

---

**INTERNATIONAL PRINCIPLES AND  
STANDARDS FOR THE PRACTICE  
OF ECOLOGICAL RESTORATION.  
SECOND EDITION**

生态恢复实践的国际原则与标准  
(第二版)

George D. Gann, Tein McDonald, Bethanie Walder, James Aronson,  
Cara R. Nelson, Justin Jonson, James G. Hallett, Cristina Eisenberg,  
Manuel R. Guariguata, Junguo Liu, Fangyuan Hua, Cristian Echeverría,  
Emily Gonzales, Nancy Shaw, Kris DeCleer, Kingsley W. Dixon, 著

刘俊国 王丹 译

---

谨以此书献给支持国际恢复生态学学会 (SER)  
和北京生态修复学会 (SERB), 以及为生态修  
复而努力奋斗的所有朋友

## 前言

国际恢复生态学学会（以下简称 SER）是一个拥有 70 个国家会员的国际非营利组织。SER 促进了生态恢复科学、实践与政策的发展，使生物多样性得以持续，提高了应对气候变化的能力，同时重建了自然与文化之间的生态健康关系。SER 是一个动态的全球网络，连接着研究人员、从业人员、土地管理人员、社区领导和决策者，共同致力于恢复生态系统及依托存在的人类社区。通过我们的学会会员、出版物、会议、政策工作和科研推广，SER 界定并传递着生态恢复领域的卓越品质。

**生态恢复标准的发展历史：**《生态恢复实践国际原则和标准》（以下简称《标准》）是由生态恢复学会的专业人员及其全球科学和生态保护界的同行共同协商制定的。《标准》的第一版于 2016 年在墨西哥坎昆举行的联合国生物多样性大会上发布。该大会汇集了来自国际政策领域的主要利益相关方，其中许多人在推动实施大规模环境恢复计划的全球倡议方面发挥了重要作用。由于《标准》是一份“动态文件”，即需要通过利益相关方的协商和使用对《标准》进行修改和扩展，因此，《标准》的发布包括公开邀请利益相关方参与修改，以改进该“动态文件”并促进文件被广泛使用。随后，通

过为期两年的咨询与协商，SER 邀请了各种有助于生态恢复的专家和组织对《标准》进行审查。联系的主要利益相关方包括“生物多样性公约”(CBD) 秘书处，“联合国防治荒漠化公约”(UNCCD) 秘书处（包括其科学与政策的干预），全球环境基金，世界银行和森林景观恢复 (GPFLR) 的全球伙伴关系成员。2017 年，SER 与 IUCN 生态系统管理委员会 (CEM) 合作，举办了一场关于生物多样性和全球森林恢复的受邀论坛，会上审查了 SER 标准 (SER 和 IUCN-CEM 2018)。SER 还在 2017 年 SER 世界生态恢复大会上组织了 SER 标准研讨会和开放式知识咖啡馆。开展其他活动时，也收到了关于《标准》修改的其他意见，包括 2017 年在中国深圳举行的第 9 届生态系统服务合作伙伴世界大会。为了获取 SER 社群的观点，SER 通过其网站邀请在线反馈，并向 SER 成员、附属机构和利益相关方发送在线调查。SER 还在其《恢复生态学》杂志中考虑并回应了已发表评论的反馈。

在对《标准》进行修订过程中考虑了涉及到《标准》的所有意见。第二版《标准》于 2019 年 6 月 18 日由 SER 科学与政策委员会和 SER 董事会批准。与第一版一样，随着恢复生态学科学、实践和适应性管理的发展，第二版本《标准》也会被修订和改进。

该《标准》与《保护实践的开放标准》(Conservation Measures Partnership 2013)相兼容，并在《保护实践的开放标准》基础上进行了扩展，并补充了 REDD + 社会和环境标准 (REDD + SES 2012) 以及其他保护标准和指南。

**贡献者。** Levi Wickwire 在《标准》制定期间提供了帮助。Karen Keenleyside 为原版《标准》内容的撰写作出了贡献。Andre Clewell 为属性列表和圆形模板图的成型提供了灵感和想法 (具体见附录 2, 图 4)。Kayri Havens 协助调整了附录 1 中关于种子选择和繁殖体来源部分的内容，Craig Beatty (IUCN) 对第四节第三部分的全球恢复计划作出了贡献。感谢以下为第一版《标准》作出翻译贡献的科研工作者：Claudia Concha, Marcela Bustamante and Cristian Echeverría (西班牙人); Ricardo Cesar (葡萄牙人); Narayana Bhat (阿拉伯人); Jaeyong Choi (韩国人); Junguo Liu (中国人); and, Jean-François Alignan, Julie Braschi, Élise Buisson, Jacqueline Buisson, Manon Hess, Renaud Jaunatre, Maxime Le Roy, Sandra Malaval, and Réseau d'Échanges et de Valorisation en Écologie de la Restauration (REVER) (法国人)

**审稿人：**许多国际专家为《标准》第二版的修订提供了建议。在此，我们可能无意中遗漏了部分审稿人。该《标准》中的观点是

作者的观点，不一定是审稿人的观点。Sasha Alexander, Mariam Akhtar-Schuster, Craig Beatty, María Consuelo de Bonfil, Karma Bouazza, Elise Buisson, Andre Clewell, Jordi Cortina, Donald Falk, Marco Fioratti, Scott Hemmerling, Richard Hobbs, Karen Holl, Berit Köhler, Nik Lopoukhine, Graciela Metternicht, Luiz Fernando Moraes, Stephen Murphy, Michael Perring, David Polster, Karel Prach, Anne Tolvanen, Alan Unwin, Ramesh Venkataraman, Steve Whisenant, Andrew Whitley, and Shira Yoffe 为本《标准》提供了重要的审稿意见。

2017年，在巴西的伊瓜苏瀑布举办的 SER 和 IUCN-CEM 生物多样性和全球森林恢复论坛上，许多与会者帮助阐明了 SER 标准的范围和背景：Angela Andrade, James Aronson, Rafael Avila, Brigitte Baptiste, Rubens de Miranda Benini, Rachel Biderman, Blaise Bodin, Consuelo Bonfil, Magda Bou Dagher Kharrat, MiHee Cho, Youngtae Choi, Jordi Cortina, Kingsley Dixon, Giselda Durigan, Cristian Echeverría, Steve Edwards, George Gann, Manuel R. Guariguata, Yoly Gutierrez, James Hallett, Ric Hauer, Karen Holl, Fangyuan Hua, Paola Isaacs, Justin Jonson, Won-Seok Kang, Agnieszka Latawiec, Harvey Locke, James McBreen, Tein McDonald, Paula Meli, Jean Paul Metzger, Miguel A. Moraes, Ciro Moura, Cara Nelson, Margaret O'Connell, Aurelio Padovezi, Hernán Saavedra, Catalina Santamaria, Gerardo Segura Warnholtz, Kirsty Shaw, Nancy Shaw, Bernardo Strassburg, Evert Thomas, José Marcelo, Alan Unwin, Liette

Vasseur, Joseph Veldman, Bethanie Walder, and Jorge Watanabe

2017年,在巴西伊瓜苏瀑布举办的SER世界生态恢复会议上,参与国际标准知识咖啡馆的人员有: Mitch Aide, Rafael Carlos Ávila-Santa Cruz, Suresh Babu, Blaise Bodin, Craig Beatty, Steve Edwards, George Gann, Angelita Gómez, Emily Gonzales, Justin Jonson, Marion Karmann, Tein McDonald, Antonio Ordorica, Claudia Padilla, Liliane Parany, David Polster, Catalina Santamaria, Bethanie Walder, Andrew Whitley, Paddy Woodworth, and Gustavo Zuleta.

已发布的第一版《标准》的反馈。以下人员对第一版《标准》提供了宝贵的意见: Constance Bersok, Kris Boody, Zoe Brocklehurst, Elise Buisson, Peter Cale, David Carr, Michael Rawson Clark, Andre Clewell, Adam Cross, Maria del Sugeyrol Villa Ramirez, Rory Denovan, Giselda Durigan, Rolf Gersonde, Emily Gonzales, Diane Haase, Ismael Hernández Valencia, Eric Higgs, Sean King, Beatriz Maruri-Aguilar, Rob Monico, Michael Morrison, Stephen Murphy, Tom Nedland, J.T. Netherland, Samira Omar, David Ostergren, Glenn Palmgren, Jim Palus, Aviva Patel, David Polster, Jack Putz, Danielle Romiti, George H. Russell, David Sabaj-Stahl, Raj Shekhar Singh, Nicky Strahl, Tobe Query, Edith Tobe, Michael Toohill, Daniel Vallauri, Jorge Watanabe, Jeff Weiss, William Zawacki, and Paul Zedler. Cassandra Rosa 汇编了关于《标准》详细的说明,并回顾了关于SER标准调查的100多名受访者的评论



**经费支持。**MRG 感谢 CGIAR 森林、树木和农林业项目提供的资金。

刘俊国感谢国家自然科学基金(41625001)和中国科学院战略优先研究项目(批准号: XDA20060402)的支持。KWD 通过澳大利亚研究理事会矿场恢复工业改造培训中心获得澳大利亚政府的资助(项目编号: ICI150100041)。生态恢复学会获得了来自时代基金会 Temper 的图形设计和开发资金支持。

### 建议引用格式

Gann GD, McDonald T, Walder B, Aronson J, Nelson CR, Jonson J, Hallett JG, Eisenberg C, Guariguata MR, Liu J, Hua F, Echeverría C, Gonzales E, Shaw N, Decler K, Dixon KW (2019) International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology* xx:xxx-xxx.

