苗等必要材料的准备需要多长时间？您得选择一种能让您的目标受众觉得合乎常理的NCS实施情景，但您也得记住：项目实施的时间框架将会影响到您的最终估值。



Evening view of the forest of East Kalimantan, Indonesia, Borneo near the Lesan River Orangutan Survey Site. © Mark Godfrey/TNC

3.

举例：加拿大的NCS评估选择了两个时间框架，也就是2020-2030年和2020-2050年，以便同加拿大的国家自主贡献各项承诺的相关期保持一致，即最迟到2030年减少排放，到2050年实现碳中和。虽然我们在2020年完成了评估，但我们假定植树活动要到2022年才开始，因为培养树苗需要时间。因项目活动的延迟，加上在该国树木最初几年的生长极其缓慢，截至2030年森林修复的减缓潜力就会非常小。然而，即便我们在模型中假定2030年后不再有种树活动，但此后到2050年的这二十年，森林修复效益却一跃增长为此前的16倍。

考虑气候反馈

自然生态系统有可能保护我们免受气候变化的影响，但同时它们自身也正受到气候变化的影响。这些气候反馈可能影响未来实施NCS的机遇。在很多情况下，反馈会增加发生干旱、火灾、洪涝和其他干扰的可能性，属负面的。但在某些情况下，反馈也可能是正面的，比如升温会带来高海拔地区的植物生长期延长的有利结果，而二氧化碳的增加则可促进植物生长。要预测任何具体地点未来的NCS机遇

将会如何极为困难,而为气候反馈建立模型已是一个热门研究领域。

在以往的NCS评估中,我们都没有考虑气候反馈这个因素,因为我们推断,它的影响在我们的分析时间框架内(多数假定从现在到2030年)会很小。但随着全球变暖加速,还有评估所涉及的时段常常延长,将气候反馈纳入模型的做法将会越来越重要。例如,气候变化是否会影响NCS路径在您确定的时段内的可行性或减缓效益,这个您得考虑一下。若会,您就得考虑是否有足够信息将气候反馈纳入评估。再比如,您可决定将火灾频发的地点从您的再造林机遇规模内排除(即使这些地方历史上曾是森林),只要你能推断这些地方未来会遭遇更频繁的火灾。即便您缺少足够信息在评估中量化这些因素,但它们仍有助于研究并作为探讨论题纳入您的NCS报告。

虽然未来研究将持续加深我们对气候反馈的认识,尤其是懂得气候反馈对未来NCS机遇的影响,但这类研究不应延误NCS行动,尽早启动行动迫在眉睫。避免气候反馈最有效的方法,是广泛而快速地实施一切气候变化对策以大幅降低大气中温室气体的浓度。

描述成本

成本,或者说降低成本是实施NCS的一个主要驱动力。一般来说,实施NCS需要前期投资(如购买精准施肥所需的新设备、置备树苗等)。但在某些情况下,采用NCS可降低成本,比如提高氮肥利用效率可以降低农民的化肥支出。目前的NCS评估通常报告的是**净成本**,即在一定时间范围内实施NCS所需成本的增减总和。

估算所有相关成本需要广泛而多样的数据来源。**成本可分为三大类:**

- **实施成本**。此类成本包括与项目设计、规划、培训、技术援助、场地准备、管理行动实施、维护和更换等活动相关的支出。
- **机会成本**。此类成本指从基线活动转变为实施NCS活动所带来的利润减少的数量。例如,将农地还原成河岸缓冲带会减少当年的农地数量,这必然改变农作物总产量及其利润。
- **交易成本**。与NCS相关的交易成本往往被忽略且更难量化^[32,33,34]。它包括各种间接费用,比如让土地所有者了解和熟悉NCS项目或方法的时间耗费、为确定各类主要利益相关者(政策制定者、土地所有者等),与其互动交流并推动他们参与项目所需的资金,以及土地所有者和NCS项目人员商谈并编制合同、督导NCS项目实施所花费的时间。若有NCS项目被用来产生碳信用额,则交易成本还包括项目注册、监测、信用额的核查、签发和到期等各种杂项成本。

实施NCS的净成本还取决于碳的价格点。

在我们的NCS评估中,我们常将每吨二氧化碳当量100美元看成减缓潜力的价格点,因为最近的研究表明,这是实现《巴黎协定》各项目标的基准成本^[35,36]。此外,若未来气候变化超过2°C,则其对人类造成的损害会比将气候变化控制在2°C^[37,38]的成本更大。因此,我们认为成本在100美元/t CO₂e左右的减缓策略是划算的。尽管如此,您应该选一个适合您完成分析的价格点作为基准。例如,10美元/t CO₂e的单价或更能反映相关的自愿交易市场或强制市场中的当前碳价格,而50美元/t CO₂e或许更符合贵国的具体政策预期(见附录:成本估算)。

4. 完成分析



估算减缓潜力

既然您已为评估设定了参数并收集了基线、规模、通量和成本等相关信息，现在就该量化每一NCS路径的减缓潜力了。参考早前的NCS评估^[2,15,39]并效仿其方法(数据集用您自己的)，这会很有帮助。

若您已将所有温室气体通量折算成二氧化碳当量，则将年度通量和规模值相乘，就得出该路径的最大生物物理减缓潜力估值(单位:CO₂e/年)。

每一路径的公式其实都很简单：

$$\text{规模} \times \text{通量} = \text{最大减缓潜力}$$

您还可考虑每一路径下多种活动的减缓潜力之间的差异。例如，多种“再造林”活动可能与您所在的地域相关，如林木自然更新、人工促进林木更新，还有主动植树活动等。若属这种情况，则可分别对不同的“再造林”活动进行分析，这有助于决策者了解投资其中一种或多种选项的优点。

量化不确定性

由于规模和通量(当然还有减缓潜力)的变化区间非常巨大，量化所有NCS估值的不确定性是一种好的做法。当**不确定性范围较大时，只报告估算值**

的平均值或中间值会不经意地误导决策者。通常，量化不确定性，就要确定每个估算参数的期望值区间(如95%的置信区间)来表示您预期的最低值和最高值。计算每个变量的期望值区间的最好方法是先在文献中查到多个独立的估值，再将平均值和标准差用于您的评估。若无法查到多个独立估值，则您可考虑采用“德尔菲法”，利用专家判断获得估值^[40,41,42]。该方法分为三步：1) 请几位专家提出他们的最佳估值；2) 以不记名方式汇编答案并将其反馈给专家；3) 给专家一个了解别人估值的机会并修订自己的估值。最终的估值区间就可作为您的评估中不确定性范围量化估值。

当您获得计算中所有变量的不确定性估值后，您就需要汇总这些估值来算出总体不确定性(也称“误差传递”^[43])。虽然政府间气候变化专门委员会已制定拟推荐的估算不确定性的方法^[44]，但我们发现这些通用的方法有时却无法反映我们分析的复杂性。例如，若在一个公式中要用多个变量来估算减缓潜力，或者不确定性的多个估值未形成正态分布，则我们会选用一种被称为“蒙特卡罗模拟法”(Monte Carlo Simulation)的分析工具来传递源自多方面的不确定性。利用这种可用于很多统计程序的方法，您会从每个变量涉及的不确定性区间中随机抽取一个估值，再用这个数字来估算路径的总体减缓潜力。通过多次重复这个过程(比如10,000-100,000次)，您可估算任一路径(或所有路径整合)的总体不确定性。欲详细了解“蒙特卡罗模拟法”^[45]，请参看该指导文件。

此外，也会有其他来源的不确定性难以量化，比如气候反馈会以何种方式影响您的减缓潜力估值。在与人分享您的NCS评估结果时，有两件事非常重要，包括：1) 要注意，因为这些未知因素，实际变化区间可能会比您的估计要大；2) 您的各项假设、不同减缓潜力的未来情景和基础数据的变异性会影响您报告的区间范围，因此您得记录这些因素的影响方式。

纳入成本：边际减排成本曲线

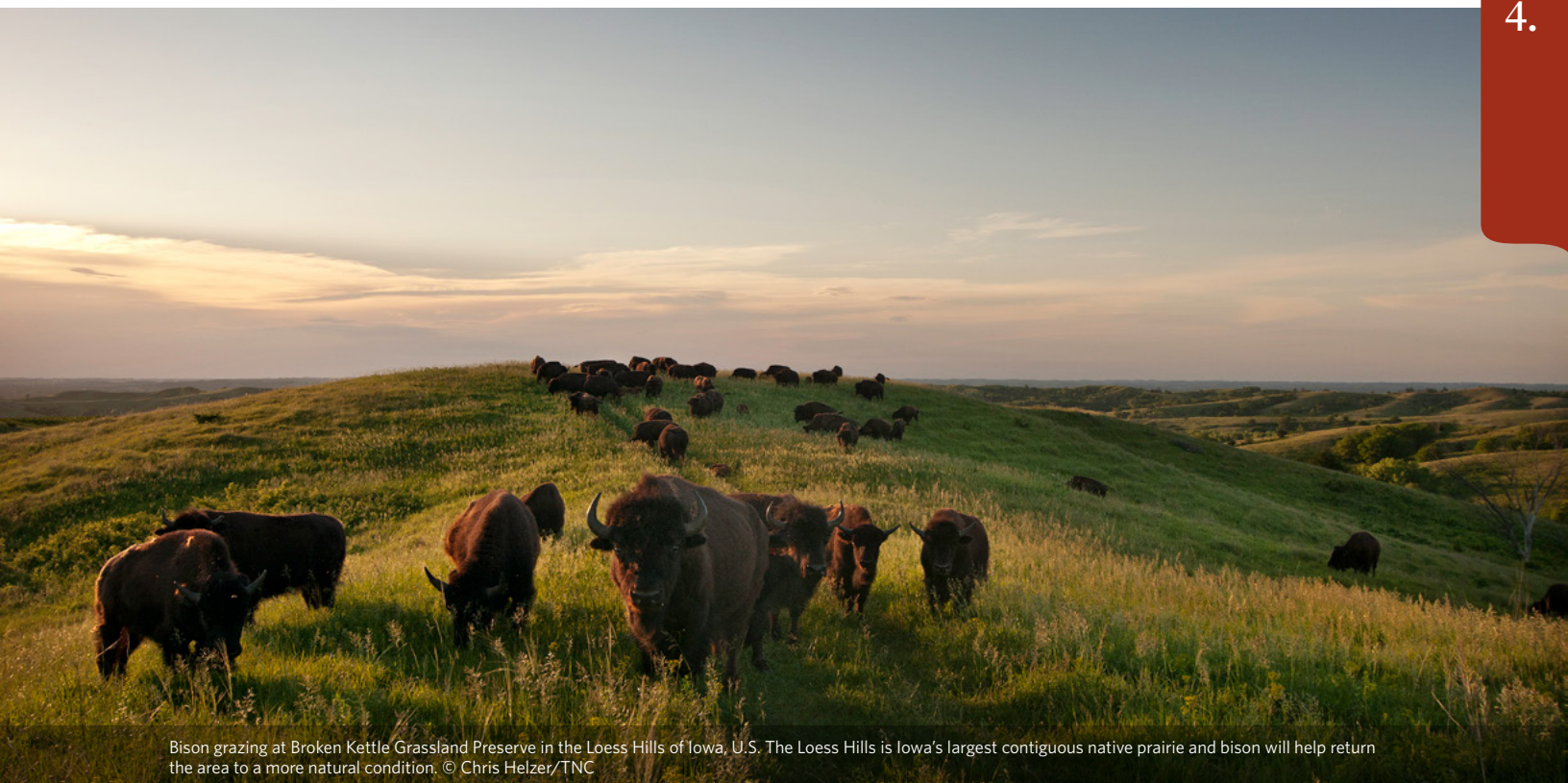
完成减缓潜力评估后, 再将成本评估纳入您的NCS评估, 这可更好地为决策提供信息。实施这个步骤的一种方法, 是为每条路径创建边际减排成本曲线(MAC曲线); 这种曲线图被用于显示每固定或减排一吨二氧化碳当量的单位成本。

专注于气候减缓项目的MAC曲线计算方法, 是将项目总成本除以项目实现的总减排量。对于多目标项目, 若减排成本可从总成本中剥离, 则MAC曲线的估算是将减排部分的相关成本除以项目实现的总减排量而得。若相关成本无法剥离, 则需仔细分析成本构成, 并从总成本中剔出因实施减排活动而产生的额外费用, 再据此完成MAC曲线估算。成本和减排量的计算必须采用同一时段(比如30年)。要建立MAC曲线, 可用坐标点或竖条将所有项目的数据(也称为“减排增量”)从最低到最高列

示于坐标内, 则得到一条MAC曲线, 据此得出总减排量。因此, **用一条构建合理的MAC曲线来显示每吨二氧化碳当量的给定成本可实现的总减排量。这有助于确定启动NCS项目的关键价格点。**

以下是美国的一个“草地修复”路径的MAC曲线例子。该图显示: 假定碳市场上每吨二氧化碳当量的单价为100美元, 若美国所有潜在的可用草地都得到修复, 则每年可从大气中固定大约900万吨二氧化碳当量。

4.



Bison grazing at Broken Kettle Grassland Preserve in the Loess Hills of Iowa, U.S. The Loess Hills is Iowa's largest contiguous native prairie and bison will help return the area to a more natural condition. © Chris Helzer/TNC

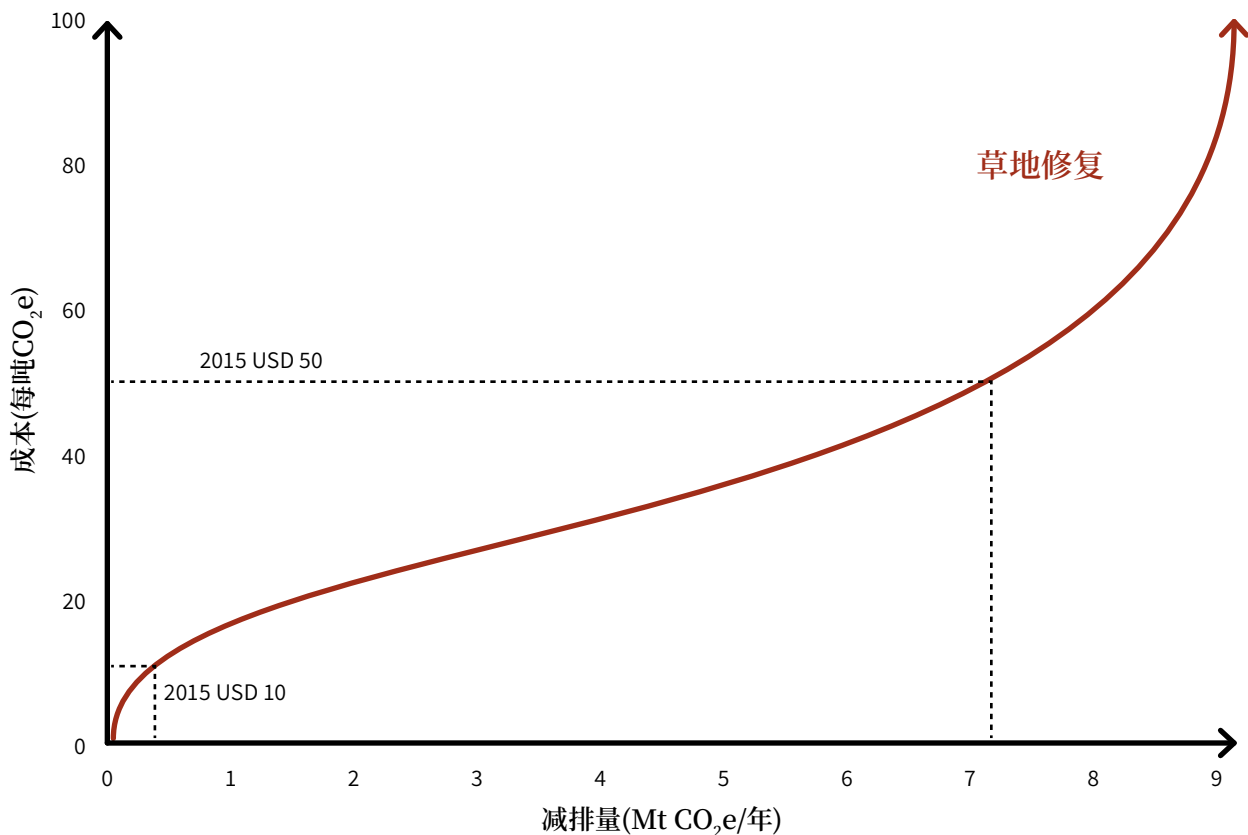


图8:美国草地修复的边际减排成本曲线^[39]

在上图中，Y轴表示每增加一吨二氧化碳当量碳汇的单位成本，X轴则表示对应的减排量。每增加一吨二氧化碳当量的碳汇，曲线就会向上倾斜，因为每公顷土地的成本和每公顷每年的减排潜力都不相同。由于图中的减排量按从低成本到低成本，由左向右逐次排列，MAC曲线因此假定草地修复首先在单位成本最低但能实现减排效益的土地上实施。该图显示，当成本为10美元/吨二氧化碳当量时，几乎不能进行草地修复，能实现的减排量也几乎为零。但若向土地所有者或管理者支付50美元/吨二氧化碳当量的费用，则每年的碳汇量可以达到700多万吨二氧化碳当量。

要实现特定的减缓目标，需要有项目总预算估值，而MAC曲线则使该总预算的估算成为可能。上例已显示了到2025年的年度减排量，但它也可以转换为一条MAC曲线，来显示2019-2025年这个评估

相关期内累积的总减排量。有了这条表示累积量的MAC曲线，就可估算出要实现任何给定减排量目标所需的项目总预算，即：用评估期内减排的每吨二氧化碳当量乘以各自的边际减排成本，得出每吨需耗费的成本（单项成本），再把所有值（单项成本）加总则可得出项目总预算（换言之，从分析角度出发，总成本由MAC曲线下的区域给出，直至所选定的总减排量）。

最后，MAC曲线还可帮助人们决定哪些NCS路径当前具有经济可行性。还有一个须牢记的要点，是多数NCS路径都会带来一些减排之外的协同效益，这些效益有助于改善人类福祉并推进可持续发展目标^[46,47]。这些效益可能更难以用货币来估价，通常无法包括在MAC估值中；但若这些效益由实施减缓行动的土地所有者享有，情况则不一样，因为这将减少其参与减缓行动的机会成本。在某些情

4.

况下, **这些协同效益可能比减缓行动本身具有更高的经济价值**。无论属哪种情况, **协同效益都对人有实际经济价值, 因为同MAC曲线显示的成本相比, 它们总体上可降低社会的NCS成本**。

例如, 就扩大“城市绿化覆盖”而言, 该路径固定每吨二氧化碳当量的单位成本可能很高, 因此与其他减缓路径相比看似没有竞争力。但是, 城市绿化树还提供多重效益, 包括: 管控雨洪、改善人的呼吸健康状况、减少人受酷热暴晒的几率、提供精神健康效益, 以及减少使用空调地区的高峰用电需求等^[48]。这一系列效益的综合价值往往超过了植树和绿化管理的成本^[49]。因此, 尽管城市植树可能不是一种成本有效的气候变化减缓战略, 但在许多地方, 它仍是一种可产生“净经济利益”, 有益于人类并产生协同减缓效益的策略。(另见附录: 成本估算)

可使用两种基本方法构建MAC曲线。第一种, “自下而上”方法, 即用项目地实际发生的成本和对应的减排量信息^[15,39]。这种方法可显示在特定环境下往往很高的交易成本(使减缓项目得以实施的活动所产生的费用, 如推动土地所有者参与及商谈、编制和订立合同过程中发生的费用)。但它也有几个局限性。首先, 它通常需要从一组数量有限的项目中推断出数据, 并将该等数据应用于被认定为可能也适合实施同路径项目的其他区域。第二, 当前的NCS项目或许不能代表其他地区。例如, 当前项目可能是示范项目, 也或许涉及科研活动, 而与不带科学目的的项目相比, 这类项目往往会使成本增大。同样, 未来项目可能会比当前项目的成本低, 原因在于未来项目可借鉴后者已取得的经验, 也或者因为未来项目因规模大而可以实现规模效应等。但也可能反过来, 当前项目或因选在最有利的地点实施(低成本高减缓), 就使未来项目显得不是那么成本有效。

第二种是“自上而下”的方法, 它是采用建模和经验观测数据, 将土地覆盖或管理数据作为独立变量(如农产品价格、土壤特性、坡度、与主干道路和城镇的距离)的函数进行分析。所使用的模型可能千差万别, 从相对简单的空间经济计量模型^[50] 到

复杂的多行业优化模型^[51]都有。这种基于建模的方法非常适合于大面积的土地, 并能对土地利用或管理如何应对变动的碳价格这类具体干预进行系统性探究。这种方法的局限性, 在于需要有诸如土地价值或土地利用这类关键模型变量的高质量信息(数据须空间完整且分辨率足够高)。此外, 与自下而上的方法不同, 自上而下的方法不能直接估计交易成本而只能根据个案情况加总交易成本。

核算未来的成本变化: 贴现方法

NCS项目发生成本和带来减缓效益的时间跨度很大, 可能会是很多年。此外, 成本通常在早期发生, 而减缓效益则要在以后几十年甚至几百年后才显现。经验证据表明, 个人和社会看重当前的成本和效益, 多过关心未来某个时间点上发生的成本和效益^[52,53]。**为妥善比较现在和未来的成本与效益, 我们用一种叫做“贴现”的方法计算成本, 即用未来的成本与效益的“现值”来表示其货币价值。**

要以现值来量化未来价值, 需要使用一个贴现率。贴现率的选择对气候变化减缓项目的经济性有很大的影响, 因此在确定具体项目应使用的正确贴现率时需十分谨慎。寻求私人投资的减缓项目通常应该用投资者的资本机会成本作为贴现率, 这可以用借款利率或税前收益率来估算。与此相反, 对政府出资的公益性气候减缓项目的分析则应使用社会贴现率, 以反映国民如何用当前消费换取未来消费的过程。

此外, 经济学家普遍认为, 对政府出资项目的分析应使用递减的社会贴现率^[54]。由于减缓项目的效益显现的时间跨度较长, 对其进行的成本效益分析更应如此。虽然估算社会贴现率是一件很复杂的事情, 但许多国家已采用了具体的社会贴现率, 以供国内机构在进行公共政策分析时使用, 而且几乎每个国家都普遍存在社会贴现率的估算^[55,56]。