**标题:** 生态恢复实践国际原则与标准 (第二版)

**页眉:** 国际生态恢复标准

**作者:**

George D. Gann, 区域保护研究所, 德尔雷比奇市, 佛罗里达州

33483, 美国; 国际生态恢复学会, 华盛顿, 20005, 美国

Tein McDonald, 澳大利亚生态恢复学会, 库马市东大街10号, 新南威尔士 2630, 澳大利亚

Bethanie Walder, 国际生态恢复学会, 华盛顿, 20005, 美国

James Aronson, 密苏里植物园保护和可持续发展中心, 密苏里州圣路易斯, 63166, 美国

Cara R. Nelson, 蒙大拿大学弗兰克森林与保护学院生态与保护科学系, 米苏拉市, 蒙大纳州; 国际自然保护联盟生态系统管理委员会生态系统恢复专题小组, 格兰德 1196, 瑞士

Justin Jonson, 阈值环境有限公司, 奥尔巴尼, 西澳大利亚州 6331, 澳大利亚

Cristina Eisenberg, 地球观测研究所, 波士顿, 马萨诸塞州 02134, 美国; 俄勒冈州立大学林业学院森林生态系统与社会系, 科瓦利斯, 俄勒冈州 97331 美国

James G. Hallett\*, 国际生态恢复学会, 华盛顿 20005, 美国

\*通讯作者: [jghallett@gmail.com](mailto:jghallett@gmail.com)

Manuel R. Guariguata, 国际林业研究中心, 莫利纳大道1895号, 利马, 秘鲁

刘俊国，南方科技大学环境科学与工程学院，深圳 518055，中国；北京生态修复学会，北京，中国

华方圆，北京大学生态研究所，北京 100871，中国；动物学系，剑桥大学，剑桥 CB2 3EJ，英国

Cristian Echeverría，康塞普西翁大学森林科学学院景观生态学实验室，康塞普西翁，智利

Kris DeCleer，自然与森林研究所，Herman Teirlinck大楼，1000布鲁塞尔，比利时

Emily Gonzales，加拿大公园，温哥华西乔治亚街300-300，BC V6B 6B4，加拿大

Nancy Shaw，草原、灌木丛和沙漠生态系统研究所，USFS落基山研究站，博伊西市，爱达荷州 83702，美国

Kingsley W. Dixon，科廷大学分子与生命科学学院ARC矿区修复中心，宾利市，西澳大利亚州 6102，澳大利亚

作者贡献

George D. Gan, Tein McDonald和Bethanie Walder统筹协调了标准文件的编制，并征求了第一版标准文件和后续修改稿件的审稿意见。George D. Gann, Tein McDonald, Bethanie Walder, James Aronson, Cara R. Nelson, Justin Jonson, Cristian Echeverría, James G. Hallett, Manuel R. Guariguata, 刘俊国, 华方圆, Emily Gonzales和Kingsley W. Dixon撰写了标准的文本部分。James G. Hallett编辑并修订了该标准文件。Nancy Shaw和Kingsley W. Dixon对该标准的各个部分进行了解释说明。

**关键词：**生物多样性保护，全球恢复政策，生态恢复目标，参照系统，恢复连续性统一体，恢复基本原则

## 译者致谢

本书得到了国家杰出青年科学基金(41625001)和中国科学院战略优先研究项目(批准号:XDA20060402)的大力资助。非常感谢北京生态修复学会理事、监事以及秘书处对中国生态修复事业的坚持和辛勤付出。感谢崔文惠博士在译文中所做的校对工作。感谢我的家人,尤其是爱人唐瑜及两个儿子刘子睿、刘子颀对我工作的支持!

由于译者水平有限,书中不妥之处在所难免,希望读者予以批评指正!

刘俊国

南方科技大学讲席教授

北京生态修复学会理事长

2019年9月13日

## 目录

### 目录

前言.....	I
译者致谢.....	X
目录.....	XI
第一节 引言.....	4
生态恢复作为改善生物多样性和人类福祉的手段，及其 在更广泛的全球倡议中的作用.....	4
原则和标准的必要性.....	6
背景.....	7
该版本的新内容是什么？.....	8
主要定义及术语.....	9
基础假设.....	11
第二节 生态恢复的八项原则.....	13
原则 1. 利益相关方参与生态恢复.....	13

原则 2. 生态恢复需利用多种知识.....	16
原则 3. 生态恢复实践基于本地参考生态系统，并考虑环境变化.....	19
原则 4. 生态恢复支持和优化生态系统恢复过程.....	23
原则 5. 生态系统恢复是根据明确的目标和可测量的指标进行评估的.....	25
原则 6. 生态恢复寻求可实现的最高恢复水平.....	27
原则 7. 大规模的生态恢复会产生累积价值.....	30
原则 8. 生态恢复是恢复性活动的一部分.....	32
第三节 规划和实施生态恢复项目的实践标准.....	35
第四节 引领性的生态恢复实践.....	49
第一部分 构建生态恢复参考模型.....	49
第二部分 确定适当的生态恢复方法.....	55
第三部分 生态恢复在全球恢复计划中的作用.....	60
第五节 专业术语.....	69

附录 1. 选择用于生态恢复的种子和其他繁殖体.....	90
种子或其他繁殖体的遗传方面的考虑 3.....	90
繁殖体来源与气候变化.....	92
工具和未来方向.....	95
恢复连通性并协助迁移.....	97
附录 2. 空白项目评估模板（供从业者使用） .....	99
参考文献.....	102
译者简介.....	159



## 概要

有效和可持续地实施生态恢复有助于保护生物多样性，改善人类健康和福祉，提高粮食和水的安全性，提供商品和服务，实现经济繁荣；有利于减缓气候变化、增强生态系统的弹性以及适应性。这是一种基于问题解决的方法，让社区、政策制定者、科学家和土地管理者共同参与其中，重建人与自然界之间更和谐健康的关系。当考虑环境保护和可持续利用相结合，生态恢复是使局部、区域和全球环境条件从持续退化状态向积极改善状态转变的必要环节。第二版“生态恢复实践国际基本原则和标准”为恢复项目提供了一个强有力的框架，以实现预期目标，应对一系列挑战，其中包括有效设计和实施恢复方案、解释复杂的生态系统动态系统（特别是在气候变化背景下），以及指导与土地管理优先事项和决策相关的权衡关系。

该《标准》确立了支持生态恢复的八项原则。原则 1 和 2 阐明了指导生态恢复的重要基础：有效地吸引了众多的利益相关者，并分别充分利用了现有的科学，传统和地方知识。原则 3 和 4 总结了生态恢复的核心方法，强调将生态适宜的参考生态系统作为恢复目标，并阐明生态恢复活动对于支持生态系统恢复过程的必要

性。原则 5 强调使用可衡量的指标来评估恢复目标的进展情况。原则 6 规定了生态恢复的任务，以寻求可实现的最大程度的恢复。需要生态恢复工具以确定所追求的恢复水平并跟踪进展。原则 7 强调了在大空间尺度上恢复累积收益的重要性。最后，生态恢复是解决生态系统损害的几种方法之一，原则 8 阐明了它与“恢复连续性统一体”的联合方法之间的关系。

《标准》强调了生态恢复在连接社会、社区、生产力和可持续发展目标的作用。该《标准》还为行业、社区和政府提供开展恢复性活动的建议。更新的《标准》修订了指导从业人员规划，实施和监控活动的实践和行动清单。主要的实践和指导方针包括讨论适当的现场评估方法和参考生态系统的确定，包括自然更新在内的不同的恢复方法，考虑气候变化下的遗传多样性，以及生态恢复在全球恢复举措中的作用。此版本还包括了更新后的生态恢复术语表。

SER 及其国际合作伙伴制定的生态恢复标准，可供社区、行业、政府、教育工作者和土地管理者采用，以改善所有部门和所有生态系统（陆地和水生）生态恢复实践。该《标准》可用于支持制定生态恢复计划、合同、同意条件以及监测和审核标准。标准框架

可以适应特定的生态系统、生物群落或景观；也适用于不同国家或不同的传统文化。该《标准》可为改善生态修复成果、促进最佳修复实践以及产生全球环境和社会净效益提供有效的工具。随着世界进入联合国生态系统恢复十年（2021-2030），该标准提供了一个蓝图，以确保生态恢复在实现社会和环境公平，并最终实现经济效益和成果方面发挥其全部潜力。