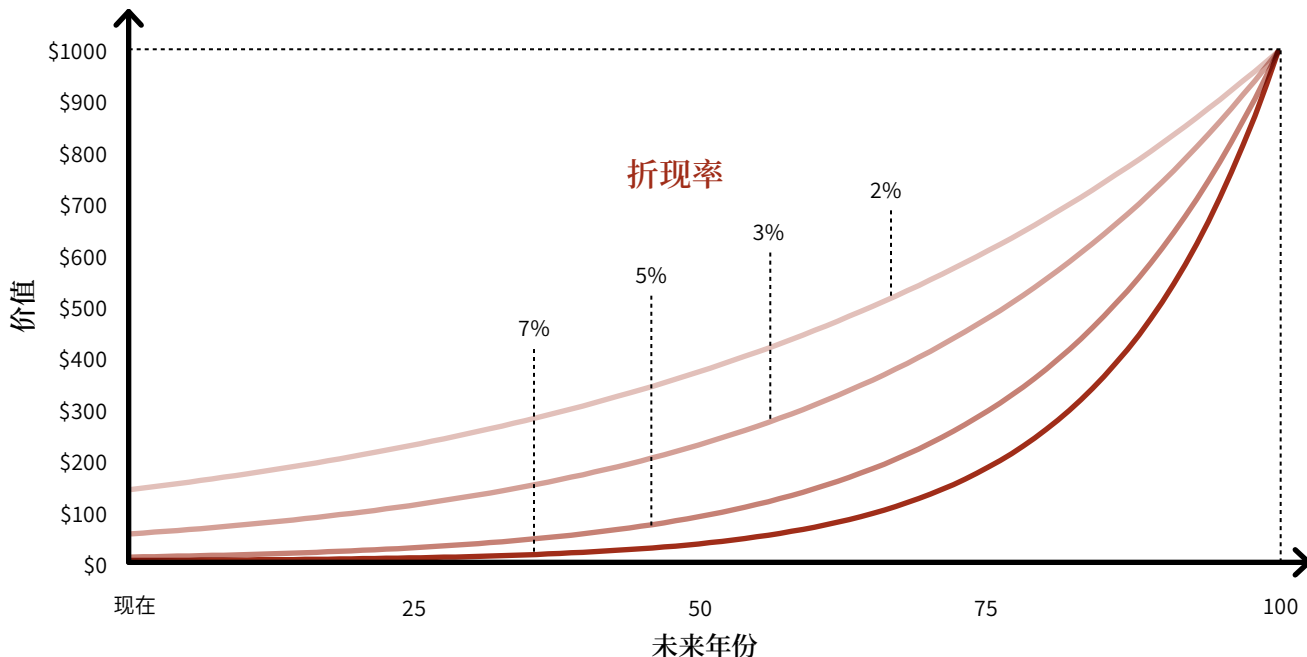


图 9: 折现率对现值的影响示例 – 在不同折现率下未来100年收到1000美元的现值图

下一步工作

迄今为止，NCS分析主要着力于了解有多少减缓潜力，以及这些潜力如何根据成本和地点的不同而变化等问题。回答这些问题固然极为重要，但要让这些信息最有助于决策和实地行动，可能还需采取其他步骤。**评估完NCS机遇后就须用具体行动来激活它。**

别忘了宣传推广！

除您的主要目标受众外，可能还有其他利益相关者会对您的分析结果感兴趣并使用这些结果，包括：相关决策者、政策专家、科学家、合作伙伴机构、受影响的社区居民等。我们建议，尽可能在由同行审稿、公开发行的期刊上发表您的NCS评估报告。这样可确保您的评估方法和结果具有可信度和透明度，且能让更多受众了解评估结果，比直接宣传接触到的人群更广泛。不过，我们也发现，有针对性地直接向政府机构这类关键用户群体进行定向推广宣传，有助于他们更好地理解并接受评估结果。

此外，编制政策简报或网页等宣传推广工具也很有帮助。“Nature4Climate”是一个展现多个组织如何利用网站和相关交流媒体来分享分析结果和其他信息的实例。通过社交媒体、新闻报道或博客等工具，您的故事也可传播给无数人。照片、信息图表和令人信服的案例研究可以增大这些传播方式的影响力，而当您向更广泛的受众做推广时更是如此。

从“多少？”转向“如何？”

根据您的目标，或许有必要让您的初评结果更进一步。例如，您可以进行更详细的成本效益研究以确定投资回报率，或者调研可激发行动的更多激励措施（见附录：成本估算，进一步审查成本考虑因素）。

与此类似，虽然减缓潜力很重要，但实施NCS活动的其他效益（比如生物多样性和生态系统服务）也常能推动行动（见附录：协同效益）。您可能也想直接衡量相关协同效益并将其绘制成图，以便与目标受众和其他利益相关者分享。

确定如何为NCS项目融资是另一个关键考虑因素。若使用得当,碳抵消和其他“按绩效付款”机制也可能成为一种选项,更不必说让其成为土地所有者的一个收入来源(关于抵消及其使用的介绍,见附录:碳抵消)。

对人类的影响

这个领域的活动会对社会和人类福祉产生影响,而在本指南中,我们只是刚刚揭开认识这些影响的大幕,还需在这一领域开展更多的研究工作。NCS干预行动可以通过多种方式促成可持续发展目标和改善人们的生活质量,比如保障食物安全、改善治理和探索可持续经济机会。同时,承认与气候有关的不公平事件并进行改善也极为重要—这既涉及到历史上的不公正,也涉及到未来对被边缘化人群的多重影响。实施NCS项目可以促进气候公正、人权和两性平等,但这并非绝对保证。而了解NCS对各种人群的影响是实施NCS项目不可或缺的一项重要任务,推动利益相关者参与并解决不公正问题也会让NCS项目实施更有可行性和可持续性(关于气候公正的进一步讨论,见附录:气候公正)。

利用技术

新的数据和技术每天都在涌现,并持续地改变着当前用于分析和实施的最佳做法。遥感技术领域正蓬勃发展,不断地帮助我们填补数据空白并生成更精细尺度的地图,使不同地点不同路径下的各种机遇一目了然。这些技术进步可降低不确定性,提高空间精度,并让决策者更直观地看清实施机遇。遥感技术展现出希望—以后监测NCS路径和了解预测出的碳效益是否真正在实地发生就非常容易。

前车之鉴,后车之师

为开发本指南,我们借鉴了在五个不同国家采用并作适应性调整后的NCS框架完成其评估的经验教训(欲详细了解该经验教训,请参阅国家案例研究)。

我们希望,更多其他国家的代表会采纳本指南中详述的建议来评估自己国家的减缓潜力,并在未来分享他们的经验,以便我们相互学习并加快推动NCS在全球的实施。

虽然各国情况迥异,但从加拿大、中国、哥伦比亚、印度尼西亚和美国的实践案例中,我们得出如下两项关键经验:

建立信任和持续跟进是关键。

科学期刊上曾有很多极佳的分析和研究,但其对政策和行动的影响极为有限。要取得成效,就必须尽早同各类利益相关者进行经常性的讨论和交流,并通过提供对方需要的技术援助和工具等方式作持续跟进,使您的NCS评估结果能够被应用。

我们需要以能理解协同作用和妥协的方式完成NCS评估并进行推广交流。

进一步的可行性研究和工具有助于探索不同的实施情景;这些可推动NCS决策发生变革。

催化NCS行动

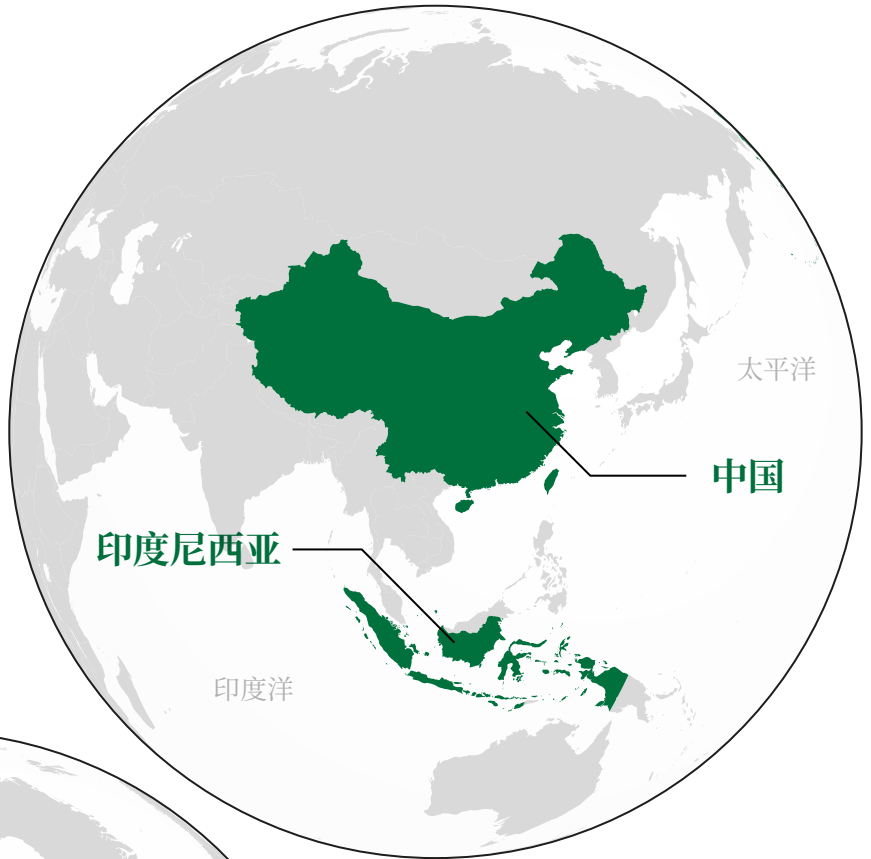
让NCS的潜力得以释放需要大量资金^[57]。幸运的是,NCS融资一直都在增长,而我们也真诚希望,投资于NCS工作的速度和规模(当然还有后续的活动实施)将快速增长,为人类营建一个宜居的未来提供可衡量和公平的气候效益。

本指南总结了迄今我们所学到的知识。随着新的研究与方法及利益相关者参与对当前方法的改进,我们期待对其进行更新。我们希望本指南能帮助其他人更快地完成可信度高并富于影响力的NCS潜力评估,这样就能使NCS以应对气候危机所必需的规模和速度转化为实地项目并启动实施。

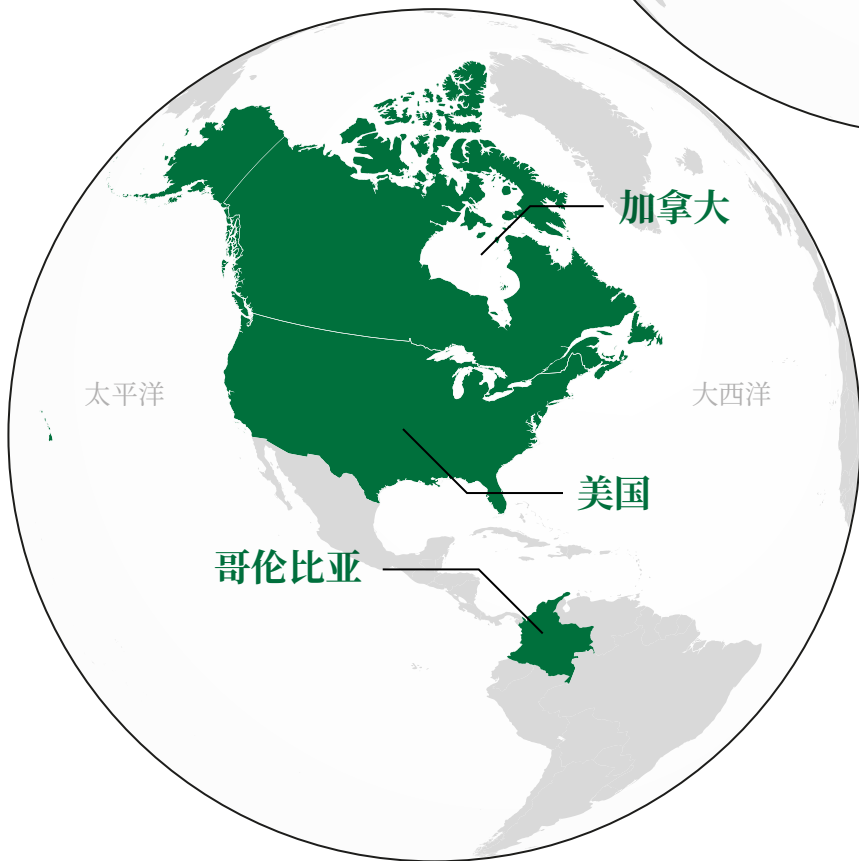
5. 国家案例 研究



东半球



我们还在本手册中分享了加拿大、中国、哥伦比亚、印度尼西亚及美国的案例研究...



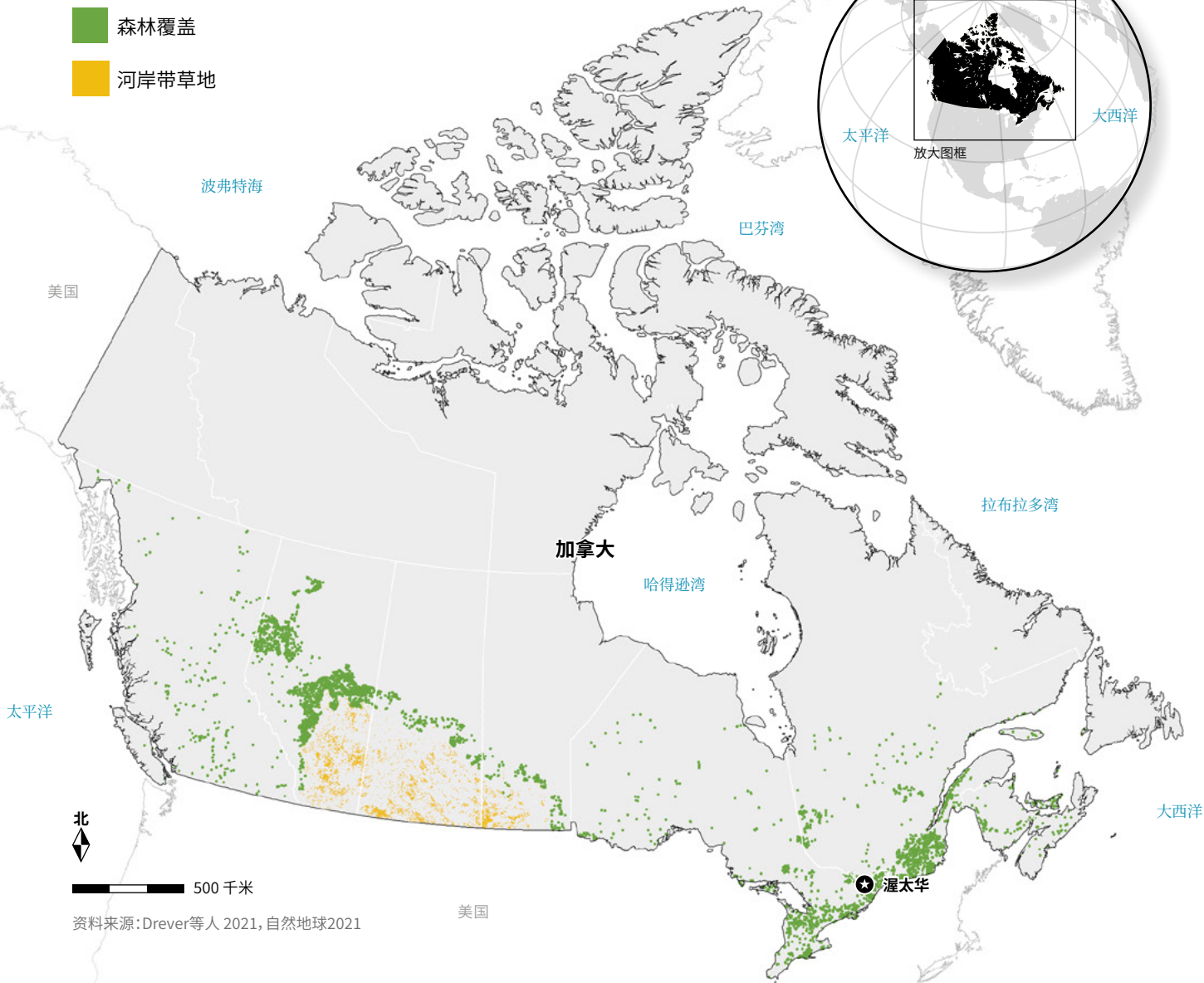
西半球

... 案例展示了局地团队如何按自身需求对全球NCS框架作适应性调整的整个过程, 包括经验教训。

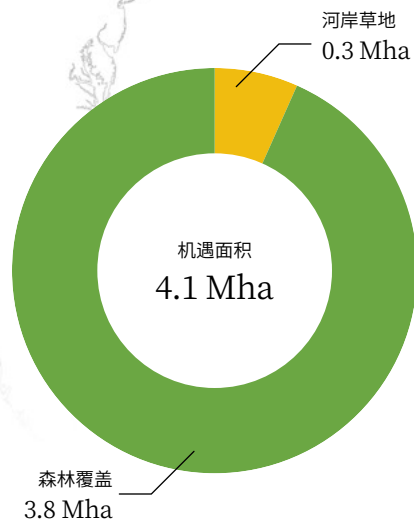
Previous page: Misty mountain peaks of Laohegou Nature Reserve, Sichuan Province, China. © Nick Hall/TNC



图 10: 加拿大的修复机遇面积



按照《巴黎协定》，加拿大制定的目标是最迟到2030年，将年排放量减少到5.11亿吨二氧化碳当量。直到最近，土地利用、土地利用变化和林业(LULUCF)排放量还未被列入减排目标。然而，在2019年，加拿大承诺将减少与LULUCF相关的年度排放量。2020年12月，加拿大政府宣布了一项“增强版”的气候减缓计划和一项承诺，即挖掘LULUCF潜力并通过实施基于自然的解决方案，在2030年实现每年减少1700万吨二氧化碳当量，再生农业每年减少1000万吨二氧化碳当量的减排目标。



加拿大并非一个温室气体排放大国(其排放量仅占全球总量的1.5%),但该国位居世界十大排放国之列,并且还是人均排放量最高的国家之一(15.1吨二氧化碳当量/人/年)^[58]。在过去20年里,加拿大每年的排放量一直在7亿吨二氧化碳当量上下波动,其中碳排放最多的行业是石油、天然气及运输业^[59]。

背景研究

2020年12月,加拿大承诺在10年内投入近40亿加元,用于实施NCS项目,主要目标包括:1)种植20亿棵树;2)保护和修复草地、湿地和泥炭地;3)创建一项专用于农业的NCS专项基金。这些与气候相关的投资旨在支持另一项自然生态保护承诺,即:按《生物多样性公约》,最迟到2030年实现将加拿大30%的土地和海洋纳入保护的目标^[60]。

按照这些承诺的要求,TNC加拿大项目组“自然联合”(Nature United)在2017年做出战略决策,即在该国启动一个以实施NCS为重点的气候变化减缓项目。与其他类气候减缓行动相比,这个NCS项目更好地体现了自然联合弘扬的“原住民主导保护”精神。项目初期,项目人员认识到他们缺乏有关加拿大自然生态系统蕴藏的减缓机遇的基本知识,随即便启动了一个研究项目以构建保护行动的证据基础,搭建专家网络,召集同行探讨前沿科学,使自然联合成为圈内的关注焦点。自然联合的初衷是通过完成NCS评估,将TNC的能力和教训推上一个新台阶以服务于全球和美国。

加拿大的NCS路径


通过调研加拿大的研究文献,项目人员拟定了用于分析的潜在路径初步清单。在2019年2月举办的一次研讨会上,项目团队请受邀专家审阅了该清单并

组建了生态系统专门工作组。对某些路径,我们交给一两位专家完成分析,自然联合/TNC团队向他们提供与核算、空间分析或经济成本计算方面的支持,比如“城市绿化覆盖”、“粪便管理”、“养分管理”路径。某些路径,像用森林管理方法来减轻未来山火风险这类路径,工作组曾考虑过,但在得知确无足够证据来推进分析后,工作组只好放弃这些路径。尽管如此,研究小组还是采取整体考虑的策略,将加拿大所有可分析路径纳入分析,而非缩小范围,仅分析已知有较高减缓潜力的路径。这里的依据是:加拿大缺乏NCS相关信息,对所有生态系统可用的路径进行全面分析可为政策制定提供借鉴,同时研究大自然在气候减缓行动中的作用,也为组织一次全国范围的专题讨论奠定基础。此外,这个NCS项目是该机构实施的第一个气候相关项目,要想建立一个跨行业的从业者群体,以及自然联合作为一个以科学为基础的机构的可信度,开展此项研究都是一种非常有效的方式。

结合加拿大本地实际,我们把评估重点集中在几个新的技术层面上。例如,虽然普遍认为反照率(见《术语表》)会对土地利用的减缓功能有重要影响(尤其是在北方地区),但由于其复杂性和数据空白,以前的全球和美国NCS评估并没有将这种影响纳入考虑。我们根据最近的反照率图^[61]完成了多项创新性分析,以便深入了解几个“扩大绿化覆盖”路径的反照率影响,并据此将反照率的“打折”效应(即升温效应)应用于这些路径^[15]。此外,我们调整了评估范围,按加拿大当前的碳定价将减缓行动的经济成本纳入评估。我们还采用了一套适用于管理类与修复类路径的可行性标准;其间,我们还按10年的实施期(2021-2030年)为实施行动和对应的每年不低于10%的可减缓机遇区域建立了模型。

经验教训

国家尺度的评估对NCS落地实施至关重要。例如,在进行加拿大NCS评估过程中,一个惊人的发现是该国的农业存在着巨大的减缓潜力。加拿大是一个森林遍布的国家,一般认为森林应蕴藏着与土地相关的气候减缓的主要机遇。但该国的森林管理相对



通过可促成国家自主贡献目标的方式,采用NCS应对气候变化,必须让具体NCS路径同国家温室气体清单和报告框架保持一致。



Walking along a fallen log in the Great Bear Rainforest of British Columbia, Canada. © Jason Houston

良好，森林转化的情况极少发生，因此，在我们检视过的四种生态系统类型中，森林NCS路径显示出的减缓潜力却是最少。

在长期计划层面实施NCS必须认可现有优先重点及实施方法的合理性，并在此基础上探索新的方法。迄今为止，自然联合的工作重点是推动原住民主导的保护行动。虽然项目团队认识到，为填补一项涉及NCS减缓潜力的公认的信息空白，推进一项合作研究很有价值，但在推动这一科学和NCS项目落地的方式上，我们必须尊重原住民的权利和传统知识，而“原住民治理”、土地利用规划、管护和经济发展这些更不必说—总之，做一切都得承认：NCS行动将在原住民部族的传统聚居地上开展。