## 第一节 引言

生态恢复实践的国际原则和标准（以下简称：标准）为从业人员、执行人员、学生、规划人员、管理者、监管机构、资助者，以及参与恢复世界各地退化生态系统（无论是陆地、淡水、沿海还是海洋）的执行机构提供指导。标准将生态恢复置于全球背景下，包括全球迅速变化时代生态恢复在恢复生物多样性和改善人类福祉方面的作用。

### 生态恢复作为改善生物多样性和人类福祉的手段，及其在更广泛的全球倡议中的作用

人类认识到地球的本地生态系统具有不可替代的生态、社会和经济价值。除了其内在价值（如生物多样性和生态景观美学以及精神和灵感相关的文化服务），运作良好的生态系统及其生物多样性确保了生态系统服务。这些服务包括：提供干净的水和空气，良好的土壤，具有重要文化意义的文物，以及对人类健康、福祉和生计至关重要的食物、纤维、燃料和药物。本地生态系统还可以减少自然灾害的影响，缓解加速的气候变化。生态系统的退化、损害和破坏（以下统称为退化）会削弱生态系统的生物多样性、功能和弹性，从而对社会生态系统的弹性和可持续性产生负面影响。尽管保

护现存的本地生态系统对于保护世界的自然和文化遗产至关重要，但生态系统在持续退化中，仅仅对现存生态系统实施保护是不够的。为应对当前的全球环境挑战并确保对人类福祉至关重要的生态系统服务的可持续性，全球社会不仅要致力于环境保护而且还要致力于环境修复（包括生态恢复），确保本地生态系统获得净收益。这种生态修复必须在多个尺度上实施，以在全球范围内实现可衡量的效果。

随着人类对环境修复必要性的逐步认识，生态恢复及其相关研究也受到全球范围内的关注（另见第四节第三部分）。例如，2030年联合国（UN）可持续发展目标（SDGs）呼吁恢复已退化的海洋和沿海生态系统（目标 14）和陆地生态系统（目标 15），这些目标要求“保护、恢复和促进可持续利用陆地生态系统,可持续管理森林,防治荒漠化,制止和扭转土地退化,遏制生物多样性的丧失”。2016 年的生物多样性公约呼吁“恢复退化的自然和半自然生态系统（包括在城市环境中），扭转生物多样性丧失，恢复连通性，改善生态系统的弹性，加强生态系统服务的供给能力，减缓和适应气候变化影响，防治荒漠化和土地退化，改善人类福祉，同时降低环境风险和资源稀缺。”联合国大会宣布 2021-2030 为“生态系统恢复

十年”。然而，这些倡议和协议中的恢复概念非常宽泛，涵盖了所有重要的生态系统管理方法和基于自然的解决方案。在此基础上，该《标准》论述了生态恢复与其他生态系统管理方法及其基于自然的解决方案之间的关系，并阐明生态恢复在促进保护生物多样性和改善全球人类福祉目标方面的具体作用。

### 原则和标准的必要性

修复退化的生态系统是一项复杂的任务，需要大量的时间、资源和知识。生态恢复在很大程度上有助于保护生物多样性和人类福祉，但许多即便是高投入的恢复项目和计划，都未能获得理想的结果。该《标准》认为，为了提高产出，合理的设计和规划，有效的实施，丰富的知识、技能和资源，对社会背景和风险的充分了解，利益相关方的参与，以及对实施过程的监测和调整都必不可少。该《标准》通过对不同生态系统制定技术层面的实施标准，在尊重社会文化层面的现实和需求、以及增强各利益相关方参与的前提下，提供一个可强制性实施（生态恢复被作为项目成立条件之一）或非强制性实施（自愿修复）的参考框架，以提高生态修复项目的投入产出比。无论是用于指导机构、公司或个人从事规划、实施和监测；还是用于指导监管机构制定强制恢复的标

准，并评估这些标准是否被达到；亦或是用于指导决策者设计、资助和评估任何规模的恢复项目，这些标准都可以提高生态恢复的成功率。因此，明确的、成熟的生态恢复原则和标准能够显著的减少对生态系统和本地生物多样性的意外破坏的风险，并有助于开发适合监测和评估的高质量项目和计划。

## 背景

第二版《标准》借鉴并加入了 SER 的基础文件集，包括《SER 国际生态恢复入门》（SER 2004），《恢复项目开发和管理指南》（Clewell et al.2005），《生态恢复 - 保护生物多样性和维持生计的手段》（Gann & Lamb 2006），《保护区的生态恢复：原则、指南和最佳实践》（Keenleyside et al, 2012）。第二版《标准》还充分借鉴了 SER 的《道德规范》（SER 2013），同时，第二版《标准》特别借鉴了《澳大利亚生态恢复实践国家标准》两个版本的内容和模型（McDonald et al. 2016a; McDonald et al. 2018）。几本有影响力的书包括《恢复生态学：新的研究前沿》（Van Andel & Aronson 2012），《生态恢复：新兴职业的原则、价值和结构》（Clewell & Aronson 2013），《恢复生态学基础》（Allison & Murphy 2017），Routledge 生态与环境恢复手册（Allison & Murphy 2017）（Routledge

为出版社名称)，和《生态修复项目管理》(Liu & Clewell 2017)。新标准还对以下资料进行了总结：《生态系统恢复全球优先》社论 (Aronson & Alexander 2013)，《生态系统恢复：CBD 短期行动计划》政策文件 (2016 年生物多样性公约)，并与《自然》期刊合作发文：《森林和景观恢复中的自然再生案例》(Chazdon et al. 2017)，以及《恢复森林和景观：GPFLR 可持续未来的关键》(GPFLR; Besseau et al. 2018)。SER 关于《生态恢复科学与实践》(岛屿出版社)的系列丛书以及其他许多文献都为第二版《标准》的完善提供了依据。虽然为了简洁起见，第一节至第三节基本上没有引用参考文献，但第四节(主要实践)、附录 1 和附录 S1 都包括了参考文献。

### 该版本的新内容是什么？

为了更好地强调人类在自然界中发挥的不同作用以及将土著群体的目标融入生态恢复的整体情况，我们重新组织了《标准》的基本原则，以突出社会经济和文化成分。原则 1 扩展了社会目标，并包括一个新的“社会福利轮”，以传达社会具体目标和总体目标。原《标准》的基本原则和关键概念部分合并成了新版本《标准》的原则部分。附件 1 提供了一份详实的关于生态恢复概念和原则的清单。第一版本《标准》第四部分中关于扩大生态恢复规模和拓宽生态恢复



与相关活动之间关系的内容，已纳入第二版本《标准》的原则 7 和原则 8 中。与参考模型和恢复方法相关的关键主题被纳入到新《标准》版本第四节的领先实践部分。该部分还考虑将生态恢复纳入全球恢复计划。我们增加了一个关于采购种子和其他繁殖体以进行修复的技术附录。

### 主要定义及术语

SER 将**生态恢复**定义为协助已经退化、损害或者彻底破坏的生态系统恢复到原来发展轨迹的过程。它不同于**恢复生态学**（支持生态恢复实践的**科学**），同样，也不同于为寻求帮助恢复本地生态系统和**生态系统完整性**的其他形式的环境修复。生态恢复使退化的生态系统处于恢复的轨道上，从而适应当地和全球的变化，适应组成物种的持续和演化。

生态恢复通常用于描述生态系统所寻求的过程和结果，但《标准》保留了“**restoration**”一词，用于修饰所进行的活动，同时，保留了“**recovery**”一词，用于修饰寻求或实现的结果。该《标准》将生态恢复定义为以实现大量生态系统恢复为目标的任意形式的**活动**，这些活动对照适当的**参考模型**，与实现恢复所需的时间无关。用于生态恢复项目的参考模型由**本地生态系统**提

供信息，包括许多**传统人工生态系统**（见原则 3）。

生态恢复项目或计划包括一个或多个**目标**，这些目标用于识别要恢复的本地态系统（由参考模型提供信息），同时，这些目标用于确定所寻求的恢复水平。**完全恢复**被定义为经过生态恢复之后所有**关键生态系统属性**与参考模型非常相似的一种状态或条件。如果由于资源、技术、环境或社会限制而计划或实现低水平的恢复，则这种恢复被称为**部分恢复**。**生态恢复项目**或计划应该是**实质性恢复**本地生物群和生态系统功能（与下面的**生态修复**形成对比）。当生态恢复的目标是完全恢复时，一个重要的基准是生态系统具体**自我组织**特性并且正在进行完全恢复。在这个阶段，如果有意想不到的**阻碍**或缺少特定物种或过程使得恢复过程偏离正常轨道，可能需要进一步的干预以确保最终朝着完全恢复的方向努力。一旦实现完全恢复，任何正在进行的干预措施（例如，确保持续的**干扰**）将被视为**生态系统维护**或管理。特定干预措施，例如有计划焚烧或入侵物种的控制，可用于项目的恢复和维护阶段。**恢复项目**的目标不是本地生态系统的恢复，而是恢复一定程度的生态系统功能，以便更新和持续提供可能来自非本地生态系统的生态系统服务。

生态修复是诸多**恢复性活动**之一，这些恢复性活动包括生态恢复及与之关联的或互补的活动，所有这些活动都有助于改善**生态系统健康、生态系统完整性和社会-生态弹性**（见原则 8）

## 基础假设

关于生态恢复作用的一些假设是制定《标准》的基础。首先，恢复大多数本地生态系统是一个具有挑战性的过程，实质性恢复通常需要很长时间。因此，许多生态恢复项目仍远未实现生物多样性水平、生态系统功能和提供完整生态系统服务。因此，尽管可能由于生态系统的丧失或退化可以有所补偿，**但永远不应将生态恢复的潜力作为破坏或损坏现有本地生态系统或不可持续利用的理由**。同样，转移稀有物种也不能用于成为破坏现有完整栖息地的理由。然而，在规定赔偿的情况下，赔偿水平应远远超过估计的生态系统损失或退化，并应注意确保这种抵消不会引起额外的退化。

其次，《标准》阐明了使用本地参考生态系统作为恢复生态系统的模型。来自多个信息来源的参考模型旨在表征未退化的，或为适应生物或环境条件的变化（如气候变化）而做过必要调整的生态系统的状况。《标准》还明确指出，适当的生态恢复参考模型不是基于在过去的某个时间点固定生态群落，而是更有利于优化本地

物种和群落恢复并继续重新组合、适应和进化的潜力。

最后，生态恢复是一系列旨在保护和可持续利用本地生态系统的管理实践的一部分。这些实践包括农业、渔业和林业再生和生态工程。生态工程种类繁多，既包括生物多样性公约、联合国 2030 年可持续发展目标援引的生态工程，也包括森林景观恢复 (FLR) 项目以及众多地方和区域性的项目。因此，生态恢复是对其他保护活动和基于自然的解决方案的补充，反之亦然。

## 第二节 生态恢复的八项原则

以下原则提供了解释、定义、指导和衡量生态恢复实践活动和结果的框架。这些原则代表了 **SER** 基础文献，科学文献和从业者经验中提出的原则和概念的提炼（附录 S1）

### 原则 1. 利益相关方参与生态恢复

进行生态恢复的原因有很多，包括恢复**生态系统完整性**，满足个人、文化、社会经济和生态价值。这种生态和社会效益的结合可以提高**社会生态恢复弹性**。人类通过与自然更密切和互惠的接触中受益。参与恢复项目可以是变革性的，例如，当参与恢复项目的儿童在恢复场所发展个人所有权时，或者当社区志愿者在恢复实践或科学中寻求新的职业或职业道路时。位于退化的生态系统内或附近的社区可以通过恢复获得健康和其他方面的好处，如改善空气、土地、水和本地物种栖息地的质量。原著居民和当地社区（农村和城市）受益于以自然为基础的文化、习俗和生计（例如，自给性捕鱼、狩猎和采集）。此外，生态恢复可以为当地**利益相关方**提供短期和长期的就业机会，同时创造积极的生态和经济反馈循环。

利益相关方可以制定或终止一项生态恢复项目。生态恢复取决于利益相关方对期望和利益的认识，以及利益相关方直接参与生态恢复的程度，这可以确保自然和社会的相互繁荣。利益相关方可以帮助确定整个景观中恢复行动的分配优先级，设定项目目标（包括所需的恢复水平），提供有关生态条件和演替模式的知识，以改进参考模型的开发，并开展**参与式监测活动**。此外，利益相关方可以为长期项目的可持续性提供政治和财政支持，以及缓和可能出现的冲突或分歧。承认各种形式的财产所有权和各种形式的管理（例如，政府，私人或社区），以及承认土地使用权和社会组织，这对于实现生态恢复目标至关重要。因此，恢复项目的管理者应该真正地、积极地与在生态恢复地点内或附近生活或工作的居民进行交流，同时，多与项目的生态价值和**自然资本**（包括生态系统服务）有利害关系的人进行接触。理想情况下，这种参与应在生态恢复概念阶段或在生态恢复项目启动之前进行开展，因此利益相关方可以帮助确定生态恢复愿景、生态恢复目标，以及恢复实施和监控的方法。在整个项目过程中都应致力于满足社会期望，培养主人翁意识和能力，同时，保持对生态恢复的支持和投入。在所有利益相关方之间建立协同对话和信任，这有利于建立对不同观点

和不同知识的尊重，并在项目的所有阶段保持兴趣和应有的承诺。这种合作可以促进更迅速和更有效的地方决策，特别是在实施参与式或协作式的监测方法时，生态恢复效果更为显著。

与当地社区（包括土著社区、非营利市民团体和市民科学家）合作制定生态恢复计划可以增加社区对生态恢复投资的力度。青年和妇女可以成为生态恢复强有力的代言人，特别是在服务水平低下的社区。这种社区参与可能会将社会公正和人类生态的组成部分带入生态恢复项目，并有助于充分利用生态恢复项目资金。

在生态恢复的规划阶段，必须在制定生态目标的同时一起确定社会和人类**福祉**目标（包括恢复或加强生态系统服务的目标）（见原则 5、原则 7 以及第四节第三部分）。在许多文件中都说明了如何确定适当目标以优化社会-生态系统中社会和环境结果的方针指南（例如，Lynam et al. 2007; Keenleyside et al. 2012; REDD + SES 2012; Conservation Measures Partnership 2013）。图 2 和表 1 提供了用于描述社会目标进展的模板。可以通过调整这些模板内容以适应任何生态恢复项目的社会目标。

## 原则 2. 生态恢复需利用多种知识

生态恢复实践需要较高水平的生态领域的知识，这些知识可以从**实践经验**，**传统的生态知识**，**地方生态知识**（专栏 1）和**科学发现**中获得。所有这些形式的知识，无论是正式的还是非正式的，都是基于系统观察和反复试验的产物。最佳的可用知识应为生态恢复的设计和**实施**提供信息，并为**适应性管理**（原则 5）作出贡献，从而将恢复行动的见解反馈到改进的过程和战略中。因此，生态恢复治理结果可以说明更改生态管理方法的必要性。

从业者所具备的生态恢复的知识源于在恢复生态系统过程中积累的经验，以及来自一系列学科的信息（例如，恢复生态学、农学和种子生产、林业、园艺、植物学、野生动物科学、动物学、水文学、土壤科学、工程学、景观设计、保护生物学和自然资源管理）。此外，LEK 和 TEK 专家（通常是当地社区的成员）可以提供有关站点和生态系统的广泛而详细的信息，这些信息来自他们与这些站点的长期关系和联系。当这些多种形式的知识整合到生态恢复项目中时，它们为优化生态、社会和文化效益的恢复结果提供了可能。



通过系统观测和检验假设可以产生科学知识。生态恢复相关的科学知识来源于物理、生物、社会和经济科学（包括恢复生态学、保护生物学、保护遗传学和景观生态学等子学科）等多个学科的基础和应用研究。虽然这些知识提供了设计和实施生态恢复项目所必需的信息，但在生态恢复干预、生态应对气候变化和改善**气候变化准备**等方面的效力（实现最终目标和具体目标的程度）和影响（应对管理干预的生物和非生物反应）方面还存在很大的不足（另见原则 3 和附件 1）。除了提高对生态治理效果的理解之外，对生态恢复实践的科学评估可以解决基本的生态问题，例如生态系统如何构成和运作。科学评估还为社会-生态研究提供了相应的机会。利用科学方法有助于解答在生态管理中遇到的或者衍生出的相关问题，但其有效实施必须需要遵守实验设计原则。虽然产生新的科学知识可能不是所有生态恢复项目中必不可少或需要现实的目标，但在特定情况下必须考虑这些新的知识，例如，对生态治理效果了解甚少或生态恢复干预存在极端或高风险情况下（例如，采矿之后生态系统重建）。

从业者与研究人员之间的合作可以通过有效的实验设计和改进的评估推断能力来提高科学研究水平。此类研究可以最大限度

地提高创新能力并为管理提供有效的指导。有针对性的研究可以帮助实践者克服棘手的生态恢复问题（例如，苛刻的基质条件、低繁殖率、种质资源供应不足和质量低下问题；见附录 1）。此外，生态恢复结果可以共享，有助于降低其他项目的成本。从业人员和地方专家可以在大型研究项目中发挥重要作用，相应的途径包括：参与生态恢复项目，识别能力瓶颈，识别信息的不足之处，同时，为生态恢复后勤方面献计献策。