我们的科学评估揭示出的NCS潜力与加拿大纳入其目标和核算框架，用于衡量减排目标进展的内容之间存在差异。例如，加拿大的NCS评估识别出“避免泥炭地转化”路径具有很好的减缓潜力。但我们识别的减缓潜力同加拿大计算与泥炭地管理和土地利用相关的排放量和汇清除量的方式相去甚远。要想通过有助于实现国家自主贡献目标的方式利用NCS应对气候变化，必须让具体的NCS路径同国家温室气体清单和报告框架保持一致。虽然我们也能追溯记录这种一致性（见下页表格），但请在负责减排报告的政府部门工作的科学家尽早参与，可让工作成果同政府的汇编系统保持一致。

加拿大的NCS路径

在加拿大的2020年国家清单报告中如何评估NCS路径

《联合国气候变化框架公约》分类

森林

避免森林转化	排放量/移除量被计入“森林转化为农地、湿地、聚居地及木质林产品”类。	土地利用、土地利用变化和林业
改善森林管理	排放量/移除量被计入“林地、剩余林地及其木质林产品”类。	土地利用、土地利用变化和林业
城市绿化覆盖	排放量/移除量被计入“聚居地、剩余聚居地城市绿化树”类。	土地利用、土地利用变化和林业
森林覆盖修复	排放量/移除量被计入“转化为林地的土地(原为其他用途土地上的新建林地)”类。采伐后植树被归入“再造林”而非“造林”。	土地利用、土地利用变化和林业

湿地

避免海草丧失	当前未纳入清单报告。无活动数据可用于持续地评估全加拿大的丧失数。	土地利用、土地利用变化和林业
避免泥炭地转化	排放量/移除量被计入“湿地、剩余湿地”- 泥炭地利用(湿地排水与回湿活动)类。国家清单报告不报告将天然湿地转化为其他土地用途的活动。湿地类别仅报告水库和园艺用途泥炭地利用的排放量。	土地利用、土地利用变化和林业
避免淡水矿质湿地转化	当前未纳入清单报告。大草原的壶穴区及加东地区的土地利用转化估计数尚在开发中。	土地利用、土地利用变化和林业
盐沼修复	当前未纳入清单报告。无活动数据可用于为全加拿大的持续修复行动建模。	土地利用、土地利用变化和林业
海草修复	无活动数据可用于为全加拿大的持续修复行动建模。	土地利用、土地利用变化和林业
泥炭地修复	无活动数据可用于为全加拿大的持续修复行动建模。某些估算数已包括在泥炭地利用模型中。	土地利用、土地利用变化和林业
淡水矿质湿地修复	当前未纳入清单报告。大草原的壶穴区及加东地区的土地利用转化估计数尚在开发中。	土地利用、土地利用变化和林业

草地

避免草地转化	排放量/移除量被计入“草地转化为林地”和“草地转化为聚居地”类。仅包括大草原区的原生草地。虽然当前已持续记录草地丧失率,但估计数只是未被碎片化的草地数据 - 所有其他因素被列入“农用地”类。	土地利用、土地利用变化和林业
河岸草地修复	当前未纳入清单报告。无活动数据可用于为全加拿大的持续修复行动建模。	土地利用、土地利用变化和林业

农业用地

农林行状间作	排放量/移除量被计入“农用地、剩余农用地”- 木质生物量类。	土地利用、土地利用变化和林业
避免防风带转化	排放量/移除量被计入“农用地、剩余农用地”- 木质生物量类。	土地利用、土地利用变化和林业
河岸带植树	排放量/移除量被计入“农用地、剩余农用地”- 木质生物量类。	土地利用、土地利用变化和林业
混牧林业	排放量/移除量被计入“农用地、剩余农用地”- 木质生物量类。	土地利用、土地利用变化和林业
养分管理	排放量/移除量被计入“无机氮肥与有机氮肥”(N ₂ O)类。无活动实施程度的当前数据。	农业
秸秆残留 - 生物炭	当前未纳入清单报告。	农业
覆盖作物	排放量/移除量被计入“农用地、剩余农用地”(混作形态的改变;夏季休耕形态的改变)作为两项土地管理方式的改变:夏季休耕的减少和多年生植物的增加。	土地利用、土地利用变化和林业
减耕	排放量/移除量被计入“农用地、剩余农用地”,作为耕作改变的结果(土地管理方式的改变:常规耕作减量、常规耕作停止及其他减量)。	土地利用、土地利用变化和林业
增种豆科植物	排放量/移除量被算作农业土壤(受管控土壤)的N ₂ O直接排放量。	农业
牧场上的豆科植物	当前未纳入清单报告。排放量/移除量被算作农业土壤(受管控土壤)的N ₂ O直接排放量类。	农业
粪便管理	当前未纳入清单报告。排放量/移除量可算作“源于粪便管理(牲畜粪便的处理与存放)的CH ₄ 排放量”。	农业

图 11: 加拿大NCS评估路径与国家清单报告及UNFCCC分类对照表。带色横条的长度表示NCS路径与国家清单报告间全部一致、部分一致或完全不一致。



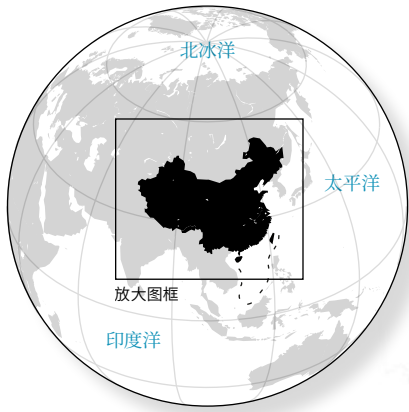
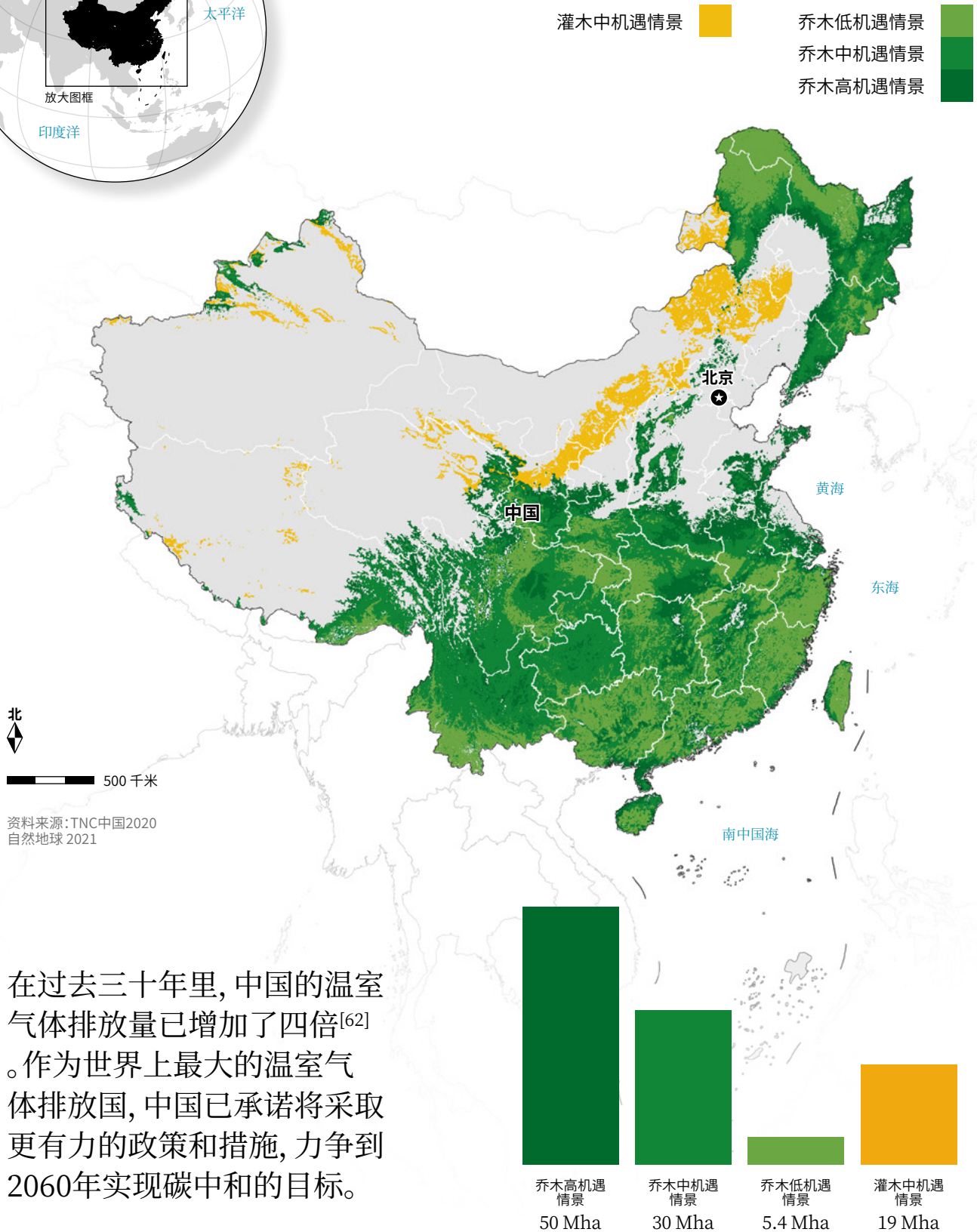


图 12: 中国修复与改善森林管理路径的机遇(乔木的高机遇情景包含中机遇和低机遇情景, 中机遇情景包含低机遇情景; 灌木仅显示中机遇情景)



资料来源: TNC中国2020
自然地球 2021

在过去三十年里, 中国的温室气体排放量已增加了四倍^[62]。作为世界上最大的温室气体排放国, 中国已承诺将采取更有力的政策和措施, 力争到2060年实现碳中和的目标。

“基于自然的解决方案”（下称NbS方案）开始进入中国的政策层面，并在2019年纽约气候峰会期间由中国与新西兰牵头主办的NbS研讨会后被广泛接受。NbS包括利用自然来解决气候变化问题的一整套策略，因此中国团队在构建合作关系和沟通交流时常用NbS这个词来指代基于自然的气候变化解决方案（下称NCS）工作。由于NbS已为大家熟知，推动他们参与NCS工作会更容易。此外，NbS工作涉及多个不同部委，包括自然资源部、生态环境部、农业和农村部以及国家林业和草原局等。TNC中国团队从事NCS/NbS相关工作已逾二十年，因此我们能在现有关系基础上，用NbS这个词将工作推上一个新台阶。

NCS不是降低能源、工业和交通业排放的替代物，但它可作为中国最迟到2060年实现碳中和的各种计划和项目的一个补充。围绕这一假设，该团队推动一系列利益相关者参与其工作，发表科学文章并支持宣传推广和政策制定工作以扩大影响。中国已确定并将长期坚持“绿色”、可持续和低碳发展的国家政策，为在中国加强NCS行动提供了坚实基础。

背景研究

有几个省份正在制定中国2060年实现碳中和的路线图，并提供了NCS减缓潜力的证据。因此，为使政策目标与这一碳中和承诺相一致，NCS评估的时间序列终点被设定为2060年。TNC与其合作伙伴举办了一系列会议，共同梳理中国相关的NCS公共政策，包括森林、湿地、草地和农业相关政策，以便将中国的NCS路径进行优先排序。为进一步弄清中国有哪些NCS路径的减缓潜力既经济又高效，我们完成了文献调研，既包括国家层面和地区层面的研究报告，也包括全球层面的研究报告。最新研究表明，到21世纪中期，中国的农业、林业及其他土地利用行业整体可实现的净碳汇量将达到每年约7亿吨二氧化碳当量^[63]。

TNC的全球分析发现：在中国，“再造林”路径具有最大的气候减缓潜力。“再造林”和“改善森林

管理”路径对中国的国家自主贡献目标贡献极大^[64]。习主席宣布，最迟到2030年，中国森林蓄积量要比2005年增加60亿立方米^[65]。由于持续进行大规模造林，适合造林的土地已逐渐减少，这使“改善森林管理”路径在促进增加森林蓄积量方面显得愈加重要。同时，在缺水地区或为防止荒漠化，在生态学意义上，灌木可能比乔木更适宜用于持续的修复活动。

中国沿海地区的“蓝碳”生态系统（红树林、海草床和盐沼）总面积为1,623-3,850平方公里^[66]。中国各类沼泽湿地的固碳能力总计为每年491万吨二氧化碳当量^[67]。这些蓝碳系统的年平均碳汇量为每年128-306万吨二氧化碳当量。然而，由于气候变化、土地利用转化、资源过度开发和环境污染的综合影响，中国的蓝碳生态系统正在快速退化^[66]。

在过去40年里，由于高投入，中国的农业产量持续增加。联合国粮农组织的统计数据（FAOSTAT）显示，2018年，中国化肥消耗量为5,650万吨，氮肥、磷肥、钾肥的使用量分别占全球总消费量的26%、19%和27%^[68]。中国的草地生态系统碳储量约为全世界草地生态系统碳储量的7.5%，这表明草地保护与修复有着极大的减缓潜力^[69,70]。为减少农业温室气体排放，中国已制定了很多法律法规。在《中国应对气候变化国家方案》中，农业减排已被摆在一个极为重要的位置，这在《“十二五”控制温室气体排放工作方案》^[71]和《“十三五”控制温室气体排放工作方案》^[72]均已提及。在中国的国家自主贡献中，与养分管理相关的行动对减少温室气体排放也至关重要。

通过政策与文献调研收集到足够信息后，我们同来自政府、学术界、公共和私营部门的专家举行了多场非正式和正式的会议。这让我们更深入地了解他们在应对气候变化问题方面的需求和战略规划，并知晓实施NCS可能遇到的潜在障碍和机遇，但无论如何，推动实施NCS都将是该国实现国家自主贡献目标的一个成本有效的选项。

NbS包括利用自然来解决气候变化问题的一整套策略,因此中国团队常用NbS来指代其NCS工作。



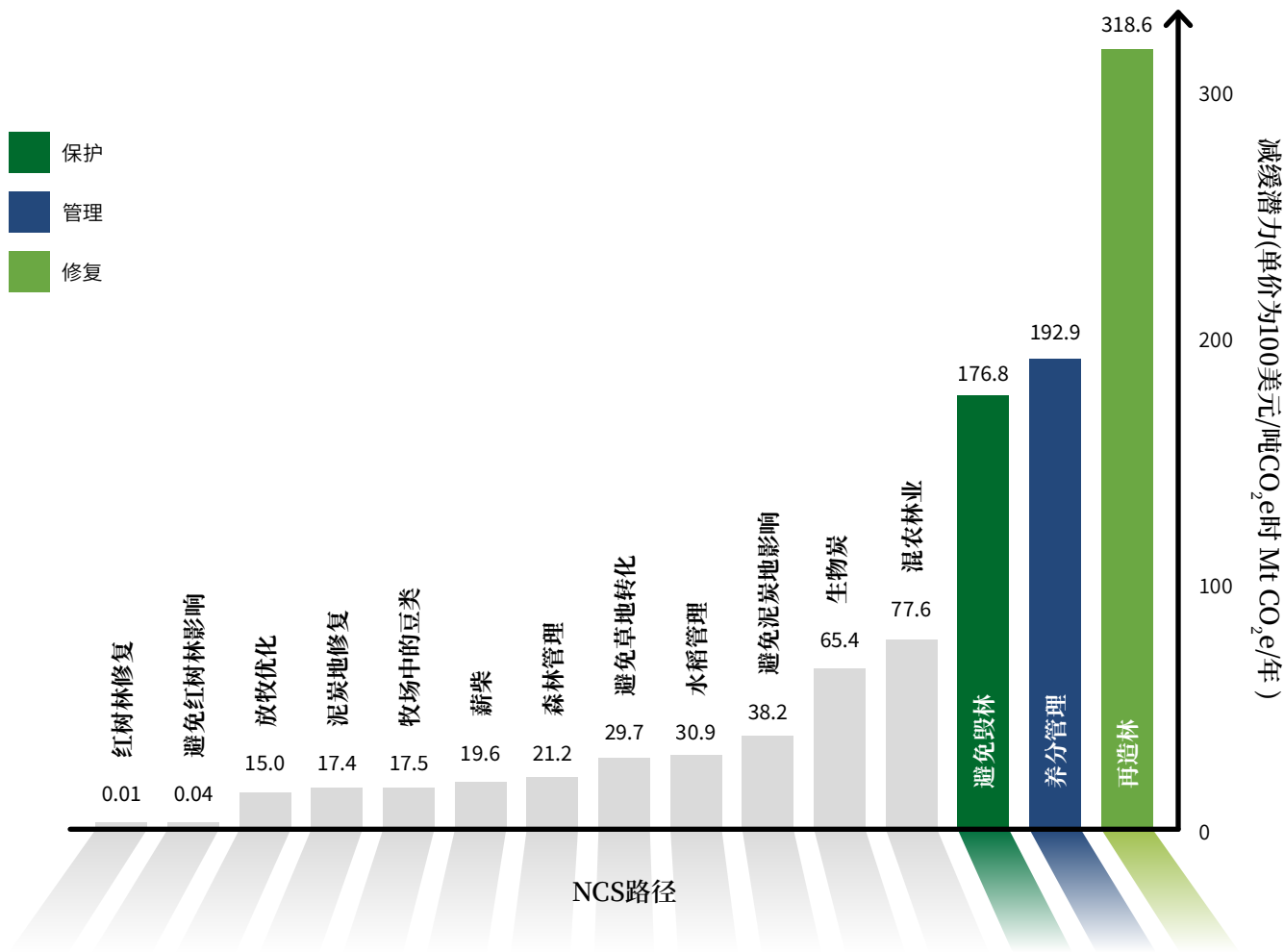


图 13: 数据源自NCS世界地图集中国概况

中国的NCS路径

项目团队由TNC中国员工组成;该团队同TNC全球团队及其他国际和本地合作伙伴保持紧密合作。利用全球数据^[2,31,50] (见上列图13), 该团队确定了成本效益最高的三条路径: “再造林”、“养分管理”及“避免毁林”;这三条路径加在一起, 每年可减排6.88亿吨二氧化碳当量。

尽管全球数据显示, “避免毁林”是一种极具潜力的减缓选项, 但鉴于中国已启动“生态保护红线”^[73], 今后发生永久性森林转化事件的可能性应会很低(生态红线旨在保护中国大陆四分之一以上的

重要生态系统), 因此, 要激发中国采取更大行动来“避免森林转化”将会十分困难。在中国, “再造林”和“养分管理”路径都具有极高的减缓潜力且成本较低。此外, TNC中国团队参与植树造林和森林管理项目工作已有20年, 二者具有互补性且为实施新的再造林和森林管理方案提供了一个重要机遇。基于上述原因, 我们选择“再造林”、“养分管理”和“改善森林管理”路径作为进行减缓潜力分析的优先路径。中国团队与中国农业科学院、中国科学院和中国林业科学研究院的专家合作, 根据各团队专业知识及其在中国气候变化减缓领域的影响力开展评估工作。

5.



Misty mountain ridges of Laohogou Nature Reserve, Sichuan Province, China. © Nick Hall/TNC

经验教训

建立战略伙伴关系是营建合作关系、展示我们的工作及影响决策过程的关键一步。为确保NCS结果令人信服且为决策者所采用以加强NCS的实施力度，我们与生态环境部的直属机构 – 国家应对气候变化战略研究和国际合作中心及清华大学气候变化与可持续发展研究院开展密切合作。这两个机构都是重要而具有影响力的智库，他们在气候治理方面为政策制定者提供技术和政策支持及建议。

在主流期刊上发表文章对影响中国的气候变化减缓也同样重要。在2020年初，我们在《气候变化研究进展》^[74]期刊上发表了一篇NCS专题论文。该论文的研究发现被收录于中国自然资源部的内部参考材料。此外，我们还完成一本专著，专门介绍与实施NbS方案干预行动相关的多种方法论和最佳实践方法^[75]。

促进跨行业合作以实现气候政策效益最大化的策略极为重要。NCS方案涉及多种不同生态系统，但中国的相关政策却由多个部门分别执行（含自然资源部、生态环境部、农业和农村部、国家林业和草原局等），这主要是因为当前的行政管理体制如此。为

全面开发NCS的潜力，TNC中国团队在实地工作层面和政策层面都在同多个部委的关键部门开展合作，而非仅同直接负责气候变化政策的部门合作。

NCS对帮助中国实现其碳中和的承诺十分重要。作为一项“无悔”策略，NCS对中国实现碳中和的目标至关重要，同时它也可提供有益于生物多样性、社区居民和经济宝贵的多重协同效益。中国政府已制定了“十四五规划”，未来五年对中国能否成功实现这一承诺具有十分重要的意义。“十四五规划”重新强调“绿色”、可持续和低碳发展，这增加了多行业借助NCS进行政策设计和实施NCS策略的可能性。

鉴于公共政策已重视NCS策略，未来TNC将进一步调研“湿地修复”、“保护性农业”和“优化放牧”等路径的减缓潜力。这也是一个同农牧业相关的行业建立更紧密联系的好机会。中国温室气体排放总量的60%以上来自于各类企业的生产活动，因此，为提升NCS的实施力度，推动企业参与也非常重要。2021年年初，中国最大的几家企业宣布了启动其碳中和规划，而有些企业也承诺在2030年或2040年前实现碳中和，所以这是一个激活企业投资于NCS项目实施的好时机。

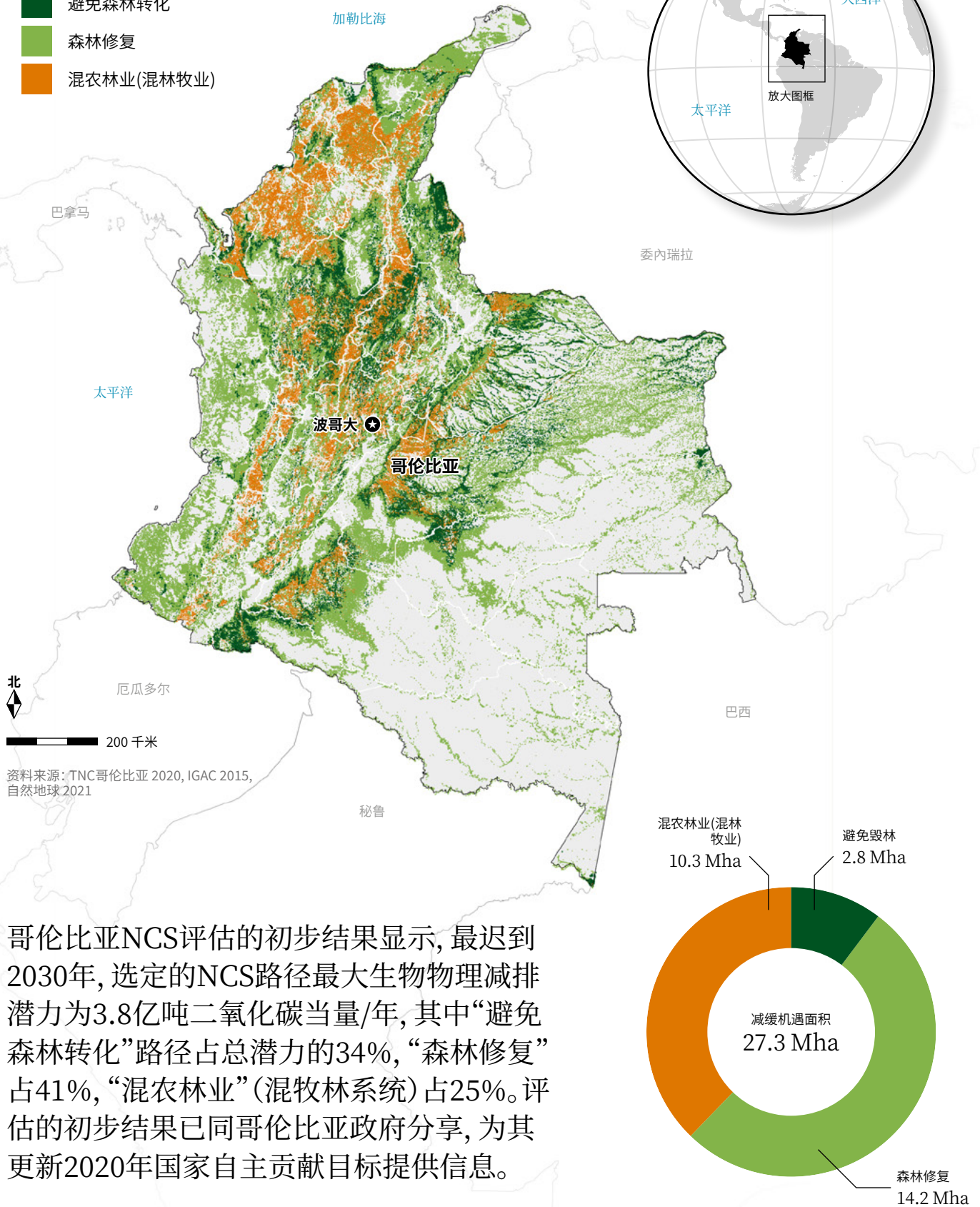


哥伦比亚

5.