分享实践和科学知识是有效实施恢复以及实现大规模成功恢复的关键。SER 和 SER 分支机构以及许多其他国际、国家、地区和地方组织在恢复知识共享方面发挥了重要作用。推进大规模生态恢复的科学和实践的一个重要途径是发展和促进不同国家之间和国家内部之前的双边和多边合作（另见第四节第三部分）。应鼓励不同区域之间互相分享经验和专业知识，共同筹资和共同开发新知识，以促进更有效的政策和实践。**南南合作**对于发展中国家和新兴工业化国家的知识共享尤为重要。

应在生态恢复项目提案阶段确定生态恢复治理效果和影响的科学数据。在强制性生态恢复项目期间出现技术挑战时，应进行有针对性的研究，以在合理的时间范围内确定替代的恢复干预措施。如

果此类研究仍未能提供解决方案，则应规划满足法律要求的替代方法。

缺乏生态恢复目标方面的进展，并不意味着生态恢复未来在技术上，实践上或经济上都不可行。知识和技术能力的缺乏可以通过适应性管理加以克服，适应性管理与基于成果的生态监测相联系。然而，在强制恢复方面（例如采矿部门），应在项目开始前获得知识和能力，以确保能够履行法律协议

### **原则 3. 生态恢复实践基于本地参考生态系统，并考虑环境变化**

生态恢复需要确定将要进行生态恢复的本地生态系统，同时构建**参考模型**，以规划和沟通生态恢复项目**具体目标**和**最终目标**的共同愿景。参考模型应基于作为保护活动目标的特定且符合实际的生态系统（例如，北方森林、淡水沼泽、珊瑚礁）。最佳参考模型描述的是未发生退化的场地的近似情况。这种情况不一定与历史状态相同，因为这种情况说明了生态系统因不断变化的条件而发生变化的固有能力。在某些情况下，快速环境变化的影响和适应这些变化的能力可能需要调整或采用替代模型（另见专栏 2 和 3 以及第四节第一部分）。

使用多种信息源来构建参考模型。最佳实践是从多个现代类似或参考站点获得特定生态系统属性信息并构建经验模型。这些场地在环境和生态方面与**生态恢复项目场地**相似，但经历了很少或最小程度的退化。生态恢复现场的过去和现状信息，以及与利益相关方协商的信息可以帮助构建参考模型，特别是在没有未退化的参考站点的情况下。这些信息通常在生态恢复项目的现场评估或**基线库存**阶段收集。在生态保护区较少的地区，未退化的参考站点可能很少见。在这种情况下，以前经历过多次自然生态恢复的受损地点（例如，新的保护区、考古遗址、围栏军事地点或非军事区）可以表明经过特定类型的受损恢复之后的恢复轨迹。参考条件可以结合演替模型、历史数据和未来变化模型，从场地的受干扰程度最小的部分推断而出。

重要的是，参考模型应该基于生态恢复的特定生态系统属性，并考虑生态复杂性和时间变化（即生态系统的演替和平衡动态；见第四节第一部分）。六个**关键的生态系统属性**（表2）可用于描述参考生态系统。这六个生态系统属性共同促进了整个生态系统的完整性，这些属性源于健全的、功能完备的本地生态系统所固有的多样性、复杂性和弹性。鉴于需要进行生态恢复的生态系统种类

很多，这些属性类别是广泛的而不是规定性的。

在特定的时间点，参考模型不应使生态系统固定不变。生态系统的固有特性是，由于内部因素（例如，人口增长率的变化）和外部因素（例如，物理干扰），生态系统会随着时间的推移而变化。参考模型的开发应明确关注于理解时间动态，以开发可行的相关恢复设计，使本地物种能够恢复、适应、进化和重组。

一个生态恢复项目可能需要多个参考模型。首先，大型项目地点或地形不同的地区可能包括生态系统及其生态交错带。其次，可能需要多个或连续的参考模型来反映随着时间生态系统动态或预期的变化。在经过生态恢复治理之后，演替生态系统中的恢复站点就立即处于演替发展的早期阶段，然后进入其他演替阶段<sup>2</sup>。对于具有复杂平衡动力学的生态系统，可能存在多个演替路径，并且可能需要多个生态恢复模型来尝试描述不同的可能恢复结果。这些替代状态来自于人口密度的变化，或环境驱动因素，或两者的组合。此外，随着时间的变化，参考模型需要根据生态恢复项目监测结果进行调整。

<sup>2</sup>相比之下，没有表现出演替阶段的生态系统将不需要连续的参考模型-例如，南部非洲的超多样化的开普花卉王国和澳大利亚

西南地区生物多样性热点地区。这个热点地区是在不肥沃基质上形成的古老而稳定的生态系统。

### 传统的人工生态系统

世界上大多数生态系统都受到人类的影响，因为人类利用生态系统提供食物、纤维、药物或与文化相关的重要文物（例如，图腾、精神上重要的工具）等。**传统的人工生态系统**概念认为，生态系统不仅仅是生物的组合，而且也反映了过去环境条件下植物、动物和人类的共同进化结果。本地生态系统多大程度上是人类改造的结果，这个问题并不明确；但是众所周知的是，传统生态恢复实践对生态系统进行改造和维护的过程和自然干扰过程类似。例如，森林中发现的草地开口通常归因于土著居民的焚烧。如果人类利用的草原生态系统表现出与天然火灾维持下的热带稀树草原和草地相似的物种和生物物理特征，那么这样的人类利用区域应被视为本地生态系统。在支持本地生物多样性的区域，应鼓励将传统的管理做法作为维持健康生态系统的必要组成部分。事实上，在一些生态系统中，缺乏传统管理（例如，缺乏传统的焚烧、放牧、收获、种植、季节性洪水）会导致退化。同样，欧洲许多古老的灌木林地和物种丰富的干草地，以及地中海地区和萨赫勒地区其他古老的

经过人类改造的生态系统都是本地生态系统和生态恢复的合理参考模型的例子。在欧盟的法律背景下，这些被称为**半自然生态系统**（不是人工生态系统），包括白垩草原、干湿荒地、林地牧场、季节性山地牧场、放牧盐沼、地中海灌木丛和农林复合系统，以及半自养鱼塘。

由于传统人工生态系统中复杂的社会-生态历史，多个互补的生态系统可以作为生态恢复的参考。古代或现代人工生态系统主要由非本地物种组成，主要利用人工肥料，这种人工生态系统或在结构上或功能上与区域本地生态系统（例如，正式的植物园）不同，因此，古代或现代人工生态系统不适用于此处定义的生态恢复参考模型。

#### **原则 4. 生态恢复支持和优化生态系统恢复过程**

生态恢复措施旨在协助自然**恢复**过程，这些过程最终是通过时间对物理过程的影响以及生物群在整个生命周期中的反应和相互作用来实现的。生态恢复活动的重点是恢复适合这些过程的组成部分和条件，以重新开始和支持生态系统属性的恢复，包括自组织能力和生态系统对未来压力的**生态系统恢复能力**。这些生态恢复活动是基于参考模型（原则 3）和所达成一致的恢复项目的明确

目标，最终目标和具体目标（原则 5）进行规划和实施的。

最可靠和最具有成本效益的生态恢复启动方法是利用剩余物种（例如，植物，动物，微生物）的再生能力（即从原址组成部分中克隆或扩张）。生态系统退化通常需要大量干预以弥补丧失的自然恢复潜力（另见第四节第二部分）。在生态恢复项目的**基准库存**建立之后，决定生态治理之前，要实施一定的评估工作，以确定：（1）在被初始干扰机制改变之后，现有的再生潜力或（2）需要恢复缺失的生物和非生物元素。该评估应通过一些个体物种的**功能特征**（特别是生态恢复机制）以及繁殖体流动和储存的预测指示来进行。这些个体物种往往容易在场地定殖。在存在生态恢复知识空缺的情况下，有必要在大规模推广应用之前，采用小规模测试生态恢复响应。针对自然恢复潜力较大的地区，其生态恢复干预可以优先考虑，以便以后为需要更密集活动的地区释放资源（见第四节第二部分）。

确定自然生态恢复过程对于优化其潜力至关重要，并且对于生态恢复优先治理区域非常重要。可以优先处理侧重于具有这种潜力地区的恢复干预措施，以便为需要更多干预的地区释放资源（见第四节第三部分）。



生态恢复干预结果可能会出乎意料。从业者必须做好进行额外的生态治理或从事相关研究的准备，以克服自然生态恢复的障碍或限制。例如，旨在刺激本地物种恢复的生态恢复干预措施也可能刺激传播植被**繁殖体**库中存在的不良物种的反应，这通常需要后续多次干预才能实现生态恢复目标。

### **原则 5. 生态系统恢复是根据明确的目标和可测量的指标进行评估的**

在生态恢复项目的规划阶段，需要确定项目的范围、愿景、总体目标和具体目标，同时还需要衡量项目进展的具体指标。生态恢复项目的生态和社会属性也需要考虑（专栏 5）。然后，采用**适应性管理**的方法（专栏 6），采用指标可以监测随着时间的恢复进展。如果要进行有效的监测，就必须分配足够的生态恢复监测资源。

生态目标、最终目标和具体目标将根据场地评估或**基准库存**而确定。该评估将描述退化场地状态，报告参考模型的识别（参见原理 3），以及近似参考条件的恢复程度。基准库存描述了该生态恢复场地目前的生物和非生物元素，包括其成分、结构和功能属性，以及外部威胁和补偿。盘点过程是了解生态退化场地理想的和可性的恢复目标、最终目标、具体目标和指标等的关键初始步骤。随

后使用库存来检测相对于基准条件随时间的变化。

对生态恢复进展的评估应包括参考生态系统六个主要生态属性的每一个指标（专栏 6）。项目生态恢复目标应明确每个属性所寻求的恢复程度，并在生态恢复项目启动前使用特定和可测量的指标来评估恢复场地条件。项目实施后也会监测相同的指标，以评估所采用的干预措施是否符合项目的生态恢复目标。为了进行有效的评估，每个生态恢复目标必须明确以下内容：（1）指标（例如，本地植物的冠层覆盖）；（2）期望的结果（例如，增加、减少、维持）；（3）产生影响的大小（例如，增加 40%）；（4）时限（例如 5 年）。对于可能实现完全恢复的项目，生态恢复目标将与参考模型保持一致。但是，对于旨在进行部分恢复的项目，恢复目标和参考模型将不会完全一致。例如，目标生态系统可能缺少某些物种或包括外来物种，或者可以修改生态目标以满足社会目标。

社会目标在各个生态恢复项目之间差异很大，并且这些社会目标来自各种社会因素（见原则 1）。在与利益相关方进行有意义的磋商之后，应在生态恢复项目计划阶段确定社会目标，包括描述生态和社会成本与效益之间权衡取舍的基本原理。然后，项目报告可以识别并强调恢复项目对于社会和生态系统的益处。

## 原则 6. 生态恢复寻求可实现的最高恢复水平

生态恢复项目的目标是实现最高和最好水平的恢复。生态恢复-无论是全部还是部分-都需要时间并且这个过程可能很缓慢。因此，管理者应通过健全的监测途径，采取可持续改进的政策措施。这样的政策可以让管理者不断提升和确立生态恢复目标，以推动初步的生态恢复，实现生态恢复项目“最高和最好”恢复水平的最终目标。使用生态恢复轮和五星评级系统可以记录生态恢复进度。

### 生态恢复轮和五星评级系统

五星系统（表3和表4）和生态恢复轮（图4）是帮助管理者、实践者和监管机构建立和沟通期望恢复水平的工具，同时，相对于参考模型而言，五星系统和生态恢复轮还可以逐步评估和跟踪本地生态系统随时间的恢复程度。这些工具还提供了一种方法来报告相对于参考模型的**基准条件**的变化。

重要的是，五星系统侧重于生态测量，而不是社会测量；它不是用来评估生态恢复项目进展与其社会目标的工具（见原则 1）。相反，鼓励管理者使用五星系统和生态恢复轮来说明他们的项目相对于六个关键属性的明确目标和最终目标，并提供监测框架。这样做的目的是为了达到更高的生态恢复目标，并显示生态恢复效

果随着时间推移，表现出的进步。即使最初不可能实现完全恢复，或者目标不是实现完全生态恢复。

## 五星系统的解释

针对常见问题作出以下回应：

- 自 McDonald et al. (2016a) 描述五星系统以来，五星系统及其生态恢复轮已越来越多地被全世界各地生态系统（如英国的河流、墨西哥的珊瑚礁、澳大利亚的森林和林地）的实践者和科学家所采用和利用。
- 使用五星系统评估必须针对具体的生态恢复场地和规模。虽然五星系统是为场地的生态恢复实施而设计的，但是该系统可以单独评估生态恢复站点，然后汇总来自多个生态恢复场地的数据以显示大型生态恢复项目的生态恢复程度（平均值，最小值，最大值）。
- 表 3 和表 4 中描述的指标是通用的，管理者应更具体地解释这些指标，以适应其特定的生态系统或项目，无论是陆地还是水生生态系统。
- 五星系统可用作解释定量或定性监测结果的框架。利用生态监测系统 and 统计方法，星状符号可以很容易进行量化，例如，使

用响应比（恢复场地变量值与参考模型值之比），科学家和实践者通常使用响应比来测量恢复结果。无论采用的是定性方法还是定量方法，都必须明确规定监测的详细程度和正式程度，这意味着生态恢复轮或评估表不应该在没有引用其所依据的监测数据的情况下，用作生态恢复进展的证据。

- 每个生态恢复项目不一定要从零或一星级等级开始。这是因为等级与参考模型的相似性（或差异性）有关。拥有残余生物群和未改变的基质的场地将从较高的等级开始，而具有受损基质或缺失生物群的场地将从较低的排名开始。无论生态恢复项目的切入点是什么，目标都是帮助生态系统沿着生态恢复的过程展开，尽可能低的等级开始逐步实现五星级级别的恢复状态。零星等级的评分需要记录在书面报告中，或在电子表格中用零表示，并在生态恢复轮中用空单元格表示。
- 通过添加其他颜色或模式，或创建顺序恢复轮，使用者可以在生态恢复轮中显示基准条件，提议的最终状态和在生态恢复过程中不同时间点的状态
- 五星系统不是用来评估从业人员的个人业绩或生态恢复项目的价值。由于生态恢复场地的限制，一些恢复项目无法达到五星水平。

## 原则 7. 大规模的生态恢复会产生累积价值

虽然每个生态恢复项目无论大小如何都可以产生一些有益的结果，但许多生态过程在景观、流域和区域尺度上才会起作用（例如，基因流动、定植、捕食、生态干扰）。较大规模的生态退化可能会使小规模的生态恢复工作功亏一篑。例如，具有较大栖息地要求或需要较大营养复杂性的物种可能无法适应小规模的生态恢复项目。为了应对气候变化，迫切需要通过更广泛的、更多的植物和动物生物量（包括土壤中的生物量）以大幅提高碳封存率。同样，通过在景观规模上将陆地和水生系统联系起来，可以最有效地实现水安全（在质量、数量和流量方面）。因此，一些生态恢复项目必须以大规模（例如，数百或数千公顷）进行，以提供所需的环境和生态效益。此外，作为综合景观规划工作的一部分，规划和确定场地尺度活动的优先次序是有必要的。景观尺度规划可以帮助避免将生态恢复场地（例如农业或林业）只是简单地重新安置到导致其他生态退化的区域。规划较大规模的生态恢复项目必须确保生态恢复朝向积极的方向变化。

**挑战和潜在的解决方案。**生态恢复范围的扩大可以带来一些规模经济，但也可能增加过度扩展的财政、机构和基础设施资源的

风险，特别是在生态系统对干预措施反应不可预测的情况下。社会挑战包括确定所有相关利益相关方及其所需的特定需求和利益，并在利益相关方之间达成协议，特别是在政治机构薄弱或土地所有者之间存在强大的经济和权力不平等的环境下。需要建立一种处理分歧的机制，例如参与式土地使用规划。对于尺度和时间敏感的问题，通常在进行实际推广应用之前需要对生态治理进行小规模测试。此外，一些管理人员认为，对于特定的生态系统属性，在更大的尺度上，持续投入较低水平的资源，进行更有针对性的逐步改善（即部分恢复），或支持生境要求较低的物种，是明智的做法。提升生态恢复项目的尺度是一个优势，然而，这只在尺度增加同时效益（例如，本地物种丰度增加、害虫物种丰度减少、碳储量增加）也增长情况下成立。因此，为了避免低估可能具有高度生态重要性的小型项目，对尺度的评价应仅在其他价值也同时提升情况下才能开展。在预测一个项目是否可能在更大的尺度上产生影响时，应考虑项目的一系列背景特征（即生态系统恢复之外的共同利益）（表 5）。此外，可以通过增加有益的连通性（例如，野生动物走廊）来增强更大尺度的功能，同时，加强邻近恢复场地进行恢复性干预（原则 8；第四节第三部分）。需要注意的是，累积价值只能在长期内实现，这意味着最初投资于生态恢复的人可能不会直

接从累积价值中受益。

扩大生态恢复尺度的一个机制是确保将项目战略性地整合到更大的生态恢复项目中，这些大型生态恢复项目包含多个子项目，不仅包括生态恢复，还包括在不同景观单元中开展的其他恢复性活动，具有不同的合作伙伴和时间框架。这些可能包括许多功能和物理彼此连接的生态修复项目场地。大规模的生态恢复计划通常由政府机构、非营利组织、植物园和其他盟友组成的联盟进行协调，并涉及大型的、复杂的规划过程。例如，美国佛罗里达州的综合大沼泽地恢复计划和巴西的大西洋森林恢复计划，就包括了政府机构、私营部门、非政府组织和研究机构的联盟。非常大的修复场地和修复项目可能会在选择修复目标和构建参考模型方面面临挑战，因为它们具有一定的复杂性（尽管像 LiDAR 这样的新工具正在协助克服某些修复地区面临的挑战）并且缺乏可对比的参考场地（参见第四节第一部分）