图 14: 哥伦比亚的NCS机遇面积

- 避免森林转化
- 森林修复
- 混农林业(混林牧业)



资料来源: TNC哥伦比亚 2020, IGAC 2015, 自然地球 2021

哥伦比亚NCS评估的初步结果显示,最迟到2030年,选定的NCS路径最大生物物理减排潜力为3.8亿吨二氧化碳当量/年,其中“避免森林转化”路径占总潜力的34%，“森林修复”占41%，“混农林业”(混牧林系统)占25%。评估的初步结果已同哥伦比亚政府分享,为其更新2020年国家自主贡献目标提供信息。

2020年年末,哥伦比亚政府宣布了一项历史性决定,即以2010年的减排量为基线,将其国家自主贡献承诺的减排目标提高51% - 这相当于最迟到2030年平均每年减少约1.694亿吨的二氧化碳当量。该减排总量的近75%将靠农业、林业及其他土地利用行业(AFOLU)实施有关措施来实现,包括减少毁林、修复和实施混牧林业和其他混农林业系统。

目前,哥伦比亚的农业、林业和其他土地利用行业的排放量占全国总排放量的62%(全球层面上为24%),主要源自于毁林、森林退化和传统养牛业。农林牧业的高排放率为实施旨在减少排放量的保护、管理和修复自然生态系统类项目行动提供了机会。

2017年,哥伦比亚公布了适用于使用化石燃料的企业的“国家碳税”^[76,77];当前税率约为5美元/吨二氧化碳当量,以后则会视该国的年通胀情况而增加。鉴于该国当前的国情,被纳入征税范围的企业可有两种选择:第一、企业按其化石燃料用量所对应的排放量直接缴税;第二、通过在哥伦比亚开发的可产生碳信用额的项目(很多属农业、林业和其他土地利用行业项目)来抵减企业的碳足迹。对企业而言,自愿的碳市场可为其提供一个遵守“国家碳税法”的灵活选项。

背景研究

我们的文献调研涉及范围很广,既包括在索引期刊上发表的科学论文,也包括大学图书馆中存储的在线和纸质论文、政府的官方报告,当然还有TNC和其他非政府组织和企业撰写的成果报告。我们从中收集了关于毁林、土地适宜性和国家修复计划的最新官方报告和地图,当然还有在照常

情景土地转化(如毁林)涉及的碳含量及其轨迹的国别信息,以及在该国实施NCS的替代方案(如森林保护与修复、混牧林系统)的信息。此外,为填补信息空白,TNC哥伦比亚团队还利用早前的分析,整理出可在该国实施的关键NCS路径的碳储量及其变化的信息。

我们研究了哥伦比亚应对气候变化的公共政策,特别是关于混农林业及其他土地利用行业的政策,并从中发现主要政策趋势;同时,我们也找到同最优NCS路径(可更好地促进实现国家和国际目标的路径)相关联的几个突破口。我们研究过的政策都与哥伦比亚的国家发展计划有关且有意在经济增长与减排二者间的联系节点上有所突破,包括哥伦比亚低碳发展战略、国家应对气候变化政策和管控毁林与森林管理的国家战略。我们还研究了国家层面的发展战略和区域性计划,如“国家修复计划”和“亚马逊愿景计划”。

哥伦比亚的NCS路径

项目团队最初确定了13个与哥伦比亚相关的NCS路径,并结合当地情况对这些路径的界定作了适应性调整和优化。为分析这些路径,我们按照许多利益相关者评定的几项标准对路径进行评级,然后采用结构式的方法对这些路径进行进一步排序;评级标准包括:减缓潜力、政府兴趣、可能的协同效益、数据可获得性及TNC工作人员的能力。

在实施NCS路径排序前,TNC团队组织了几场与学术界、政府部门和企业专家的研讨会,这些会议对随后的NCS路径优先排序工作非常重要,因为它们帮助团队了解到参会者的需求和减少碳排放的战略规划,并与他们探讨如何推动NCS策略在该国



A woman in Colombia involved in the sustainable ranching program cuts timber to be used for fences, furniture, or cattle fodder. © Juan Arredondo/TNC

实施, 以及在此过程中可能存在的各种障碍和机遇; 各方参会者都认可NCS是成本有效, 有助于哥伦比亚实现其减排目标并支持其更新国家自主贡献计划的可选策略。

同政府部门的沟通交流方面, 我们与哥伦比亚政府的环境和可持续发展部、农业和农村发展部及对外事务部举行了会议, 以便了解政府修订国家自主贡献目标的策略并倡导其在修订这些目标和行动时纳入NCS策略。我们还邀请了负责编制国家森林和温室气体清单及毁林报告等相关信息的其他技术机构参加这些会议。这有助于我们了解可得到并纳入NCS评估的官方信息有哪些。

最后, 我们也同该国民间和企业界的利益相关者举行会商, 包括哥伦比亚的能源和工业行业内的多家企业; 这些利益相关者承诺要减少自己企业的排放量。这有助于我们选定既可帮助他们实现其减排目标又符合其利益的NCS路径。

排序最优先的三条路径: “避免森林转化”、“森林修复”及“混农林业”(混牧林系统); 这三项被识别为气候变化减缓潜力最大且与哥伦比亚实现其增量减排目标最相关的路径。

虽然哥伦比亚是地球上单位土地面积内生物多样性第二丰富的国家^[78], 但毁林、生态系统退化和不

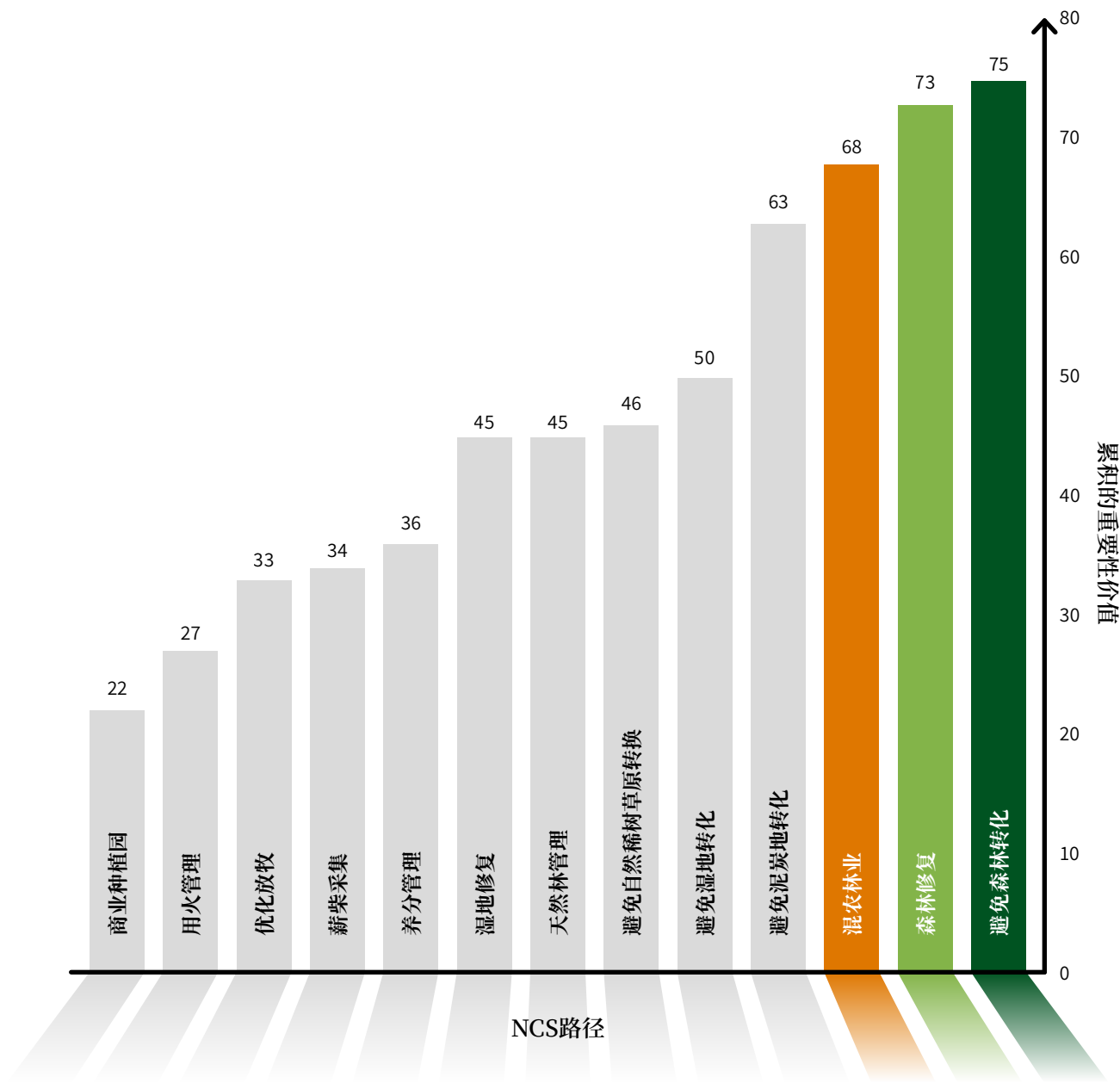


图 15: 以综合评级为基础进行排序而得, 用于分析的哥伦比亚NCS优选路径

可持续的生产方式正威胁着当地的生物多样性。因此, 准确分析与每个NCS路径的减缓潜力相关的生物多样性协同效益, 将有助于突显哥伦比亚拟保护和修复的关键区域。TNC哥伦比亚团队评估了7,000多种脊椎动物的生境及分布状况, 重点是受危物种和特有物种。这项评估的目的是将哥伦比亚的优先NCS路径的减缓潜力与生物多样性指数(涉及丰富度和代表性)联系起来。

此外, 在完成哥伦比亚每个NCS路径处于不同碳价时的成本分析(含现行碳税 - 5美元/吨二氧化碳当量)后, TNC哥伦比亚团队还完成了关于水与社会协同效益的跟进评估。最后, TNC哥伦比亚团队还分析了该国政府与民间实施NCS项目过程中可能遇到的障碍和机遇; 该分析让我们看清该如何推动NCS实施, 使其成为该国碳市场的催化剂及当地社区的替代性融资方案。

经验教训

哥伦比亚拥有一个负责制定实施NCS项目标准的健全的气候变化政策与体制框架。但这个现有框架自身也带着可影响NCS项目实施的多重障碍。TNC团队发现的障碍包括：

- 公务员的较高人员流动影响决策机构的工作效率。
- 机构间和地区间的协调工作无预算和人员支持,使方案实施极为困难且受个别公务员的喜好和能力所影响。
- 该国应对气候变化的规划工具和土地利用的规划工具之间既无明确的一致性,也不会设置

一个监测系统来保证各类项目的空间评估具有合理性或有效性。

- 在哥伦比亚,仅有37%的农村家庭是土地所有者,而其中仅59%拥有合法的土地所有权。
- 缺乏可用于评估在不同地理尺度和具体干预环境中实施的NCS项目成效的简单和标准化的衡量标准。此外,行业间、区域与国家层面的监测机制间相互隔绝,无法共享信息。
- 每个行业和地区的气候变化计划必须确定并包括实施优先措施所需的资金来源,减少对国际合作资源的过度依赖。
- 占哥伦比亚毁林总量84%的城市同时也是饱受贫困、冲突和治理薄弱影响的地区。

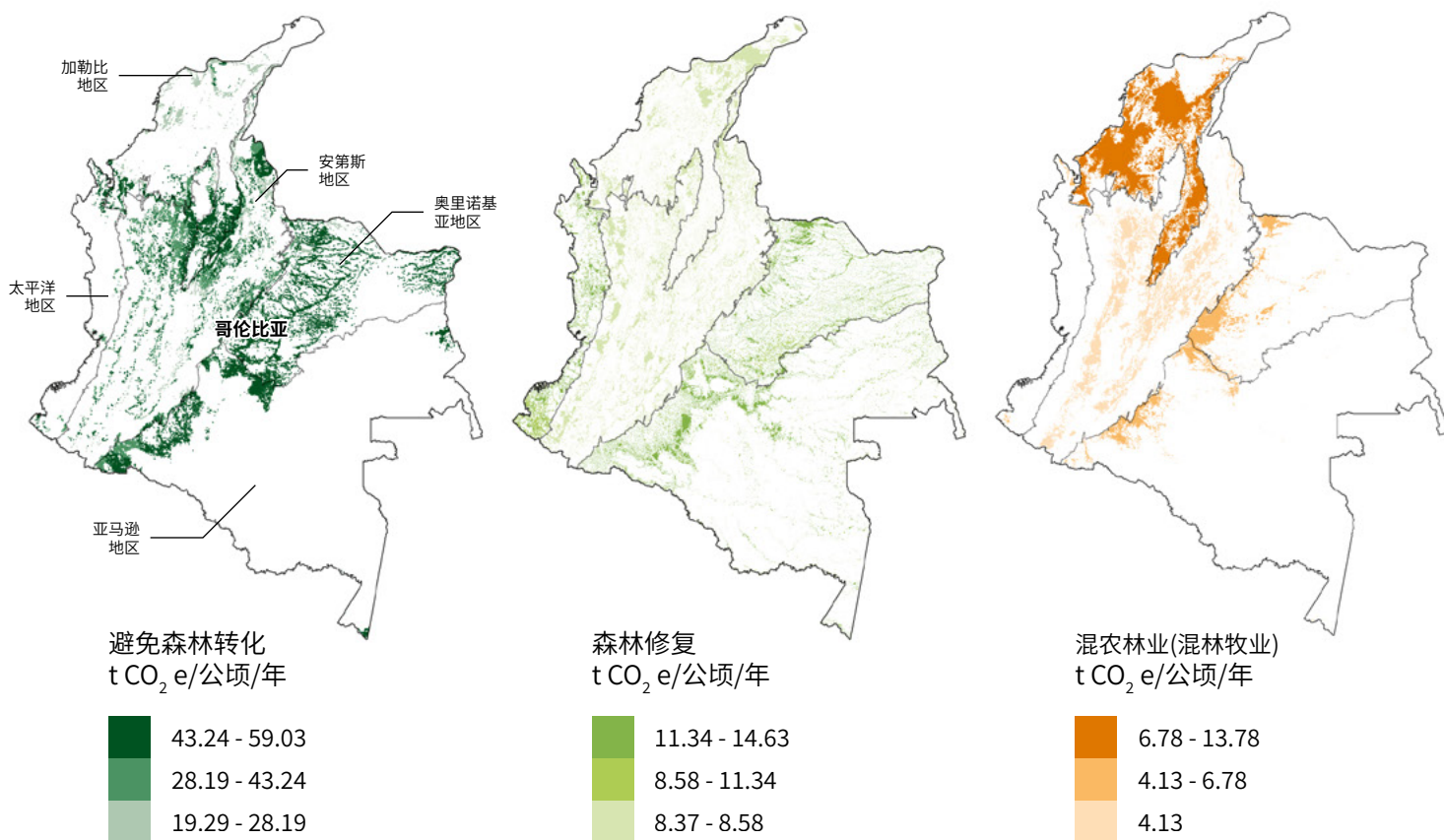



图 16: 2030年哥伦比亚具有年度最大减缓潜力的NCS路径 - “避免森林转化”、“森林修复”及“混农林业”(混牧林系统)

资料来源: TNC 哥伦比亚 2020, IGAC 2015



除减缓潜力外，TNC哥伦比亚团队还分析了生物多样性、水效益和社会协同效益，以进一步突显拟保护和修复的重点地区。不同价位时的成本分析和障碍与机遇分析有助于我们看清该NCS实施的可行路径。



TNC Colombia team conducting field training on cocoa crops in the Amazon region, Colombia. © Adrian Rico

关于哥伦比亚的企业界参与实施NCS的障碍和机遇的分析显示：

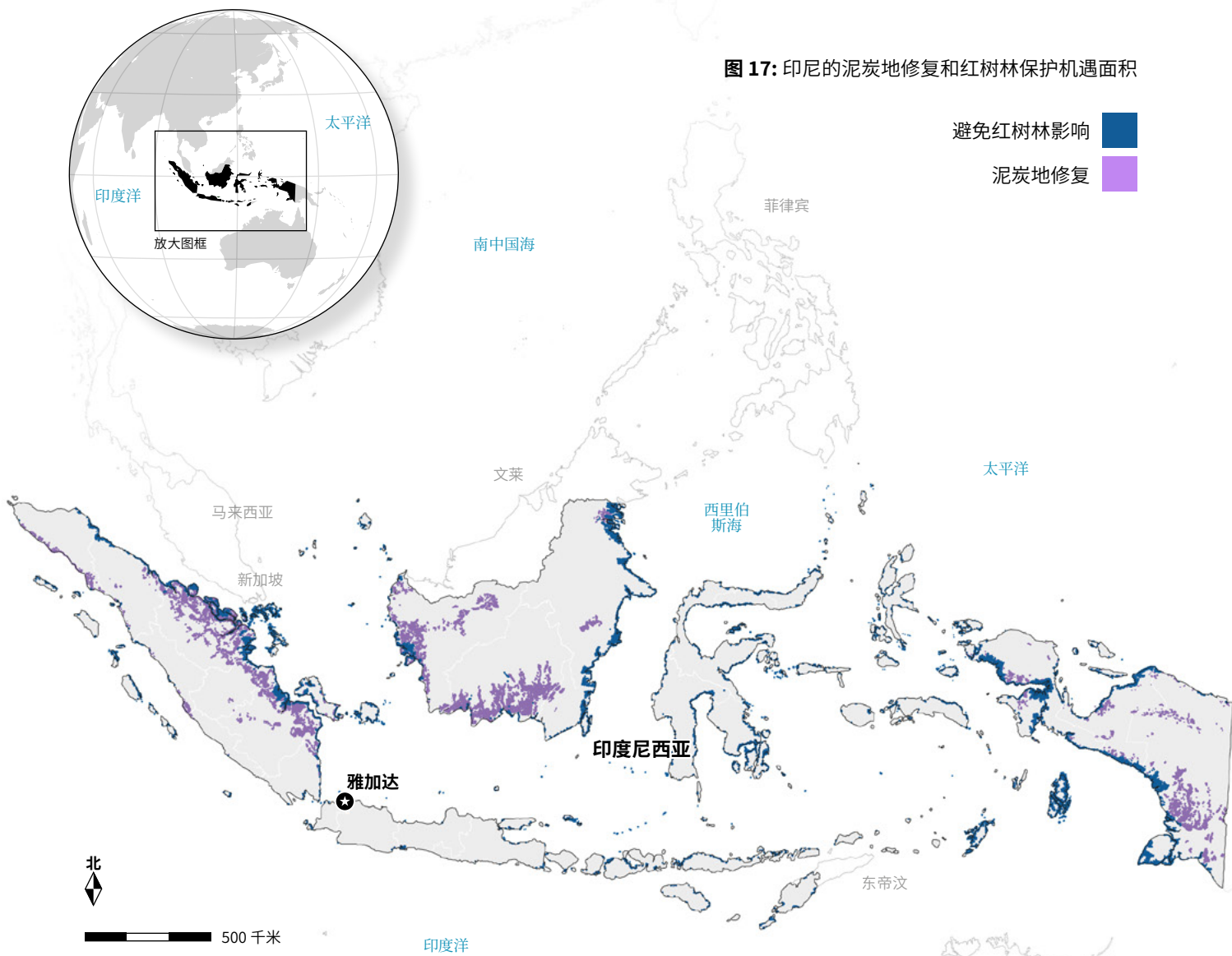
- 一般企业最看重的环境投资或活动，是那些可在短期内直接影响其核心业务和资金状况的投资或活动。这可表明：农业、林业及其他土地利用行业和能源行业更可能实施NCS行动。
- 金融机构内部缺乏对NCS项目、其盈利能力、风险和担保方式的了解，这是企业投资于NCS项目的一个障碍。
- 极少有企业或个人有能力开展大规模（只有如此才能产生减缓效益）的生物多样性和气候变化减缓项目。
- 在法律上，该国土地使用权的效力非常弱，这本身就是实施大量项目和征地的一大障碍。