### **原则 8. 生态恢复是恢复性活动的一部分**

随着全球生态系统的持续退化，许多国家和地方正在采取旨在保护生物多样性，恢复生态完整性和弹性，改善生态系统服务质量和数量以及改变社会与自然互动方式的政策和措施。生态恢复



只是一系列随着连续统一体一起发生的**恢复性活动**中的一种。**恢复性连续体**的概念（图 5）确保了修复世界范围内生态系统的整体方法。恢复性活动是指直接或间接支持或实现已经丧失或退化的生态系统属性的活动。恢复性连续统一体为理解不同活动之间的相互关联提供了背景，同时还有助于确定最适合特定环境的恢复实践。连续性统一体包括四大类恢复性实践活动：（1）**减少社会影响**，即各个部门以低破坏性的方式消费和利用生态系统服务从而降低社会影响（专栏 7）；（2）**生态修复**，如污染场地的修复；（3）**生态复原**，如陆地和水生区域的修复，包括用于生产或人类居住的区域（专栏 8）；以及（4）**生态恢复**。减少的社会影响、生态整治和生态修复在一定程度上都具有恢复性，可减少退化的因素和持续影响，增强生态系统恢复潜力，并促进向可持续性发展过渡。因此，它们也被视为生态恢复的**联合行动**。一些生态恢复项目或规划通常涵盖一个以上的类别，特别是那些在更大的框架内进行的项目，例如基于自然的解决方案（包括**绿色基础设施**）和**森林景观恢复（FLR）**。这些框架通常包含一个或多个联合活动以及生态恢复项目。如果这些框架要被视为具有恢复性，那么这些框架必须对环境条件产生净积极影响。不能改善当前环境条件或可能会造成危害的活动（例如，在本地草地**造林**以进行碳封存，非本地物种的单

一栽培导致生物多样性净损失) 不具备恢复性。

生态恢复及其联合行动可以被视为广泛的可持续性范式中的一个综合整体, 而不是孤立的或相互竞争的活动。这些标准所传达的生态恢复的概念框架和最佳实践可以激发和告知许多可以用来改善环境整体健康和环境恢复力的行动。

借助这种连续统一体将干预概念化(同时通过参考生态恢复原则和标准)可以帮助政府、行业和社区实现综合“净收益”改进, 这将在更大尺度上加速良性变化(原则7)。表6列出了在一系列工业、政府和社区部门或环境中开展恢复性活动的绩效指标建议。无论在哪个部门或环境中, 采取持续改进的做法, 并在可行和适当的情况下实施生态恢复都是有益的。在生态恢复不合适的地方, 恢复性工作应以尽可能高的恢复水平为目标。与生态恢复一样, 小尺度和持续改进的联合行动可以在较大尺度上累积。

### 第三节 规划和实施生态恢复项目的实践标准

以下列出了在四种情况下的具体标准实践：(1) 规划和设计，(2) 实施，(3) 监测和评估，以及(4) 维护生态恢复项目，特别是在专业人员或承包商参与的情况下。这些做法适用于任何项目的规模、复杂程度、退化程度、监管状况和预算。这些活动并不总是连续的。例如，必须在规划阶段进行监测设计并为其提供资源。这些实践标准完全符合 SER 的道德规范(SER 2013)。它们适用于任何项目的规模，复杂程度，退化程度，监管状态和资金预算，但并非所有项目都可以采取所有步骤。标准中描述的步骤并不总是顺序的。例如，实践标准包括实施后的监测，因为大部分监测工作可能在生态恢复治理后发生；但是，对于生态监测至关重要的活动必须在恢复项目启动之前开始，因为需要设计监测计划，制定预算并获得资金，并在实施生态恢复治理之前收集生态治理前的数据。

#### 1. 规划与设计

**1.1. 利益相关方参与。**在生态恢复项目的初始规划阶段，最好与所有主要利益相关方（包括土地或水资源所有者或管理者、工业、邻居、当地社区和当地利益相关方）进行有意义的、知情的参与互动，并在整个项目生命周期内持续进行。理想的参与方式包括培训当地人员，以

提供具有承诺的、长期的监测服务和协作知识的产生和传播。关键步骤是：

1.1.1. 在整个项目生命周期中包括利益相关方参与的制度。在可能的情况下，实施参与式规划和恢复计划协同设计，并包括当地社区能力建设和培训（见参考资料：生态保护实践的开放标准）。

1.1.2. 进行尽职调查，以确保在整个恢复过程中理解并尊重利益相关方的权利，包括土地使用权。

1.2. **背景评估。**生态恢复计划的制定和利益相关方的参与主要根据当地和区域保护目标、可持续发展目标、优先事项以及空间规划确定。除此之外，还需要：

1.2.1. 包括与周围景观或水生环境有关的项目图表或地图；

1.2.2. 确定改善恢复场地栖息地之间积极连通的方法，并增加与其他本地生态系统的积极外部生态交流，以优化景观层面的流动和过程，包括场地之间的定殖和基因流动；

1.2.3. 指定相应策略以确保未来管理的连续性，使生态恢复项目整合到附近本地生态系统的管理和生产性景观中。

**1.3. 评估场地租约的安全性，安排后期生态治理维护。**在投资生态恢复之前，需要提供场地长期保护管理的潜在证据。因此，生态恢复计划应该：

1.3.1. 确定恢复场地租约的安全性，以实现长期恢复，并允许适当的持续监督和管理；和

1.3.2. 确定对负面影响进行充分预防的潜力，并在生态恢复项目完成后提供场地维护，以确保生态恢复场地不会退回到退化状态。

**1.4. 基准库存。**基准库存记录了退化的原因、强度和程度，并描述了退化对生物群落和物理环境相对于六种生态系统属性的影响。因此，生态恢复计划应该包括以下内容：

1.4.1. 确定生态恢复场地持续存在的本地、野生和非本地物种，特别是受威胁的物种、群落和入侵物种；

1.4.2. 记录当前非生物条件的状态（通过图片和其他途径），包括相对于以往或变化条件下的溪流、水体、陆地表面、土壤、水柱或任何其他物质元素的尺寸、构造和物理和化学条件；

1.4.3. 检测导致场地退化的驱动力和威胁的类型和程度，以及消除、缓解或适应这些驱动力和威胁的方法（对于标准威胁分类法，请参

阅开放标准威胁分类)。这包括评估:

- 生态恢复场地内外的历史的、当前的和预期的影响(例如,过度利用、沉积、碎片化、有害动植物、水文影响、污染、改变后的干扰状态),以及管理、移除或适应这些影响的方法;
- 描述由于种群分散而导致种群无法生存的物种遗传多样性补充说明(见第四节第三部分)
- 当前和预期的气候变化(例如,温度、降雨量、海平面、海洋酸度)对物种和基因型未来生存能力的影响

1.4.4. 确定生物群在场地内外的相对容量,以便在有或没有帮助的情况下开始并继续进行生态恢复。这包括进行以下内容的调查:

- 经推测的缺失的本地和非本地物种列表以及可能作为繁殖体存在或出现在定殖距离内的物种列表。
- 不同条件区域的地图,包括存在的演替阶段、优先恢复区域和需要不同生态治理的任何不同空间区域;

**1.5. 本地参考生态系统和参考模型。**生态恢复计划确定了本地参考生态系统和一个适当的参考模型(原则 3; 第四节第一部分),该模型是基于六个关键生态系统属性的多个指标(表 2; 图 4)在适当数量的参考地点开发的。在某些情况下,可以从以往的评估或

模型或环境机构指南中获得完整生态系统的描述。具体计划如下：

- 1.5.1 记录基质特征（生物的或非生物的，水生的或陆生的）；
- 1.5.2. 列出主要特征物种（代表所有植物、小型和大型动物的功能群，包括先锋物种和濒危物种）；
- 1.5.3. 确定生态系统的功能属性，包括营养循环，特征扰动和流动状况，演替途径，动植物相互作用，生态系统交换以及任何组成物种的干扰依赖性；
- 1.5.4. 关注需要在一个地点使用多个参考生态系统的生态镶嵌。
- 1.5.5. 在现存生态系统受到干扰之后，再进行生态恢复的情况下，必须在现场扰动之前详细绘制现有的完整生态系统；
- 1.5.6. 评估重点生物群的栖息地需求（包括动物群活动的最小范围，对退化压力和恢复治理的响应）。

**1.6. 愿景、目标、总体目标和具体目标。**需要明确的、可量化的总体目标和具体目标，以确定最合适的干预措施，确保所有的项目参与者对生态恢复项目有共同的理解，并评价生态恢复项目是否成功（见下文生态恢复“监测”部分）。计划必须明确说明以下内容：

1.6.1. 生态恢复项目目标和生态及社会目标，包括生态恢复场地的描述和待恢复的本地生态系统；

1.6.2. 生态和社会目标，包括寻求的生态恢复水平（即要实现的生态系统属性的状况或状态）。在完全恢复的情况下，这将与参考模型完全一致，而在部分恢复的情况下，这将包括在某种程度上偏离参考的元素。生态目标应尽可能量化参考生态系统属性的程度。考虑到该地区可用的时间框架和社会资本，社会目标必须是明确的和现实的。

1.6.3. 生态恢复目标是实现相对于恢复场地内任何不同空间区域的目标所需的变化和直接结果。需要根据可测量的和可量化的指标表述目标，以确定项目是否在确定的时限内实现其目标。除指标外，目标还应包括具体行动以及数量和时间限制。

**1.7. 生态恢复治理方法。**计划包含每个不同恢复区域的明确规定的治理方法，描述将要进行生态恢复治理的内容、地点和参与者，以及他们的顺序或优先级。在缺乏知识或经验不足的情况下，需要进行适当的管理或有针对性的研究，以获得适当的生态恢复治理方法。如果存在不确定性，则应采用导致最小环境风险的预防原则。计划应该包括以下内容：



1.7.1. 描述为消除、减轻或适应因果问题而采取的行动；

1.7.2. 确定并说明具体的生态恢复方法，描述每个恢复区域的具体治理方法，并给出行动的优先次序。根据生态恢复场地的情况，包括识别以下内容：

- 对非生物成分的形状、构型、化学或其他物理条件的修正，使其能够恢复目标生物群和生态系统结构和功能；
- 利用有效的和适当的策略和技术，控制不良物种，保护理想的物种、栖息地和生态恢复场地；
- 采用生态方法促进再生或重新引入消失物种；
- 利用生态策略，解决理想物种或遗传物种无法即刻获得的情况（例如，在随后的季节留下填补重新引入物种的空白）；
- 再引入生物群的适宜物种选择和遗传来源（见附件 1）。

1.8. **物流分析。** 在进行生态恢复计划之前，需要对项目资源的潜在性和可能的风险进行分析。为强调实际限制条件和机会，包括以下计划：

1.8.1. 确定资金、劳动力（包括适当的技能水平）和其他资源，以便进行适当的生态治理（包括后续恢复治理和监测），直到生态恢复场地达到稳定状态；

1.8.2. 进行全面的风险评估并确定项目的风险管理策略，特别是包括环境条件、融资或人力资源意外变化的应急安排；

1.8.3. 制定项目期限的项目时间表，并给出理由（例如，使用进度计划表）；

1.8.4. 确定如何在项目生命周期内保持对一系列项目目标的承诺，包括政治和财政支持；

1.8.5. 获得生态恢复许可，并解决适用于恢复场地和恢复项目的法律约束，包括土地使用权和所有权声明。

**1.9. 建立生态恢复项目审查程序。**包括以下内容和时间安排：

1.9.1. 根据需要，进行利益相关方和独立同行间的评审；

1.9.2. 根据新知识、变化的环境条件和经验教训，实施生态恢复计划审查。

## **2. 实施**

生态恢复项目实施阶段可长可短，具体取决于恢复项目的情况。

在恢复项目启动或完成阶段性任务后，监测结果和适应性管理可以指导恢复干预措施。在实施阶段，恢复项目需要采用以下方式管理：

**2.1. 保护生态恢复场地免受破坏。**生态恢复项目不会对任何自然资源、陆上或水生区域的任何元素造成进一步或持续的损害，包括物理损坏（例如清理、掩埋表土、践踏），化学污染（如过度施肥、农药泄漏）或生物污染（例如，引入包括不良病原体在内的入侵物种）。

**2.2. 吸引合适的参与者参与到生态恢复项目。**生态恢复项目由技术熟练和经验丰富的工作人员进行有效地监管或统筹执行。尽可能邀请利益相关方和社区成员参与到项目实施中。在可能情况下，尽量将可持续材料和工艺的使用纳入到生态恢复项目中。

**2.3. 生态恢复需结合自然过程。**所有的生态治理都需要与自然过程密切关联，并促进和保护自然恢复和辅助性恢复的潜力。初步生态治理包括底物和水文治理，有害动植物控制，特定恢复干预措施的应用以及生物再引入，并根据需要进行二次生态治理。因为生态恢复期可能很长（例如，河岸植被的生长），所以应该计划和实施临时生态治理，以减少不利影响（例如，营养物流入河流和沉积物流入河流）。还要为任何植物或动物种群提供适当的后期护理。

**2.4. 响应生态恢复场地发生的变化。**根据生态恢复监测结果，

采用自适应管理。这包括为适应意外生态系统响应而纠正恢复方向以及所需的额外工作。在某些情况下，可能需要额外的或新的研究来克服特定的生态恢复障碍。

**2.5. 符合规范。**所有生态恢复项目都需完全遵守工作、健康和安全法规。适用于生态恢复项目的所有法律、法规和许可，包括与土壤、空气、水、海洋、遗产、物种和生态系统保护有关的法律、法规和许可必须到位。

**2.6. 与利益相关方沟通。**所有生态恢复项目工作人员定期与主要利益相关方沟通（最好是结合利益相关方参与和公民科学活动来沟通生态恢复计划），以使利益相关方能够对项目进展情况进行评估并积极参与到项目中。沟通还应满足经费机构的要求。

### **3. 监测、文档、评估和报告**

生态恢复项目一般采用观察、记录和监测的原则进行，以确定一系列恢复项目是否有望实现目标，或需要调整。定期对生态恢复项目进行评估，并对恢复进展进行分析，以根据需要调整生态恢复治理策略（即采用适应性管理框架）。生态恢复项目能促进研究人员、当地生态恢复专家、从业人员和公民科学家之间的合作，特别是在创新性或大规模应用的项目中。在整个项目中重新

评估监测需求，并相应地重新分配或扩展资源

**3.1. 监测设计。**在生态恢复规划阶段就需要制定监测计划来确定生态恢复的结果（参见专栏5和6）。该监测计划包括通过生态监测解决的具体问题，该计划还包括收集基准数据进行抽样设计、监测实施、数据后处理、记录和归档收集数据的过程、数据分析计划，以及适应管理战略的沟通计划、以及向利益相关方交流学习经验。

**3.1.1.** 在生态恢复项目开始时，需要确定监测的具体目标和可量化的总体目标。一旦确定了量化的指标，就可以收集基准数据并确定项目的时间节点，以衡量项目进展速度是否正常。此外，保证修复沿着既定的路径会有所帮助；如果数据到达“触发点”，则可能需要采取纠正措施。

**3.1.2.** 监测方法应适当回答提出的具体问题。监测方法应尽可能易于使用，在理想情况下，监测方法可通过参与生态恢复过程实施。当需要进行正式的定量抽样时，抽样设计必须包括足够大的样本量，以便进行统计分析和推断。在所有情况下，这些方法都应该足够详细，以便在未来几年内可重复。

**3.1.3.** 生态恢复项目管理者应注意生态监测对于确定目标是否得到满足以及提供学习机会至关重要。让利益相关方参与项目设计、数据收集与分析有助于改善协作决策、增强主人翁意识和参与感、激励利益相关方维持长期兴趣，并加强利益相关方的能力和权力。任何监测系统都必须具备内在的学习和适应机会。

**3.2. 保持记录。** 保持足够和安全的生态治理记录，为适应性管理提供信息，并为将来对生态治理评估提供可能。所有的生态治理数据，包括恢复性活动的细节、工作次数和相关的费用，以及所有评估监测记录，都保留供将来参考。种源数据应包括供体和接收地点或种群的位置（最好是从全球定位系统获得的）和描述。记录的文档应包括对收集协议、获取日期、识别过程、收集者/传播者名称的引用。另外：

**3.2.1.** 应考虑将数据开放访问，或将结果添加到开放存取存储库，如SER的恢复资源中心或类似的国家或国际数据库；和，

**3.2.2.** 生态恢复管理者应使用安全存储方式来记录数据。应包括描述每个数据集内容的元数据。

**3.3. 评估结果。** 根据生态恢复项目目标评估进展情况，对工作成果进行评估。这需要使用评估工具（例如，本文件中介绍的五星

系统;开放标准的审计工具或传统的生态评估方法)。

3.3.1. 应充分评估监测结果;

3.3.2. 利用评价结果为正在进行的管理提供信息。

**3.4. 向各个利益方汇报结果。**汇报涉及准备和宣传进度报告,在报告中应详细为关键利益相关方和更广泛的利益团体说明评估结果(例如,在新闻通讯和期刊中),以传达可用的产出和结果。

3.4.1. 报告应准确地传达信息,并从受众的角度进行汇报;和,

3.4.2. 报告应指明成功开展恢复评估所依据的生态恢复监测水平和细节。

#### **4. 项目实施后的维护**

**4.1. 正在进行的维护。**管理机构负责正在开展的维护工作,以防止不利的影响,并开展项目结束后的监测工作,以避免生态退化。在生态