为克服这些障碍，我们拟采取的有关行动包括：

- 为拟实施NCS项目的地区制定景观尺度的土地利用规划战略提供设计方面的帮助。
- 为哥伦比亚政府优化各项跨行业战略议程和协调NCS相关实施政策提供支持。
- 采用微观土地规划的方式实施NCS项目，作为局地土地利用规划项目的补充。
- 在优先实施NCS的地区创造参与机会以促进局地土地利用规划项目的活力。
- 补充与NCS创收计划有关的干预模式，将强化价值链的生计活动与景观管理行动融合，这对毁林现象最严重的城市尤为重要，因为其饱受贫困、冲突和治理薄弱的影响。

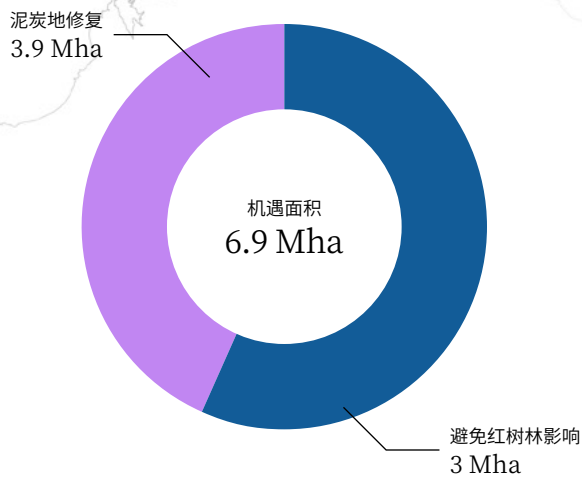


印度尼西亚



资料来源: Yayasan Konservasi Alam Nusantara, 印尼环境与林业部2019, 印尼农业部2011, 自然地球 2021

除纷繁多样的热带常绿林外, 印尼还富集湿地, 泥炭地和红树林生态系统随处可见, 这些都是热带地区碳密度最高的生态系统。虽然湿地森林只占印尼森林总面积的一小部分, 但在实现印尼的减排目标方面却能发挥重要作用。





Fishermen pass through mangrove forests in Langsa City, Aceh Province, Indonesia. © Junaidi Hanafiah/TNC

在过去二十年，印度尼西亚（下称印尼）经济经历了一个飞速发展时期，其发展速度跃居二十国集团（G20）的第二位。印尼已批准加入《巴黎协定》，并提交了首次国家自主贡献目标。印尼承诺，最迟到2030年，该国将在2010年的基础上无条件减少29%的温室气体排放量，并在有条件的情况下（若能获得国际资金支持），在无外力介入的情况下该国将可减少高达41%的排放量。2006年至2016年期间，印尼的年均温室气体排放量为7.11亿吨二氧化碳当量^[79]。林业是近年来印尼温室气体排放的主要来源（44%），预计可为国家的无条件目标贡献17%（即4.97亿吨二氧化碳当量）的减排量。碳排放主要源自农业、林业和其他土地利用行业，基本方式是泥炭分解、泥炭火灾和开垦耕地。据估计，在热带国家中，印尼拥有最高的NCS潜力^[80]。

除纷繁多样的热带常绿林外，印尼还富集湿地，泥炭地 and 红树林生态系统随处可见，这些都是热带地区碳密度最高的生态系统。虽然湿地森林只占

印尼森林总面积的一小部分，但在实现印尼的减排目标方面却能发挥重要作用。印尼有1.26亿公顷的森林，其中45%的区域被划定为保护地，其余区域则可用于生产目的。印尼有1,490万公顷泥炭地，占东南亚泥炭碳总量的84%^[81]或全球泥炭量的18%^[82]。在印尼总长达95,000公里的海岸线上，红树林占地330万公顷^[83]，其面积为全世界之最。

印尼政府极可能在更新当前国家自主贡献目标时不会增加其减排目标，因为相对于其国家经济增长目标，该国当前的减排目标已经很高了。政府的重点是通过实施多项战略来实现既定目标。不过，印尼政府并未明确排除未来更新其国家自主贡献目标时提高减排目标的可能性。在此背景下，涵盖科学、经济和政策因素分析的NCS评估可让我们看清可将资金导向哪些地方最能产生效益。它还将为未来提高减排目标奠定基础和提高信心，并使印度尼西亚未来实施的减排项目获得更多的认可和激励。

背景研究

TNC及其印尼当地的主要合作伙伴YKAN于2020年1月在茂物共同组织了一次全国性的研讨会，专门讨论印尼可纳入NCS评估的优先路径。选定NCS优先路径的工作要同该国环境和林业部下属的研究、开发与创新机构合作进行，涉及政策制定者、富有影响力的科学家和研究中心、企业和非政府组织。

印尼NCS评估的主要目标之一，是向该国政府提供有力的科学证据，以优化减缓机会，从而支持印尼在2030年前实现其国家自主贡献目标。因其为减少毁林和森林退化造成的排放做了许多工作，印尼向挪威和绿色气候基金申请“基于REDD+结果(减少毁林和森林退化所致温室气体排放结果)”的两项赠款并获得批准。虽然在印尼，实施“避免森林转化”路径的方法和监测体系都已相当先进，但仍需改善“泥炭修复”和“可持续森林管理”等其他路径的国家监测体系。

印尼正在更新其于2015年公布的第一个“森林参考排放水平”(下称“参考水平”)文件。第二个参考水平文件拟于2021年底提交；该文件将有两项主要改善：1)增加更多减缓行动；2)采用更高层级的方法学(即基于政府间气候变化专门委员会指南^[84]提出的更复杂和准确的方法)和最佳可得科学来改善活动数据和排放因子。第一个参考水平文件包含三种避免排放的减缓行动，涉及毁林、退化和泥炭分解。在第二个参考水平文件中，印尼政府很可能会增加三项干预措施，涉及泥炭火灾排放、红树林土壤碳和再造林。在印尼的NCS团队将向印尼政府提供技术支持，以改善专用于泥炭火灾、泥炭分解和受红树林影响的避免排放的温室气体核算方法。

印尼的NCS项目团队将为该国国家层面的决策者提供有力的科学和技术支持，如泥炭和红树林影响的核算方法，以优化减缓机遇并支持印尼实现其国家自主贡献目标。

印尼的NCS路径

根据当前可用的科学证据、减缓潜力、减缓行动的有效性，以及同国家战略的一致性要求，我们选定了印尼的优先路径。为进行印尼的NCS评估，七项策略被列为优先路径，包括：“避免森林转化”、“再造林”、“可持续森林管理”、“避免泥炭地转化”、“泥炭地修复”、“避免红树林转化”及“红树林修复”。

与其他策略相比，泥炭地具有最高的NCS实施潜力；该路径同时包括避免毁林(植被丧失和泥炭分解)、避免泥炭火灾和通过还湿进行泥炭地修复。根据我们的分析，因土地覆盖变化可避免的泥炭分解有可能避免年均4.59亿吨二氧化碳当量的排放量，其次是避免泥炭火灾可减少的年均2.17亿吨二氧化碳当量的排放量。大多数泥炭的二氧化碳排放来自于土壤，而植被丧失每年只排放4200万吨的二氧化碳当量。泥炭修复是一个很有希望的战略或路径，它有可能减少年均2.05亿吨的二氧化碳当量，但这并不能抵消因泥炭地土地利用或土地覆盖改变而导致的排放量。总之，我们计算出避免泥炭地转化、避免泥炭火灾和修复泥炭地这些路径的潜在减排量预计为每年9.24亿吨二氧化碳当量，这几乎等于印尼自主贡献目标中所述的林业减排目标(4.97亿吨二氧化碳当量/年)的两倍(见图19)。

印尼拥有全世界最大面积的红树林；据报道，红树林生态系统的碳密度估计为563^[2]和951-1,083 t C/ha^[85,86]。我们的分析发现，这个数字是1,063±47 t C/ha。通过完成印尼NCS评估，我们的团队正在汇编一个全面和最新的数据集，可为政策制定者提供必要信息以确定保护和修复行动在气候变化减缓和适应战略方面的价值。以前政府间气候变化专门委员会(2014)^[87]和Griscom等(2017)^[2]对红树林的估值分别比印尼最近的官方估值低2.6倍和5倍。我们试图利用第2层次(中间水平)数据来优化这些早前估值，从而完善关于红树林的官方排放系数(从活动层面的数据来看，全印尼都用该系数来估算排放量)。虽然对印尼红树林生态系统的土壤碳排放的研究有限，但忽视这一重要的碳库将阻碍印尼实现其2030年减排目标。该国目前正考虑将红树林土壤碳纳入第二次参考水平文件。



印尼NCS项目团队为该国的决策者提供有力的科学和技术支持,如泥炭和红树林影响的核算方法,以优化减缓机遇并支持印尼实现其自主贡献目标。

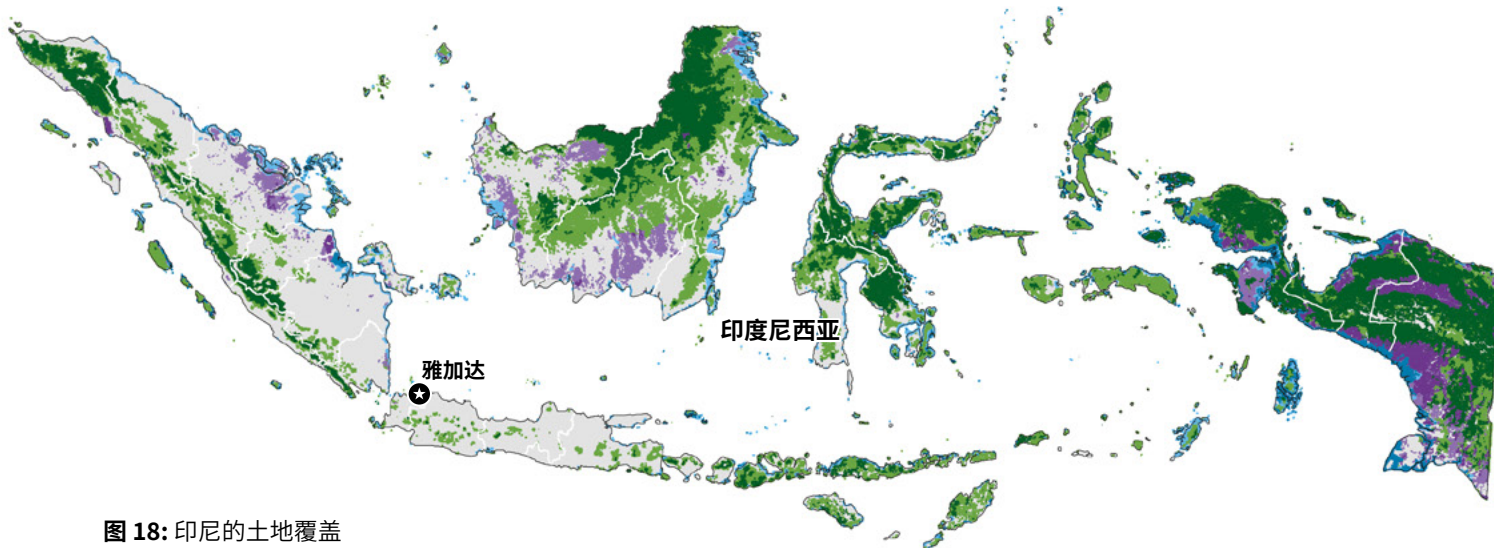


图 18: 印尼的土地覆盖



资料来源: 印尼环境与林业部 2019, 自然地球 2021

经验教训

政府目标最终都需有资金支持, 且由科学发现、政治及行业利益等其他因素共同决定。科学评估的价值对科学家而言或许非常清楚, 但对政策制定者则不同 – 因为资金有限, 他们要考虑哪些是优先重点哪些不是 – 总之, 政策制定者既要权衡很多其他因素, 同时也想获得最大成效。因此, 这类研究最好能提供协同效益, 以顾及政府的其他考虑因素, 为其科学优先重点提供信息指引, 这点非常重要。除提供作为研究重点的科学分析外, 印尼NCS研究还将分析实施中会遇到的经济和政策障碍。

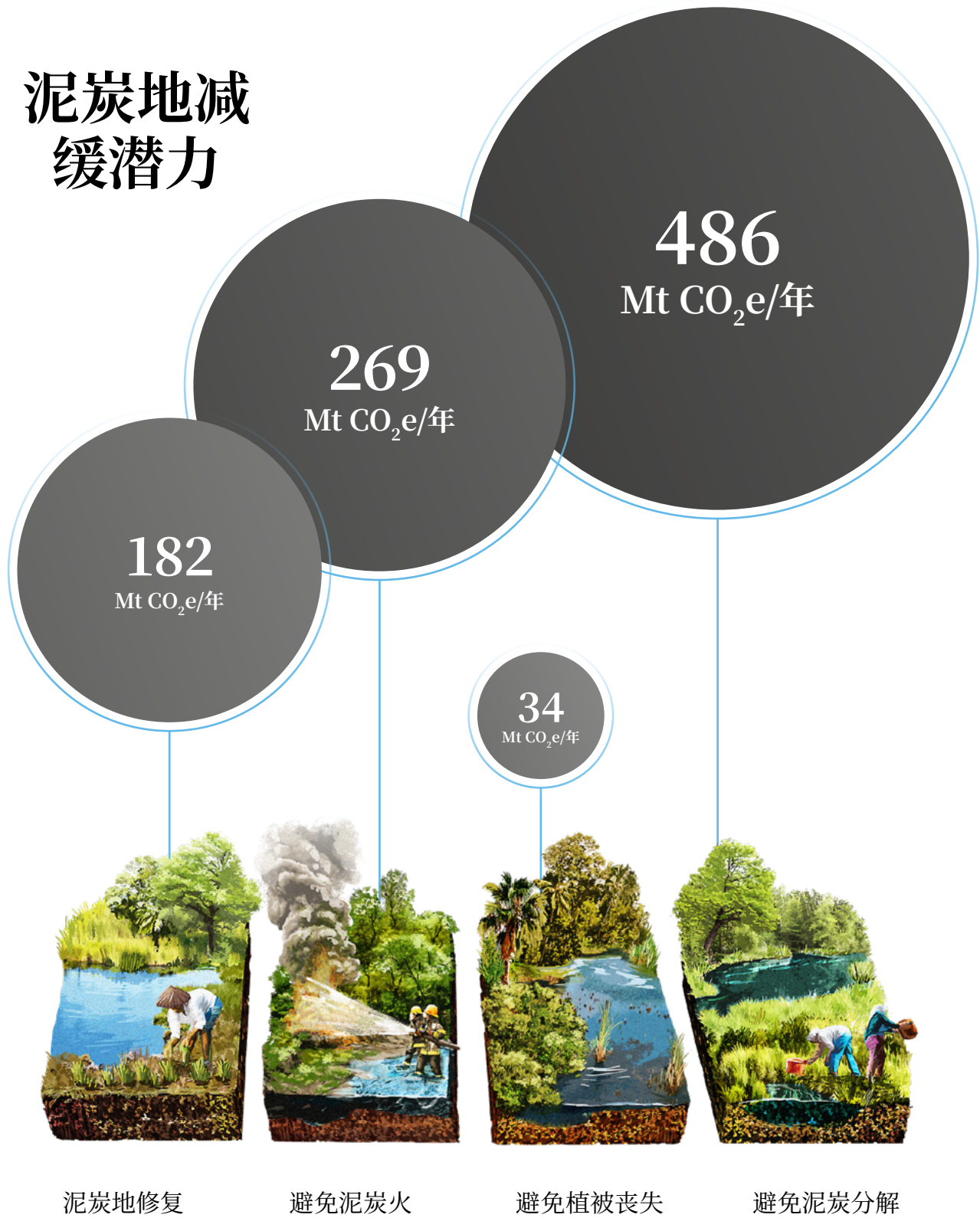
气候往往不会被列为国家发展的一项主要考虑因素, 因此融合气候与发展的科学是政策设计的重要支撑。在提供科学信息并指导这些政策的实施上, 科学界需要发挥更大的作用。经济增长对政府非常重要, 同时也有助于吸引国际投资。因此, 将经济可行性分析纳入印尼的NCS评估非常重要 – 这将提供利用气候变化减缓和经济发展的“双赢”机遇。

科学家和NGO可能也想为制定政策做贡献, 但现实是, 政策制定过程常不能面面俱到。参与政策制定是一门艺术, 参与者必须向各级技术人员和不同层级的管理者做宣传推广, 确保在极少量机会内有效而及时地实现策略性沟通。用此方法传递信息应能打动听众, 告诉他们我们侧重于科学, 以及该如何利用和实施科学, 这样就会提高建议被听取和采纳的前景。

通过与印尼政府代表的一系列会议和研讨会来传播我们的NCS工作, 有助于推动决策者采用最佳的可用科学结果。为使NCS工作广为人知并扩大在印尼开展研究的机会, 从而让NCS的实施获得支持, 我们还于2020年10月和2021年4月组织了两次全国性的线上研讨会(NCS和红树林专题)。我们邀请了有影响的人士在会上发言, 包括NCS科学家、国家和多个省政府的代表、社会民间组织的代表及公众代表。我们还定期更新在社交媒体(Instagram)上的全部NCS优先路径信息, 并在知名杂志和报纸上发表泥炭火灾研究文章。



泥炭地减缓潜力



泥炭地修复

避免泥炭火

避免植被丧失

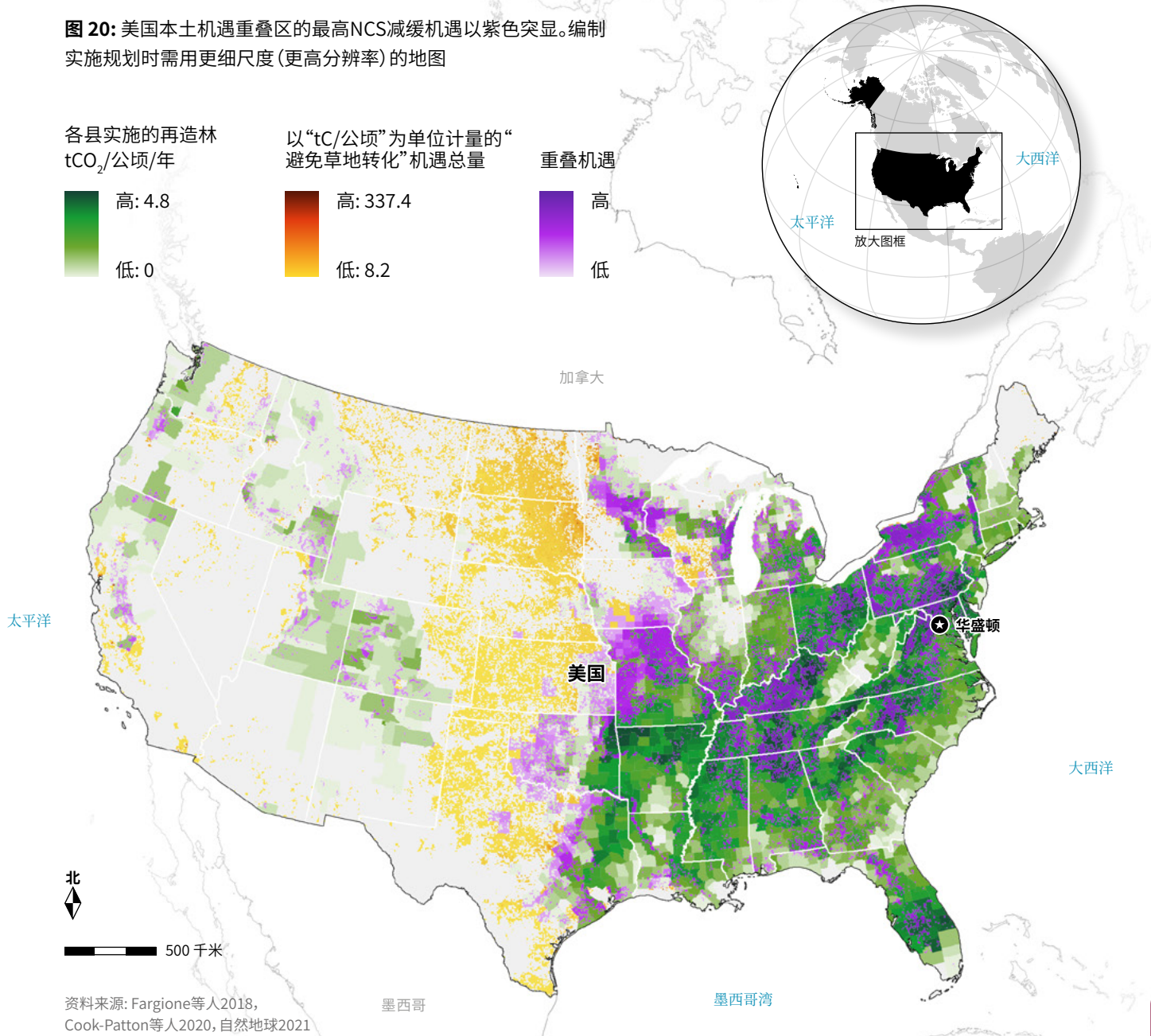
避免泥炭分解

图 19: 印尼的“避免泥炭影响”与“泥炭修复”路径的潜在的减排能力



5.

图 20: 美国本土机遇重叠区的最高NCS减缓机遇以紫色突显。编制实施规划时需用更细尺度(更高分辨率)的地图



在发布和宣传NCS全球研究报告之后，我们意识到，决策者需要国家层面的评估结果来指导行动。美国NCS评估^[39]是我们完成的第一个国家层面的分析报告。虽然我们修改了路径以适应美国的实际，但我们仍使用一般性框架及在NCS全球研究中制定的核算规则和保障措施。

避免草地转化面积
0.7 Mha

再造林面积
54 Mha



A buffer strip along the edge of a field in Michigan, U.S. prevents nutrients and soil from running off the field and entering local waterways. © Jason Whalen/Fauna Creative

背景研究

在方法上,我们基本采用本手册中描述的方法。从邀请关键专家研讨开始,我们确定了拟纳入本次评估的最佳可得信息有哪些。随后,我们组建了针对各个路径的独立研究小组。只要可能,我们都安排多位专家参与一个专题以确保将每个专题都研究透。对每个路径,我们解决了四个问题:1) 美国的NCS最大气候变化减缓潜力有多大?2) 这些估值的不确定性有哪些?3) 价格为10美元、50美元和100美元时可实现的潜力占最大潜力的比例是多少?4) 实施NCS项目可提供哪些协同效益?


美国的NCS路径

虽然我们利用了全球性研究的框架,但我们也修改了路径清单和每条路径的范围,以适应美国的实际。例如,鉴于城市绿化对美国许多社区的重要性,我们将城市再造林路径纳入清单。我们还调整了有计划烧除路径,使其侧重于在易发山火的森林区域实施大规模的有计划烧除,以防发生更多灾难性的山火。

我们的最终分析包括21个不同的路径,这是首次全面评估美国48个州的NCS潜力。我们发现,实施NCS的总减缓潜力为每年12亿吨二氧化碳当量^[39]。其中,“再造林”路径有着最高的减缓潜力,其次是“天然林管理”,再次是“避免草地转化”。不过,在成本效益上,排名次序则有所变化;与其他路径相比,“覆盖作物”和“天然林管理”路径成本较低,因此机遇最大。虽然大部分减缓潜力(63%)来自于增加植物生物质碳汇,但却有29%来自于增加土壤碳储存,7%来自于避免甲烷和氧化亚氮排放。此外,我们估计每吨二氧化碳当量在低于10美元的价格时可实现近四分之一的潜力。

经验教训

进行评估的最大挑战之一是数据的不均衡性。这对湿地类路径来说是一个特别的挑战,因为缺乏甲烷排放和净固碳量的数据,还有就是不同类型湿地中甲烷排放量和固碳量各不相同。即便有此顾虑,总体上美国的数据可得性和质量非常好。此外,美国的政府决策者更愿意考虑来源广泛但可靠的数据,而非受某官方限制却不一定符合评估需要的数据。



虽然对NCS减缓潜力的技术分析可揭示出各种机遇,但估算出其可行性(能否采用)则更加重要。将这类信息分解到次国家层面,并提供可视化工具对信息进行解读,会对政策制定产生重大影响。



Pannes (pools) in saltmarsh of Lower Kennebec in Maine, U.S. © Harold E. Malde/TNC

虽然关于土地领域减缓的对话有时把重点放在欠发达国家存在的巨大机遇上，但评估显示，即使在美国这样的发达国家，土地领域仍可对气候变化减缓做出重要贡献。美国是化石源二氧化碳累计排放量最大的国家^[88]，其温室气体年排放量居世界第二位^[89]。尽管美国使用化石燃料产生的温室气体排放量巨大，但我们仍发现NCS有相当大的减缓潜力，其减排量相当于年净排放量的21%。

开发州级层面的数据和可视化工具可极大地影响政策制定。2018年，该论文发表在由同行审稿，公开发行的期刊《科学进展》(Science Advances)上。此后，论文已被100多项科研报告引用。这篇论文也

引起美国国会议员的关注，论文第一作者受邀对其研究结果进行答辩。我们还在自然气候联盟的网站上(Nature4Climate.org)开发了一个名为美国制图工具(U.S. State Mapper)的网络工具，按路径和不同成本的阈值提供州一级的NCS潜力估值。事实证明，这些估值提供的信息极大的助力了美国气候联盟(U.S. Climate Alliance)的自然和土地利用工作组开展的讨论。该联盟由美国有意参与应对气候变化的那些州组成的联盟。而作为该工作组的参与方，NGO联盟主办了一系列“学习班”活动；从2018年7月在华盛顿特区举办的一项全层面的学习班开始，NGO联盟又于2019年在各地开展一系列区域层面的学习活动。在每次活动上，

我们都会同参加者分享相关州的减缓机遇评估结果。这些评估结果基本来自我们的国家评估，因为国家层面的结果都来自于针对各州所做的评估。我们以我们的科研为基础，同其他NGO合作编制用于这些研讨会的基本资料。

美国的土地管理权分散于土地所有者手中，因而导致利益相关者人数众多。与此类似，美国的体量和不同州或区域的地理差异性导致各州或各地的机遇类型繁多（例如：东部强调改善森林管理，中部重视农业，西部更重视山火管理）。总之，我们必得投入很多精力协调执行方的步调，需要逐一分析各州具体情况并通报机遇的状况；已公

开发表的加州^[90]和俄勒冈州^[91]的NCS评估报告就是例证。

评估显示，在美国实施NCS策略有着比很多人能想到的还要大的机遇，但估算采用这套策略的可行性要比估算其技术潜力难得多且更重要。为此，我们做了专门研究以完善那些特别有潜力的路径的估值，比如再造林路径^[92,93]，并与其他各方合作开发“再造林中心”等几个网址，用以展示最新科学结果和NCS实施案例。总体上，发表三年后，论文仍是对全美NCS潜力的估值唯一和最佳的文献，并将NCS项目放在美国哪里及如何实施的讨论积极地提供参考信息。



Morning on a salt marsh on the shores of Great Bay in Durham, New Hampshire, U.S. © Jerry and Marcy Monkman/EcoPhotography

基于自然的气候变化解决方案

— 手册 —

附录



成本估算

所有NCS评估都须考虑两个关键价格,即:1)项目预计的减排量量的单位成本(每一单位温室气体的完全成本);2) NCS项目销售这些减排量的单位价格(每一单位温室气体的预期收入)。这些因素影响成本竞争力,从而影响一个项目在当前和未来的财务可行性。

项目的完全成本

NCS项目的完全成本决定了可提供温室气体减排量的价格。我们也可将其视为NCS项目减排量的供应价格。如“描述成本”一节所述,这项成本由三部分组成:

- **实施成本**,即实施NCS项目须付出的成本;
- **机会成本**,即因实施NCS项目而放弃,可从土地利用中获取的净收益(如:实施“避免森林转化”项目,则用生产农作物可获得但已放弃的收入,减去清除杂草杂物和平整耕地所需费用,即得出净收益);
- **交易成本和其他期间费用**。指使NCS项目实施成为可能所需的资金付出。

很重要的一点,是项目成本会随时间推移而改变,因而项目的成本效益和财务可行性也会随之改变。例如,“避免森林转化”项目可购置或租用有被转化风险的土地。若这些土地的预期用途是养殖肉牛的牧场,则租金基本由土地所有者预期从其售卖肉牛中获得的净收入决定 - 价值高低由当前和预期未来的牛肉价格所决定。鉴于这些机会成本可能占项目总成本的很大比例,除非碳价非常高,否则项目的财务可行性将对土地所有者可进入的牛肉市场上的供求变化非常敏感。换言之,若牛肉价格上涨,土地所有者会要求租地者支付更高租金,以弥补其更高的净收入损失,这样NCS项目的实施成本也会随之增加。

项目的预期收入

第二个关键价格是NCS项目销售这些减排量的预期单位价格(换言之,即买方愿意为每一单位温室气体支付的价格)或该项目售出**每一单位温室气体的预期收入**。这个价格依赖于对温室气体减排的需求来自哪里(如碳市场),同时也会随需求的波动而变动。鉴于未来温室气体价格固有的不确定性,评估NCS项目的财务和经济可行性对这些价格变化的敏感度如何也十分重要。值得注意的是,未来温室气体减排价格上的变动,在根本上就是那些能长期产生减排效益或减排信用额的项目的一个担忧,但该等变动不会影响到那些在一开始就卖出温室气体减排量的项目。

我们可假定对温室气体减排的总体需求将随时间推移而大幅增加,而高碳价一般会使NCS项目的供应量增加。但这种局面将会如何影响NCS的竞争力,则要看NCS和非NCS行动(含新技术解决方案 - 这很难预测)带来的温室气体减排效益的相对价格和数量。这在不同国家和地区也会有所不同,由项目可进入的强制市场和自愿碳市场决定。在征收碳税但允许“以抵代缴”的国家,温室气体减排的价格同碳税税率形成有效竞争,至少对碳税纳税主体所在行业的温室气体减排需求是如此。此外,每个强制碳市场或自愿碳市场对可交易的温室气体减排项目的类型和来源都有具体的入市要求。这可能会限制在特定区域通过NCS项目取得的温室气体减排量的需求。

对未来温室气体价格进行一定程度的预测是可能的。一种方法采用预计的“边际损害成本”即碳的社会成本(SCC)估值;该成本因大气中连续增加的二氧化碳当量吨数所致。有了边际损害成本,再将它与温室气体减排替代方案的边际减排成本MAC(以美元/吨减少的二氧化碳当量为单位)进行比较,则可确定出最经济划算的温室气体减排量:即下一个单位(吨)的温室气体的减排成本超过其造成的损害时的减排量水平(关于MAC的介绍,详见《纳入成本》:第37-39页的边际减排成本曲线)。使用这种方法,任何MAC等于或小于SCC的温室气体减排都被认为是值得的。大多数国家的国内SCC估值已经公布[],许多国家或国内州或省已采用具体的SCC值进行国内政策分析。另外,对未来温室气体售价的预测可以借鉴已公布的估值数据(如政府间气候变化专门委员会的估值),即实现特定温室气体减排目标所需的成本(美元/吨减少的二氧化碳当量)。

确定项目的可行性

只有在一个NCS项目产生的温室气体减排效益的售价大于减排所需成本时,它才具有经济可行性。举例来说,若一个NCS项目的总体平均成本为30美元/吨二氧化碳当量,而它产生的温室气体减排

效益可以获得的价格在35-45美元//吨二氧化碳当量之间,则该项目具有经济可行性。若项目能获得的温室气体减排效益的价格下降到25美元/吨二氧化碳当量,这时成本就超过了收入,则该项目不具有经济可行性。但是,有些项目的子项目可能仍可以获利。例如,一个大型再造林项目涉及在多地造林,因不同地区的土地价格不同,各项目地的成本也不同;可能项目的某些子单元的成本低于25美元/吨二氧化碳当量。因此,这些子项目也具有经济可行性。

即便温室气体价格过低,低到使一个项目已不具经济可行性,但只要项目的总效益(含避免的气候破坏及协同的其他生态系统服务这些“收不到钱”的社会效益)超过项目的成本,大家依然会期望实施这个项目且在**经济上会比较合算**。

最后,一个NCS项目的安排、计划和实施也会受到技术、机制和政策或法律法规的多重制约;比起项目最大的生物物理潜力,这些制约因素常隐藏得太深而被忽略。虽然许多通常不为人知的制约因素有可能被移除,但要这样做就必须有多管齐下、针对局地的干预策略,而这又会增加温室气体的减排成本,很耗时且常常难到让NCS项目无法实施的地步。



Rancher in Montana, U.S. As a part of the Montana Grassbank Project, parts of the Matador ranch were leased to neighboring ranchers suffering from severe drought in exchange for their participation in conservation efforts. © Ami Vitale/TNC

协同效益

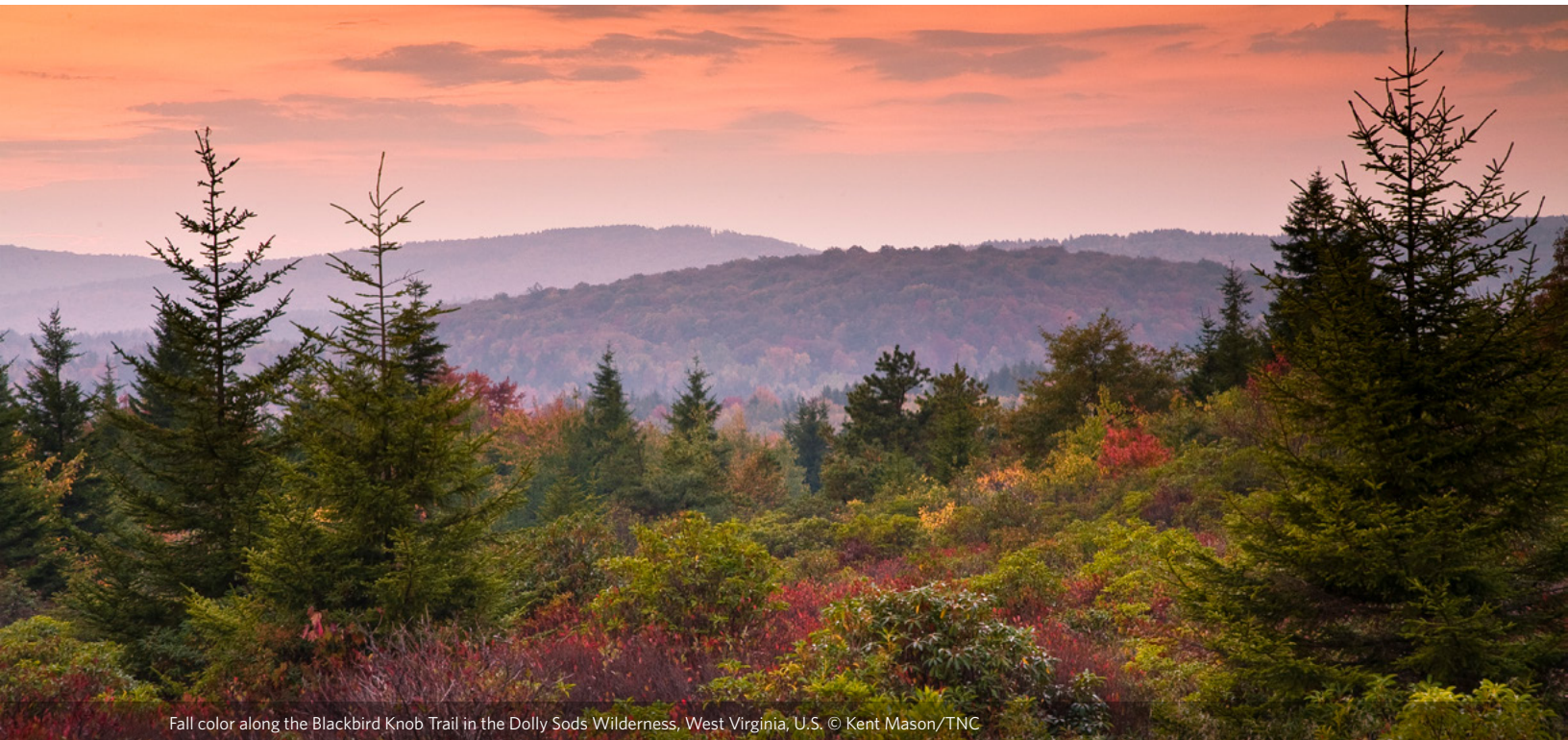
实施大多数NCS路径项目, 都会带来多种气候变化减缓以外的其他收益, 常被称为“协同效益”。

气候减缓效益在全球范围内发生, 而NCS项目的协同效益则常常更加本地化。同实施NCS的人交流时, 我们发现这些协同效益通常才是真正驱动他们行动的源动力。

为此, 查清并记录与NCS实施相关的协同效益(有时也称连带效益)非常重要。我们在完成全球、美国 and 加拿大的NCS评估时就采用了这种方法, 并将我们的结果归纳如下。我们将协同效益归为五大类, 即: 生物多样性、土壤、水、空气和社会^[2,15]。我们下面提到的例子决非完全列举, 还有很多其他潜在的协同效益未提及。例如, 适应气候变化和生态系统韧性都是这些类别以外且很多NCS路径都会带来的重要效益。此外, 取得潜在效益并非必然结果, 它主要由NCS项目的实施方式所决定。



Fishing in Smoke Hole Canyon, West Virginia, U.S. © Kent Mason/TNC



Fall color along the Blackbird Knob Trail in the Dolly Sods Wilderness, West Virginia, U.S. © Kent Mason/TNC

森林路径的协同效益

生物多样性。连绵的原始森林有保护生物多样性的功能。降低木材采伐的影响，延长轮伐期，管理山火（有计划烧除）以模拟历史火情规律，减少薪柴采伐，或设置野生动物迁徙走廊和缓冲区等策略都可以提升生物多样性保护状况。

土壤。森林可保持水土和调节江河流量，保持土壤的生物和物理特性，确保森林的持续健康和生产力。再造林项目地常显示出可度量的土壤动物增加现象。常发生不太严重山火（相对于灾难性山火）的森林内会有更多的有机物、更好的土壤特性、更快的修复速度，以及更强的水渗透功能和更高的保水能力。

水。森林可以涵养水源以供农作物灌溉，减轻干旱，避免水电大坝的泥沙沉积，保护附近淡水生态系统的完整性，以及调节洪水并提升水渗透功能和保水能力。

空气。森林对减轻臭氧层破坏和过滤空气非常重要。更完善的山火管理可减少颗粒物，效能更高的炉灶可改善室内空气质量，此二者都可以提高生活质量，降低人类死亡率。

社会。保护森林具有人类文化、审美、游憩娱乐和精神生活方面的效益。因此，森林保护常能得到公众和利益相关者的大力支持。森林也是全球很多原住民的家园。若实施得当，再造林项目可为依赖森林生存的社区带来更多就业机会和社会经济利益。

湿地的协同效益

生物多样性。保护或修复滨海湿地可以维持具商业价值的鱼虾繁衍场地等野生动物生境的健康。保护或修复泥炭地可以保护纷繁多样的生物群落,包括多种独特昆虫。

土壤。滨海湿地为海岸线区域提供保护并通过不同系统将营养物质运输到珊瑚礁。

水。滨海湿地、泥炭地和红树林都能提供与水过滤、防洪和消纳雨洪有关的服务。

空气。修复泥炭地和避免侵占泥炭地路径可降低泥炭火灾的风险,从而减少人类暴露于可导致肺部损害和肺部疾病的污染物中的几率。植树有助于捕集空气中的微粒和污染物。

社会。红树林是商品鱼类的栖息地,因此有助于食物安全、生计和人类福祉。盐沼和海草床为手工采收的重要植物物种(如海带)提供了栖息地,也为以捕鸟为生的穷人和游憩者捕猎的水禽提供了栖息地。这些栖息地因其在旅游、游憩娱乐、教育、食物安全和家庭收入方面的价值而被视为至宝。泥炭地可以为原住民和其他当地居民或动物群落提供食物来源,包括打猎和觅食。



Sunset over the still waters of the National Key Deer Refuge, Florida, U.S. © Kyle P. Miller/TNC

A.

草地和农业路径的协同效益

生物多样性。保护草地可以维持重要鸟类栖息地的存续,使鸟类有地方筑巢和觅食。通过减少营养物质流入水体的方式,肥料管理可维持鱼种的丰富度和鱼量的富集度。耕地里的树木可为多物种提供栖息地并提高生态系统的连接度。改善放牧管理可以减少对植物与昆虫互动的干扰。豆科植物则可以增加昆虫的多样性。

土壤。添加生物炭可以提高温带地区的土质和肥力。更完善的养分管理有助于保持土壤肥力。耕地里的树木可以控制水土流失。放牧管理可以提高土壤留住污染物和其他沉积物的能力。豆科植物可以改善土壤结构和肥力。

水。草地可以控制洪水,维持生态系统的水平衡。耕地养分管理可改善水质,而水质则对饮用水、栖息地和游憩机会有着多种积极影响。基于自然保护的农业生产方式、改进的放牧方法和水稻种植可减少农业用水需求。耕地里的树木则具有补水功能。

空气。改善养分管理可以减少一氧化氮和其他排放。植树有助于捕集空气中的微粒和废气或污染性气体。避免焚烧作物秸秆和减少耕作可以减少人类暴露于有害颗粒物的几率。

社会。维持牧场和放牧活动有助于保护文化遗产和促进乡村旅游。种植和加工覆盖作物种子可以增加就业机会。豆科植物可以改善牧草质量,提高畜牧生产效率。在某些地方,草地用火管理可以保护原住民的耕作和文化习俗。

我们按《生物多样性公约》中规定的定义^[94]量化生物多样性效益,同时按《千年生态系统评估》^[95]中的定义量化其他效益。虽然《千年生态系统评估》提供了一个很好的起始清单,但我们仍建议与受项目影响的利益相关者进行沟通,以确定他们最想看到的效益是什么。

详细分析在哪些地点实施NCS项目及采用哪些方式实施可使协同效益最优最大,有助于某些NCS评估。例如,在美国,我们对可实现气候减缓和洪水调节双重效益的项目选址问题特别感兴趣。为此,我们绘制了30米分辨率的栅格地图;借助这些地图,我们确定了适合再造林项目的地区,这些地区恰好也处于洪灾易发区(基本每五年泛滥一次)。在同州内相关从业者进行沟通交流后,我们得知,当地利益相关者对植树造林最感兴趣,因为当地可以从中获得治水效益,因此我们就把重点放在这些方向。

碳抵消

碳抵消是指将减少或储存的温室气体排放量用于抵消其他地方的排放量。

应用NCS减少或储存温室气体排放量的策略有很多,可以连同其他“按绩效付费”项目、为生态系统服务付费项目、或通过多边或双边捐助提供的基于结果的融资项目一起进行。

目前有两类抵消市场,即:**强制性抵消**(公司须达到排放上限或支付排放税并在受管制的市场购买抵消量来履行这些义务),**以及自愿性抵消**(任何人都可以购买抵消量或碳汇量,主要是为达到自愿的气候减缓目标,因此每吨碳的价格往往比强制市场的价格浮动更大)。抵消仅只是实现可信的减排目标所需的一整套工具中的一部分。因此,只有在设定了宏大的长期目标并实施多层次减缓路径的情况下,才应考虑采用抵消策略。(见第27页“路径优先排序”)。

虽然碳抵消有助于吸引资金和支付短期内实现气候目标所需的减排成本,但最终,若要限制全球温度上升,所有国家和企业都必须实现脱碳。将眼前的碳抵消机遇与严格的长期目标结合,将确保人们随着时间的推移减轻对碳抵消的依赖。若您已分析了NCS行动且计划将碳抵消作为融资机制,则可考虑下列原则,这将十分重要。遵循全部原则能确保我们正确使用碳抵消策略并取得真实而持久的碳效益。

背景。你所在地区将自然土地和利用土地纳入气候减缓计划和政策,仅出于做碳抵消目的吗?如果是,请谨慎使用。虽然碳抵消可在鼓励修复、改善土地管理和避免土地转化方面发挥作用,但必须制定全面的计划和政策才能维持现有的碳库(这对碳抵消来说不具额外性),并促进整个行业转型走上低碳发展之路(抵消不能单独完成)。

额外性。碳抵消项目是否只会带来基线情景(无外界干预)下的减排量,还是会带来超出预期的结果?只有在供需关系没有建立而只因购买者付费,给予项目利益相关者激励的情况下,碳抵消项目才具有可行性。若一个国家要想激励那些过去仅靠常规活动就能达到固碳或避免排放结果的农民、护林人和社区居民(特别是原住民),则激励措施应该与抵消机制分开实施。请注意,某些额外性要求并不适用于那些想通过实施国家或区域尺度的REDD+策略让整个土地利用全行业转型的国家。

基线。NCS活动的历史排放量是多少?在无外界干预情况下,这些排放继续存在的可能性有多大?NCS项目与其他情况相比是否有改进?这是给“额外性”下定义的一个关键,并应包含一个可靠的起始日期和对“若无碳汇融资”情况下会发生状况的预测。再次强调,对于国家或地区尺度的REDD+策略,在计算基线数据时应允许存在差异,因为这些方法可获得的数据集与实地项目非常不一样。

对买方的要求。对于在强制市场上出售的碳汇,哪些企业可以购买,是否限制购买量和碳汇类型等等,均由国家控制。与此相比,买方进入自愿碳市场不受任何限制,相反,市场方还会提一些最佳方法建议,比如采用多层次减缓策略。额外监管或有助于要求企业报告其国内排放量和目标,以提高在此情况下使用自愿抵消机制的透明度。

持久性。已避免或从大气层中清除的排放是否长期内不重新进入大气?例如,是否有合理保证可确保一个碳汇项目结束后,相关土地或林地将一直保持原状并受到保护?现有碳汇标准要求在一定时期内具有持久性。例如,按照加州空气资源委员会的规定,林业项目必须确保土地性状100年不变,而国际航空碳汇与减排计划(CORSIA)批准的很多方法学则规定40年不变。时间框架在各地都会受到当地政治和法律状况的影响。

泄漏。已避免的排放会被转移到其他地方吗?如果会,这种泄漏可以预防吗?泄漏,既难量化也难衡量。因此,很多温室气体核算体系都规定,项目须

用一个“标准折扣率”给项目活动产生的减排量打折。比如，一个旨在减少木材产量的森林管理改善项目可能要按某个百分比对其产生的减排量打折。这是因为，若对木材的需求量不变，则极有可能额外的木材将由项目地范围之外别的供应商采伐。

测量与监测。您会如何衡量一个时期内的减排量或碳汇量？您会多久实施一次监测？您设定多高的测量与监测精度？虽然这些方法可能都要用到卫星影像、雷达等技术，但通常也得包括人工完成实地测量等监测活动。各国必须找准不同方法的成本及其精度之间的平衡点，并认识到成本，特别是技术方法成本会随时间而改善。

审定和核查。谁在做抵消项目，项目方是否值得信赖？碳标准通常要求项目方聘请第三方对项目进行审定。

社会影响。对于碳信用的提供方和购买方来说，弄清谁可能从这些项目中受益或受负面影响非常重要。以空气质量为例，NCS项目地周边的社区居民可能从已改善的空气质量中受益，而购买方附近的社区居民则将因低劣空气质量而继续受到影响；只有购买方主动减少排放，这种负面影响才可能减少。在允许抵消的时候，必须权衡这些损益问题。此外，还必须识别和避免项目可能产生的负面影响。最终，各国必须考虑这些正面和负面影响在地域分布上是否做到公平。（见附录：气候公正。）

现有的自愿和强制碳标准通常都试图纳入上述标准，但由于优先活动和可用资源的不同，这些标准或多或少仅能纳入其中一部分。在允许使用任何特定标准前，您必须对碳标准的各项要求及其是否适合您的情况做一次尽职调查。



Gazing at the tree canopy, Borneo, Indonesia. © Nick Hall/TNC

气候公正

“……气候公正是指在制定应对气候变化的政策和项目以及造成气候变化和歧视的制度时,公平对待所有人,不歧视任何人。”^[96]

“气候公正”一词拓宽了我们看待气候变化的视野,使其包括人权和环境正义两个概念。它还提升了我们对气候减缓的理解,使之不仅包括以吨数计量的二氧化碳当量。对很多人来说,气候是一个关乎生死的事情:生或死不在某个遥远的未来而就在眼前。弱势群体包括沿海社区居民、原住民、妇女、贫困人群、老年人、年轻人、残疾人和其他被边缘化的社区居民;这些群体对气候危机的“贡献”最小,但却常常得承担最大的代价并最先遭受气候变化影响之痛^[97]。在哪里实施行动和部署哪些NCS路径,以及如何资助项目行动实质上是正义和公平的问题。气候公正是分析任何影响气候的政策必须纳入的一个重要部分。

足够的数据和严谨的科学对实施NCS评估至关重要,而我们也视气候公正为同等重要之事。尽管迄今为止气候公正还未被完全和明确地纳入NCS框架,但本指南的作者认识到它是确保NCS取得长期成效的关键,并决心朝此方向推进。例如,在NCS评估的“背景研究”部分,就应先将潜在的权利人和其他利益相关者确定下来。在绘制政治边界示意图时,也应考虑到原住民传统的土地利用方式和游牧人群的权益。LandMark网络平台就提供了关于全球很多原住民部族的土地和自然资源相关权利的信息。

NCS框架在创建时就设置了维护人类免受伤害的机制,方式就是保持食物和木纤维生产的水平不变。同样,NCS评估应确保那些靠土地谋生的社群的权益不受损害,并将尊重其自主决定权列为保护、管理和修复自然生态系统活动的重点。至少,实施NCS不应以任何方式加剧现存的不平等现象。最



好的情况,就是把NCS行动设计成可改善现存气候不平等现象的项目,具体方式包括:减轻弱势群体在社会、经济和环境方面的易弱性、创造多重效益,以及公平地平衡得失。例如,坦桑尼亚的Tuungane项目采用一套全方位的方法来处理相互关联的健康和环境这对难题;该项目是TNC、健康服务组织Pathfinder International和社区居民的一次合作,其目的是扶持当地开展社区与文化韧性、小额信贷、生殖健康服务、女童教育、健康渔业、气候智能型农业和森林管理项目,即通过森林保护取得碳信用额的方式,为当地创造可持续的创收机会^[98]。

要将气候公正纳入项目行动,第一步是让每个人都参与协商对话。实施行动前,邀请所有利益相关者就气候变化和NCS专题开展广泛和平等的协商对话。各国应寻找创新性的对话方式,同广泛的权利持有人和利益相关者一起,围绕本国的气候承诺和规划进行开放式对话;参与者应包括国家和地方代表、民间组织、原住民部族和其他当地社区居民代表。要做到这一步,可以利用现有的多方利益相关者论坛(比如REDD+参与平台)或创建新的平台或

空间,让大家都有畅所欲言和倾听的机会。同样,广泛的社会参与是实施NCS项目在政治上取得成功的一个关键因素,NCS评估过程应该推动所有权利人和利益相关者参与,并针对各地的评估和背景情况,在获得充分信息的基础上做出决策。尤其重要的是,一定让那些历史上一一直被排除于全球应对气候变化对话之外的弱势群体参与。与原住民部族的对话应遵循自愿、优先和知情且同意的原则,这样才能让原住民的自决权落到实处^[99,100]。此外,原住民部族对其文化、身份认同、发展重点、自治以及防止其不受主流社会不当影响的自主权也应得以落实^[101]。应特别注意,不可设限或“把关”,确保参与的开放和公平,且组织者不会有选择地邀请某些权利人和利益相关者,而把或在过去被禁言或被忽视的人排除在外。此外,召集各类不同利益相关者协商时,应对“权力关系”状况进行评估(如何进行权力分析的例子^[102,103])以确保对话的公平性。

与权力关系相关,应特别关注的关键问题包括:

- 谁来制定议程?谁的想法、观点和价值准则主导会议议程?
- 正式机构如何分担成本、责任,如何分配利益?
- 非正式社交网络如何影响对话和决策?
- 是否已将全体利益相关者的资源、时间和能力限制纳入考虑范围,利益相关者是否能公平地获得补偿?

气候变化并非性别中立^[104,105],解决方案也不应该是性别中立的。在气候解决方案中纳入社会性别因素可以防止进一步加剧现有的不平等现象,比如面对疾病和自然灾害等气候影响时妇女超乎寻常地易弱而无助,这样就可促进两性平等方面的可持续发展目标^[106]。例如,Terry(2009)断言,没有性别公正就没有气候公正,社会性别分析对于评估减碳政策至关重要^[105]。《联合国气候变化框架公约》也认识到,有效的气候变化解决方案不能缺少对两性不平等及诸多相关问题的了解,包括体制结构、资源获取与掌控、决策过程,以及社会、文化和正式的网络等方面的问题^[106]。总之,社会性别分析不可或缺,因为该等分析能展现气候变化与两

性不平等之间的交互作用,从而确保气候解决方案纳入社会性别和变革的视角。

安全的土地和资源相关权利维系着人的生命、生计、韧性和安全。全世界65%的土地处于原住民部和局部社区居民的管理之下(按传统习俗管理地权),但在这些土地中,仅有10%的土地被国家正式承认这些部族拥有所有权^[107]。这些土地往往都是大体量的碳库,而各国都可以声称这些碳库就是国家自身推进其既定气候目标的组成部分。虽然亘古以来对这些土地的保护产生的碳汇并非额外的,但继续保护这些地区对于将全球温度升幅控制在低于2°C的目标仍非常重要,因此应予奖励和激励。此外,早前被强占但原住民声称属于他们的土地可物归原主,以便重新引入可带来气候变化减缓结果的土地与计划烧除等管理方法^[108]。

对土地的控制是冲突的主要根源。这种控制对人权、经济发展、文化、自然保护和气候变化减缓行动构成威胁^[109]。与政府有强大裙带关系和财富的公司常常能快速获得土地权,而原住民和当地社区则需花费数年时间,历经多重繁复程序才能获得同样的土地权。尽管很多现存NCS项目已为当地土地所有者和社区居民厘清了土地权属^[109],但必须大量解决体制性问题,才能真正改变土地行业。有几个在保护区附近或保护区内运作的NCS项目发现,即使有些区域已被“正式纳入保护”,附近的社区仍然靠土地谋生,继续从事可导致毁林或致使森林退化的活动以满足其需求。此外,在许多情况下,被划为保护地的区域的管理当局常常阻止当地社区居民使用土地来维持其基本生存,而企业和政府却依然可以从中获利。为此,进行NCS评估时把过去在土地权方面造成的不平等和不公正现象纳入考虑范围也极为重要。

需要考虑的与土地控制有关的关键问题包括:

- 谁拥有拟纳入NCS项目的土地?谁享有土地相关权利?
- 社区居民是否被从这片土地上驱离或被剥夺了土地相关权利?

- 若实施NCS项目, 土地权利方面的不平等会得到改善还是会加剧?
- 您能否将争取土地权利作为一项气候变化缓解解决方案纳入你的评估?

每个国家都有其独特的气候公正国情。在确保气候公正方面, 单一的NCS评估技术显然不能适用于所有国家。在您的评估过程中, 要在一项分析性决策(比如: 使用何种土地覆盖分辨率来创建地图) 与该决策对人的各种影响(比如: 用低分辨率地图可能无法检测到原住民社区使用低环境影响方法管理

的区域) 之间建立关联, 但做个尝试也很值得。有助于建立这种联系的一项策略, 是推动受影响的利益相关者参与到NCS评估的各个阶段, 这样才能挖掘到真相, 切实了解分析性决策会带来的各种影响。

本NCS手册只简单谈及气候公正的重要性。本指南作者也承认, 我们在这方面还需要倾听更多声音、学习更多东西并做更多工作, 但我们会坚守气候解决方案中的公正和公平双原则。我们也认识到, 将气候公正融入我们的方法可提升气候减缓成效并成为取得成效的关键。



An farmer picking peas in Minzhu Village on the edge of Laohegou Nature Reserve, Sichuan Province, China. © Nick Hall/TNC

术语表

注：以下很多定义引自政府间气候变化专门委员会(IPCC)文件^[87]。

额外性：相对于既定基线情景，开展某项干预活动直接导致的温室气体减排量的特征。若不实施该活动也会产生减排结果，则减排量就被视为不具额外性。

造林：在从未有森林或近期未出现过森林的地方进行植树的活动。由于新造林也会有负面的生物多样性影响且不一定会成功，我们把重点放在再造林和恢复森林覆盖的实践方法上。

反照率：一个表面或物体反射的太阳辐射比例，该比例因物体表面颜色和其他属性不同而大小不一。反照率的变化对实施NCS项目非常重要，因为这些变化可以抵消减缓的效益。例如，森林覆盖的恢复就与反照率降低和局部变暖效应有关（特别是高海拔地区或有季节性积雪的地区）。若要扩大林木覆盖面积，则需确保森林有足够高的固碳能力才能抵消这种影响，使减缓成为可能。

基线：评估未来项目进展或进行前后比较的基准或起点^[110]。

生物量：特定面积或体积内的活生物体的总量。涉及NCS活动时，通常指树木(含根系)^[111]。

碳市场：各国或各地区购买或出售信用额的交易系统，以符合其管辖范围内的排放限制^[112]。

碳抵消：指通过购买和宣示碳信用额抵消在其他地方发生的温室气体排放的一种机制。一个碳信用额就是从大气中吸收并存储或移除一吨二氧化碳当量的碳计量单位。碳信用额可在自愿或强制碳市场上购买、出售或交易。对一个组织或国家而言，要实现碳中和，所要求签发的信用额总数必须与每年的剩余排放量相等。对产生信用额的NCS项目而言，除气候减缓效益外，还应该考虑实施后可能对生物多样性、当地社区居民和其他生态系统服务产生的正反面影响^[113]。

碳库：一个有能力储存或释放碳的系统，包括地上生物量、地下生物量、枯落物、死木和土壤有机碳^[10]。

碳价：避免或排放的温室气体排放量的价格。也可能指碳税税率或排放许可额度的价格。通常被用作替代减缓政策力度的参数。

碳固定：将碳从大气中移除并储存于自然系统中的过程。涉及NCS活动时，碳固定指植物通过光合作用吸收二氧化碳并将其储存于生物质和土壤中的过程^[12,114]。

碳汇：吸收、储存和释放二氧化碳的系统；碳汇主要指储存量多于释放量，从而降低大气中二氧化碳浓度的自然生态系统。自然碳汇主要有土壤、树木和其他植被及海洋。随着毁林和全球变暖的加剧，这些碳汇的功能可能被削弱和降低。

碳储量：在不考虑碳累积时长的情况下，储存于某物或某系统中的碳总量^[12]。

气候公正：我们看待气候变化问题的一条基本原则，即应对气候变化的一切活动不仅应包括基本的驱动因素和应对气候变化的政策和项目，还应包括人权和环境正义，特别是关于弱势人群和被边缘化人群的人权和环境公正。

协同效益：因控制气候变化的活动而带给人类和自然，除直接的减缓效益以外的其他效益。

成本有效的基于自然的气候变化解决方案(NCS)

(100美元每吨二氧化碳当量)：截至2030年，在边际减排成本不超过100美元每吨二氧化碳当量的情况下，特定NCS路径的减缓潜力水平^[2]。这一成本水平与将全球温度升幅限制在不超过2°C行动的成本水平一致。

贴现：将未来发生的成本或收益的货币价值转换为其现值等价物的过程。

规模：衡量NCS路径通量的适用面积(或等量单位)。

通量:温室气体在大气和自然系统之间的转移,通常被量化为适用于NCS路径的单位规模内的固碳量或减排量^[39]。

全球增温潜势(GWP):“相对于1吨二氧化碳的排放量,一种气体在一定时期内(通常是100年)吸收的总能量的衡量值或指数^[115]。”

泄漏:在一地实施减排活动导致该地以外区域温室气体排放的增加。

低成本的基于自然的气候变化解决方案:(10美元每吨二氧化碳当量)。截至2030年,在边际减排成本不超过10美元每吨二氧化碳当量的情况下,特定NCS路径的减缓潜力水平^[2]。

边际减排成本(MAC):防止一个单位的温室气体进入大气层的经济成本。

(气候变化)减缓:为限制全球变暖,减少温室气体排放量(源)或提升碳汇(碳源)功能的行动;该等行动的最终结果是大气中的温室气体浓度降低。

国家自主贡献(NDC):一个国家按《联合国气候变化框架公约》相关的《巴黎协定》公开承诺的温室气体减排目标。

基于自然的气候变化解决方案(NCS):在维持人类和生物多样性存续的同时,可增加全球范围内森林、湿地、草地和农地的碳储存,或避免温室气体排放的自然保护、土地管理改善,以及自然修复行动^[2]。

基于自然的解决方案(NbS):保护、可持续地管理和修复天然的或已被改变的生态系统,有效应对社会挑战,同时也给人类带来福祉和生物多样性效益的行动^[120]。NbS包括大自然本身提供的多种服务(例:气候变化减缓、生态系统韧性与适应能力、用于雨洪管理的绿色基础设施,以及空气净化等生态系统服务)。

路径:具体的NCS策略,比如“避免滨海湿地影响”、“农田养分管理”或“再造林”。一条路径可能包括多种类型的活动。

持久性:气候变化减缓行动持续的时间。

REDD+:减少发展中国家毁林和森林退化造成的排放以及保护、可持续管理森林和提高森林碳储量的作用^[18,];它是《联合国气候变化框架公约》缔约方开发的一种气候变化减缓机制。

碳的社会成本:每多排放一吨二氧化碳给社会造成的经济成本^[116]。

持续通量全球增温潜势(SGWP):全球增温潜势GWP的“升级版”,是用于衡量温室气体辐射强迫状况的一个指数;标准的全球增温潜势基于温室气体释放到大气中的单一脉冲。而持续通量全球增温潜势(SGWP)则以温室气体在一个时段内的持续释放为基础,因而更具实际意义^[27]。

不确定性:对估值的准确度和“真实”值所处的可能范围的一种衡量指数。

补充资料

由同行审稿的其他出版物有很多，它们或有助于您开展NCS分析评估。我们在此列出一些与本手册主题相关的资料供读者参考。

综合资料

- Nature4Climate. 2021. [Natural Climate Solutions World Atlas](#), [US State Mapper](#), and [Canada NCS Mapper](#).
- Griscom, B.W., J. Adams, P.W. Ellis, et al. 2017. [Natural climate solutions](#). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44):11645–11650. DOI: 10.1073/pnas.1710465114
- Griscom, B.W., J. Busch, S.C. Cook-Patton, et al. 2020. [National mitigation potential from natural climate solutions in the tropics](#). *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794). DOI: 10.1098/rstb.2019.0126
- Sanderman, J., T. Hengl, & G.J. Fiske. 2017. [Soil carbon debt of 12,000 years of human land use](#). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(36):9575–9580. DOI: 10.1073/pnas.1706103114
- Bossio, D.A., S.C. Cook-Patton, P.W. Ellis, et al. 2020. [The role of soil carbon in natural climate solutions](#). *Nature Sustainability*, 3:391–398.
- Liu, H., P. Gong, J. Wang, et al. 2020. [Annual dynamics of global land cover and its long-term changes from 1982 to 2015](#). *Earth System Science Data*, 12:1217–1243. DOI: 10.5194/essd-12-1217-2020
- The Nature Conservancy. 2019. [Playbook for Climate Action](#).
- The Nature Conservancy. 2018. [Playbook for Climate Finance](#).
- United Nations Development Programme. 2019. [Accelerating Climate Ambition and](#)

[Impact: Toolkit for Mainstreaming Nature-Based Solutions into Nationally Determined Contributions](#). New York, USA: UNDP.

- World Resources Institute. [CAIT Climate Data Explorer](#).
- [Climate Watch](#). 2020. Washington, DC: World Resources Institute.
- University of Oxford Nature-based Solutions Evidence Platform <https://www.naturebasedsolutionsevidence.info/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. [Assessment Reports Portal](#).
- Intergovernmental Panel on Climate Change. [Emission Factor Database](#).
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2019. [2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines on National Greenhouse Gas Inventories](#).
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. [2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories](#). Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. ISBN 4-88788-032-4

政策资料

- Beasley, E., L. Schindler Murray, J. Funk, et al. 2019. [Guide to including nature in Nationally Determined Contributions](#).
- United Nations Development Programme. 2019. [Pathway for Increasing Nature-based Solutions in NDCs: A Seven-Step Approach for Enhancing Nationally Determined Contributions through Nature-based Solutions](#). New York, USA: UNDP
- United Nations Development Programme and United Nations Framework Convention on Climate Change. 2019. [NDC Global Outlook Report 2019](#).

绘图与数据资料

- Sayre, R., D. Karagulle, C. Frye, *et al.* 2020. [An assessment of the representation of ecosystems in global protected areas using new maps of World Climate Regions and World Ecosystems](#). *Global Ecology and Conservation*, 21(e00860):2351-9894. DOI: 10.1016/j.gecco.2019.e00860
- Dinerstein, E., D. Olson, A. Joshi, *et al.* 2017. [An Ecoregion-Based Approach to Protecting Half the Terrestrial Realm](#). *BioScience*, 67(6):534-545. DOI: 10.1093/biosci/bix014
- [Global Forest Watch](#). A partnership convened by World Resources Institute.
- Global Mangrove Alliance. [Global Mangrove Watch](#).
- LandMark. [Global Platform of Indigenous and Community Lands - Map](#).
- Karen Payne. Database of [GIS Data Repositories](#). University of Georgia.
- [Open Data of the World](#). ESRI.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Geospatial information for sustainable food systems](#).

碳抵消:领先的自愿碳排放标准

- [Climate Action Reserve](#)
- [Gold Standard](#)
- [Verra](#)

气候公正资料

- International Climate Justice Network. 2002. [Bali Principles of Climate Justice](#). Corpwatch.
- University of California, Davis & University of Michigan, Ann Arbor. 2018. [Building Equitable Partnerships for Environmental Justice](#).

- Burns, B. & T. Daniel. 2020. [Pocket Guide to Gender Equality under the UNFCCC](#). European Capacity Building Initiative (ECBI).
- International Labour Organization. 1989. [Indigenous and Tribal Peoples Convention](#). C169.
- LandMark. [LandMark: The Global Platform of Indigenous and Community Lands](#).
- United Nations. 2007. [The United Nations Declaration on the Rights of Indigenous Peoples](#).
- The Nature Conservancy. 2020. [The Nature Conservancy's Human Rights Guide for Working with Indigenous Peoples and Local Communities](#).
- Swedish International Development Cooperation Agency (SIDA). 2018. [Power analysis: a practical guide](#).

关于路径的资料

- TNC. 2021. [Data Layer Options for Selected Forest Pathways](#).

天然林管理

- Runting, R.K., Ruslandi, B.W. Griscom, *et al.* 2019. [Larger gains from improved management over sparing — sharing for tropical forests](#). *Nature Sustainability*, 2:53-61. DOI: 10.1038/s41893-018-0203-0
- Ellis, P.W. & F.E. Putz, eds. 2019. [Special Issue: Reduced-impact logging for climate change mitigation \(RIL-C\)](#). *Forest Ecology and Management*. 439. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.02.034
- Ellis P.W., T. Gopalakrishna, R.C. Goodman, *et al.* 2019. [Reduced-impact logging for climate change mitigation \(RIL-C\) can halve selective logging emissions from tropical forests](#). *Forest Ecology and Management*, 438:255-266. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.02.004

林火管理

- Lipsett-Moore, G.J., N.H. Wolff, & E.T. Game. 2018. Emissions mitigation opportunities for savanna countries from early dry season fire management. *Nature Communications*, 9(2247). DOI: 10.1038/s41467-018-04687-7

避免薪柴采集

- Bailis, R., R. Drigo, A. Ghilardi, & O. Masera. 2015. The carbon footprint of traditional woodfuels. *Nature Climate Change*, 5:255-272. DOI: 10.1038/nclimate2491

再造林

- Cook-Patton, S.C., S.M. Leavitt, D. Gibbs, *et al.* 2020. Mapping carbon accumulation potential from global natural forest regrowth. *Nature*, 585(7826):545-550. DOI:10.1038/s41586-020-2686-x
- Requena Suarez, D., D.M.A. Rozendaal, V. De Sy, *et al.* 2019. Estimating aboveground net biomass change for tropical and subtropical forests: Refinement of IPCC default rates using forest plot data. *Global Change Biology*, 25(11):3609-3624. DOI: 10.1111/gcb.14767
- Busch J., J. Engelmann, S.C. Cook-Patton, *et al.* 2019. Potential for low-cost carbon dioxide removal through tropical reforestation. *Nature Climate Change*, 9:463-466. DOI: 10.1038/s41558-019-0485-x
- The Nature Conservancy and American Forests. Reforestation Hub.

- Osuri, A.M., A. Gopal, T.R. Shankar Raman, *et al.* 2020. Greater stability of carbon capture in species-rich natural forests compared to species-poor plantations. *Environmental Research Letters*, 15(034011). DOI: 10.1088/1748-9326/ab5f75

滨海湿地修复

- Worthington, T.A., D.A. Andradi-Brown, R. Bhargava, *et al.* 2020. Harnessing Big Data to Support the Conservation and Rehabilitation of Mangrove Forests Globally. *One Earth*, 2(5):429-443. DOI: 10.1016/j.oneear.2020.04.018

泥炭地

- Conchedda, G. & F.N. Tubiello. 2020. Drainage of organic soils and GHG emissions: Validation with country data. *Earth System Science Data*, 12:3113-3137. DOI: 10.5194/essd-12-3113-2020
- Humpenöder, F., K. Karstens, H. Lotze-Campen, *et al.* 2020. Peatland protection and restoration are key for climate change mitigation. *Environmental Research Letters*, 15:104093. DOI: 10.1088/1748-9326/abae2a

混农林业/农林复合

- Chapman, M., W.S. Walker, S.C. Cook-Patton, *et al.* 2020. Large climate mitigation potential from adding trees to agricultural lands. *Global Change Biology*, 26(8):4357-4365. DOI: 10.1111/gcb.15121

参考资料

- 1 United Nations. 2015. [Paris Agreement](#). Paris, France.
- 2 Griscom, B.W., J. Adams, P.W. Ellis, et al. Oct 2017. [Natural climate solutions](#). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44):11645-11650. DOI: 10.1073/pnas.1710465114
- 3 Nachmany, M. & E. Mangan. 2018. [Aligning national and international climate targets](#). London: Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment and Centre for Climate Change Economics and Policy, London School of Economics and Political Science.
- 4 UNFCCC. 2021. [Nationally determined contributions under the Paris Agreement. Synthesis report by the secretariat](#).
- 5 IPCC. 2018. [Summary for Policymakers](#). In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., Zhai, P., H.-O. Pörtner, et al. (eds.)]. *World Meteorological Organization*, Geneva, Switzerland.
- 6 Climate Action Tracker. 2021. [Global Update: Climate Summit Momentum](#).
- 7 Waughray, D. K. N., D. B. Holdorf, C. M. R. Eschandi, et al. 2021. [What is “nature positive” and why is it the key to our future?](#) World Economic Forum.
- 8 Nesshöver, C., Assmuth, T., K. N. Irvine, et al. 2017. [The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective](#). *Science of The Total Environment*, 579:1215-1227. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.11.106
- 9 IUCN. 2021. [Nature-based Solutions](#).
- 10 FAO. 2003. [Forests and climate change](#). In: Instruments related to the UNFCCC and their potential for sustainable forest management in Africa.
- 11 Moomaw, W.R., Chmura, G. L., Davies, G. T., et al. 2018. [Wetlands in a changing climate: science, policy, and management](#). *Wetlands*, 38:183-205. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13157-018-1023-8>
- 12 Ramsar Convention on Wetlands. 2018. [Ramsar Briefing Note 10: Wetland Restoration for Climate Change Resilience](#).
- 13 Venterea, R.T., J.A. Coulter, & M.S. Dolan. 2016. [Evaluation of intensive “4R” strategies for decreasing nitrous oxide emissions and nitrogen surplus in rainfed corn](#). *Journal of Environmental Quality*, 45:1186-1195. DOI: 10.2134/jeq2016.01.0024
- 14 Nature4Climate. 2021. [Natural Climate Solutions World Atlas](#).
- 15 Drever, C.R., S.C. Cook-Patton, F. Akhter, et al. 2021. [Natural climate solutions for Canada](#). *Science Advances*, 7(23), p.eabd6034. DOI: 10.1126/sciadv.abd6034
- 16 United Nations Development Programme. 2019. [Pathway for increasing nature-based solutions in NDCs: A seven-step approach for enhancing nationally determined contributions through nature-based solutions](#). New York, USA: UNDP.
- 17 United Nations Climate Change. [Nationally appropriate mitigation actions \(NAMAs\)](#).
- 18 UNFCCC. [Reducing emissions from deforestation, and forest degradation in developing countries](#).
- 19 United Nations Development Programme. 2019. [Accelerating climate ambition and impact: Toolkit for mainstreaming nature-based solutions into nationally determined contributions](#). New York, USA: UNDP.
- 20 West, T.A.P., J. Börner, E.O. Sills, & A. Kontoleon. 2020. [Overstated carbon emission reductions from voluntary REDD+ projects in the Brazilian Amazon](#). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(39):24188-24194. DOI: 10.1073/pnas.2004334117
- 21 United Nations. 2021. [Sustainable Development Goals Metadata Repository](#).
- 22 Science Based Targets Network. Sep 2020. [science-based targets for nature: Initial guidance for business](#).
- 23 Griscom, B.W., G. Lomax, T. Kroeger, et al. 2019. [We need both natural and energy solutions to stabilize our climate](#). *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 25(6):1889-1890. DOI: 10.1111/gcb.14612
- 24 IPCC. 2019. [Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems](#) [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, et al. (eds.)].
- 25 Pendrill, F., U.M. Persson, J. Godar, et al. 2019. [Agricultural and forestry trade drives large share of tropical deforestation emissions](#). *Global Environmental Change*, 56:1-10. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2019.03.002
- 26 Henderson, K., D. Pinner, M. Rogers, et al. 2020. [Climate math: What a 1.5-degree pathway would take](#). *McKinsey Quarterly*.
- 27 Neubauer, S.C. & J.P. Megonigal. 2015. [Moving beyond global warming potentials to quantify the climatic role of ecosystems](#). *Ecosystems*. 18:1000-1013. DOI: 10.1007/s10021-015-9879-4
- 28 Cain, M., Lynch, J., Allen, M.R. et al. [Improved calculation of warming-equivalent emissions for short-lived climate pollutants](#). *Climate and Atmospheric Science*, 2:29.

- 29 Fesenfeld, L.P., Schmidt, T.S., Schrode, A. 2018. Climate policy for short- and long-lived pollutants. *Nature Climate Change*, 8:924-936.
- 30 Pingoud, K., K.E. Skog, D.L. Martino, et al. 2019. Chapter 12: Harvested Wood Products. In: 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 4:1-49.
- 31 Cook-Patton, S.C., S.M. Leavitt, D. Gibbs, et al. 2020. mapping potential carbon capture from global natural forest regrowth. *Nature*, 585:545-550. DOI:10.1038/s41586-020-2686-x
- 32 Galik, C.S., D.M. Cooley, & J.S. Baker. 2012. Analysis of the production and transaction costs of forest carbon offset projects in the USA. *Journal of Environmental Management*, 112:128-136. DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.06.045
- 33 Kroeger, T., C. Klemz, T. Boucher, et al. 2019. Return on investment of watershed conservation: Best practices approach and case study for the Rio Camboriú watershed, Santa Catarina, Brazil. *Science of the Total Environment*, 657:1368-1381. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.116
- 34 Pearson, T.R.H., S. Brown, & B. Sohngen, et al. 2014. Transaction costs for carbon sequestration projects in the tropical forest sector. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19:1209-1222. DOI: 10.1007/s11027-013-9469-8
- 35 Rogelj, J., D. Shindell, K. Jiang, et al. 2018. Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. *Global Warming of 1.5°C*, 93-174.
- 36 Dietz, S., & Stern, N. 2015. Endogenous Growth, Convexity of Damage and Climate Risk: How Nordhaus' Framework Supports Deep Cuts in Carbon Emissions. *The Economic Journal*, 125(583):574-620. DOI: 10.1111/econj.12188
- 37 Hänsel, M.C., M.A. Drupp, D.J.A. Johansson, et al. 2020. Climate economics support for the UN climate targets. *Nature Climate Change*, 10:781-789. DOI: 10.1038/s41558-020-0833-x
- 38 Glanemann, N., S.N. Willner, A. Levermann. 2020. Paris Climate Agreement passes the cost-benefit test. *Nature Communications*, 11(1):110. DOI: 10.1038/s41467-019-13961-1.
- 39 Fargione, J.E., S. Bassett, T. Boucher, et al. 2018. Natural climate solutions for the United States. *Science Advances*, 4(11):eaat1869. DOI: 10.1126/sciadv.aat1869
- 40 Dalkey, N. & O. Helmer. 1963. an experimental application of the delphi method to the use of experts. *Management Science*, 9(3):351-515. DOI: 10.1287/mnsc.9.3.458
- 41 Morgan, M.G. 2014. Use (and abuse) of expert elicitation in support of decision making for public policy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(20):7176-7184. DOI: 10.1073/pnas.1319946111
- 42 Groves, C. & E.T. Game. 2016. Conservation planning: Informed decisions for a healthier planet. Roberts and Company Publishers, Greenwood Village, Colorado, USA.
- 43 2021. Error Propagation (Propagation of Uncertainty). Statistics How To.
- 44 Paciorek, N., M. Gillenwater, R. De Lauretis, et al. 2019. Chapter 3: Uncertainties. In: 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- 45 McMurray, A., T. Pearson, & F. Casarim. 2017. Guidance on applying the Monte Carlo approach to uncertainty analyses in forestry and greenhouse gas accounting. Winrock International, Arlington, Virginia, USA.
- 46 Seddon, N., A. Chausson, P. Berry, et al. 2020. Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375:1794. DOI: 10.1098/rstb.2019.0120
- 47 Smith, P., J. Adams, D.J. Beerling, et al. 2019. Land-management options for greenhouse gas removal and their impacts on ecosystem services and the sustainable development goals. *Annual Review of Environment and Resources*, 44:255-286. DOI: 10.1146/annurev-environ-101718-033129
- 48 McDonald, R.I., T. Kroeger, P. Zhang, & P. Hamel. May 2019. The value of US urban tree cover for reducing heat-related health impacts and electricity consumption. *Ecosystems*, (23):137-150. DOI: 10.1007/s10021-019-00395-5
- 49 McPherson, G., J.R. Simpson, P.J. Peper, et al. 2005. Municipal forest benefits and costs in five US cities. *Journal of Forestry*, 103(8):411-416.
- 50 Busch, J., J. Engelmann, S.C. Cook-Patton, et al. 2019. Potential for low-cost carbon dioxide removal through tropical reforestation. *Nature Climate Change*, 9:463-466. DOI: 10.1038/s41558-019-0485-x
- 51 Jones, J.P.H., J.S. Baker, K. Austin, et al. 2019. Importance of Cross-Sector Interactions When Projecting Forest Carbon across Alternative Socioeconomic Futures. *Journal of Forest Economics*, 34(3-4):205-231. DOI: 10.1561/112.00000449
- 52 Frederick, S., G. Loewenstein, & T. O'Donoghue. 2002. Time discounting and time preference: A critical review. *Journal of Economic Literature*, 40(2):351-401. DOI: 10.1257/002205102320161311
- 53 Arrow, K.J., M.L. Cropper, C. Gollier, et al. 2014. Should governments use a declining discount rate in project analysis? *Review of Environmental Economics and Policy*, 8(2):145-163. DOI: 10.1093/reep/reu008
- 54 Freeman, M.C., B. Groom, E. Panopoulou, & T. Pantelidis. 2013. Declining discount rates and the Fisher Effect: Inflated past, discounted future? GRI Working Papers 109, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment.
- 55 Addicott, E.T., E.P. Fenichel, & M.J. Kotchen. 2020. Even the representative agent must die: Using demographics to inform long-term social discount rates. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 7(2):379-415. DOI: 10.1086/706885
- 56 Moore, M.A., A.E. Boardman, & A.R. Vining. 2020. Social discount rates for seventeen Latin American countries: Theory and parameter estimation. *Public Finance Review*, 48(1):43-71. DOI: 10.1177/1091142119890369

- 57 McKinsey and Company. 2021. [Why investing in nature is key to climate mitigation](#).
- 58 Friedrich, J., M. Ge, & A. Pickens. 10 Dec 2020. [This interactive chart shows changes in the world's top 10 emitters](#). World Resources Institute Blog.
- 59 Environment and Climate Change Canada. 2020. [Canadian environmental sustainability indicators: Greenhouse gas emissions](#).
- 60 Secretariat of the Convention on Biological Diversity. [The Convention on Biological Diversity](#).
- 61 Gao, F., T. He, Z. Wang, *et al.* 2014. [Multiscale climatological albedo look-up maps derived from moderate resolution imaging spectroradiometer BRDF/albedo products](#). *Journal of Applied Remote Sensing*, 8(1):083532. DOI: 10.1117/1.JRS.8.083532
- 62 Global Carbon Project. 2020. [Supplemental data of Global Carbon Budget 2020 \(Version 1.0\) \[dataset\]](#). Global Carbon Project. DOI: 10.18160/gcp-2020
- 63 IPCC. 2020. [Comprehensive report of China's long-term low-carbon development strategy and transition path research \[in Chinese\]](#). *China Population, Resources and Environment*, 30(11):1-25.
- 64 UNFCCC. 2015. [Enhanced Actions on Climate Change \[in Chinese\]](#)
- 65 Jing, G. 2020. [A series of major climate policies have demonstrated China's commitment to green and low-carbon development \[in Chinese\]](#). *Xinhua News Agency*.
- 66 Zhou, C., T. Mao, X. Xu, *et al.* 2016. [Preliminary analysis of the carbon sink potential of the blue carbon ecosystem in China's coastal zone \[in Chinese\]](#). *Science China Life Sciences*, 46(4):475-486.
- 67 Duan, X., X. Wang, T. Yao, *et al.* 2006. [Advance in the studies on carbon sequestration potential of wetland ecosystem \[J\] \[in Chinese\]](#). *Ecology and Environment*, 15(5): 1091-1095.
- 68 FAOSTAT. [Fertilizers by nutrient \[dataset\]](#).
- 69 Wei, C.Y. 2016. [Study on carbon sink and carbon emission trading in grassland in China \[in Chinese\]](#). *Animal Husbandry of China*, (24) 68-69.
- 70 Meng, L. & H.W. Gao. 2002. [Status quo and restoration strategy of degraded grassland in China \[in Chinese\]](#). China International Conference on Prataculture Development and the 6th Congress of the Chinese Grassland Society, 304-307.
- 71 General Office of the State Council (China). 2011. [12th five-year plan on GHG emission control \[in Chinese\]](#). No. 41.
- 72 State Council (China). 2016. [13th five-year plan on GHG emission control](#). No. 61.
- 73 Gao, J. 2019. [How China will protect one-quarter of its land](#). *Nature*, 569:457. DOI: 10.1038/d41586-019-01563-2
- 74 Zhang, X.Q., Q. Xie, & N. Zeng. 2020. [Nature-based solutions to address climate change \[in Chinese\]](#). *Progress in Climate Change Research*.
- 75 The Nature Conservancy China Program. 2021. [Nature-based Solutions: Research and Practice](#). Beijing: China Environmental Publishing Group.
- 76 The Congress of Colombia. 2016. [Law 1819 of 2016 \[in Spanish\]](#).
- 77 Ministry of Environment and Sustainable Development (Colombia). 2017. [Decree 926 of 2017 \[in Spanish\]](#).
- 78 Instituto Humboldt. 2017. [Colombian Biodiversity: Numbers to keep in mind \[in Spanish\]](#). Press bulletin, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.
- 79 Republic of Indonesia. 2018. [Indonesia Second Biennial Update Report](#), UNFCCC, Bonn, Germany
- 80 Griscom, B. W., J. Busch, J., S.C. Cook-Patton, *et al.* 2020. [National mitigation potential from natural climate solutions in the tropics](#). *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794):20190126. DOI: 10.1098/rstb.2019.0126
- 81 Page, S.E., J.O. Rieley, & C.J. Banks. 2011. [Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool](#). *Global Change Biology*, 17(2):798-818. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02279.x
- 82 Gumbrecht, T., R.M. Roman Cuesta, L. Verchot, *et al.* 2017. [An expert system model for mapping tropical wetlands and peatlands reveals South America as the largest contributor](#). *Global Change Biology*, 23(9):3581-3599. DOI: 10.1111/gcb.13689
- 83 Giri, C., E. Ochieng, L.L. Tieszen, *et al.* 2010. [Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data](#). *Global Ecology and Biogeography*, 20(1):154-159. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x
- 84 Rypdal, K., N. Paciorek, S. Eggleston, *et al.* 2006. [Chapter 1: Introduction to the 2006 guidelines](#). In: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- 85 Murdiyarso, D., J. Purbopuspito, J. Boone Kauffman, *et al.* 2015. [The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation](#). *Nature Climate Change*, 5:1089-1092. DOI: 10.1038/nclimate2734
- 86 Alongi, D.M., D. Murdiyarso, J.W. Fourqurean, *et al.* 2016. [Indonesia's blue carbon: A globally significant and vulnerable sink for seagrass and mangrove carbon](#). *Wetlands Ecology and Management*, 24(3):3-13. DOI: 10.1007/s11273-015-9446-y
- 87 IPCC. 2014. [Annex II: Glossary \[Mach, K.J., S. Planton and C. von Stechow \(eds.\)\]](#). In: *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 117-130.
- 88 Boden, T.A., G. Marland, & R.J. Andres. 2017. [Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions](#). Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. DOI: 10.3334/CDIAC/00001_V2017

- 89 Center for Climate and Energy Solutions. [Global Emissions Data](#).
- 90 Cameron, D.R., D.C. Marvin, J.M. Remucal & M.C. Passero. 2017. [Ecosystem management and land conservation can substantially contribute to California's climate mitigation goals](#). Proceedings of the National Academy of Sciences, 114(48):12833-12838. DOI: 10.1073/pnas.1707811114
- 91 Graves, R.A., R.D. Haugo, A. Holz, et al. 2020. [Potential greenhouse gas reductions from Natural Climate Solutions in Oregon, USA](#). PLoS One. DOI: 10.1371/journal.pone.0230424
- 92 Cook-Patton, S.C., T. Gopalakrishna, A. Daigneault, et al. 2020. [Lower cost and more feasible options to restore forest cover in the contiguous United States for climate mitigation](#). *One Earth*, 3(6):739-752. DOI: 10.1016/j.oneear.2020.11.013
- 93 Fargione, J., D.L. Haase, O.T. Burney, et al. 2021. [Challenges to the reforestation pipeline in the United States](#). *Frontiers in Forests and Global Change*. 4. DOI: 10.3389/ffgc.2021.629198
- 94 United Nations. 1992. [Convention on biological diversity](#).
- 95 Reid, W.V., H.A. Mooney, A. Cropper, et al. 2005. [Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report](#). Island Press, Washington, D.C.
- 96 Bartholemew, S. 2015. [What does climate justice mean to you?](#) Climate Generation Blog.
- 97 Environmental Justice Initiative. n.d. [The Climate Justice Declaration](#). School of Natural Resources and Environment, University of Michigan.
- 98 The Nature Conservancy. n.d. [Tanzania: Tuungane Project](#). Nature.org.
- 99 United Nations. 2007. [The United Nations declaration on the rights of Indigenous Peoples](#).
- 100 International Labour Organization. 1989. [Indigenous and Tribal Peoples Convention](#). C169.
- 101 The Nature Conservancy. 2020. [The Nature Conservancy's Human Rights Guide for Working with Indigenous Peoples and Local Communities](#).
- 102 Swedish International Development Cooperation Agency (SIDA). 2018. [Power analysis: A practical guide](#).
- 103 University of California, Davis & University of Michigan, Ann Arbor. 2018. [Building equitable partnerships for environmental justice](#).
- 104 Terry, G. 2009. [No climate justice without gender justice: an overview of the issues](#). *Gender & Development*, 17(1):5-18. DOI: 10.1080/13552070802696839
- 105 Pearse, R. 2016. [Gender and climate change](#). *WIREs Climate Change*, 8(2):e451. DOI: 10.1002/wcc.451
- 106 Burns, B. & T. Daniel. 2020. [Pocket guide to gender equality under the UNFCCC](#). European Capacity Building Initiative (ECBI).
- 107 Rights and Resources Initiative. 2015. [Who owns the world's land? A global baseline of formally recognized Indigenous and community land rights](#). Washington, D.C.: RRI
- 108 Lipsett-Moore, G.J., N.H. Wolff, & E.T. Game. 2018. [Emissions mitigation opportunities for savanna countries from early dry season fire management](#). *Nature Communications*, 9(2247). DOI: 10.1038/s41467-018-04687-7
- 109 Goldstein, A. Mar 2016. [Not so niche: Co-benefits at the intersection of forest carbon and sustainable development](#). Forest Trends' Ecosystem Marketplace.
- 110 European Commission. 2014. [Eurostat: Statistics Explained](#).
- 111 Parresol, Bernard R. 2002. [Biomass](#). Encyclopedia of Environmetrics (ISBN 0471 899976). 1:196-198.
- 112 General Secretariat of the Council Directorate. 2011. [Climate change: Key terms in 23 languages](#). European Union.
- 113 UN Environment Programme – World Conservation Monitoring Centre. 2019. [Biodiversity A-Z website](#). UNEP-WCMC, Cambridge, UK.
- 114 USFS. 2016. [Valuing Ecosystem Services: Carbon Sequestration](#).
- 115 Denchak, M. 2019. [Greenhouse Effect 101](#). Natural Resources Defense Council (NRDC).
- IUCN. 2020. [Nature-based solutions](#).
- UNFCCC. 2021. [REDD+ Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation: Overview](#).
- 116 Nordhaus, W.D. 2017. Revisiting the social cost of carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(7)1518-1523. DOI: 10.1073/pnas.1609244114

Next page: Sunset at Tallgrass Prairie National Preserve near Strong City, Kansas, U.S. @ Ryan Donnell/TNC

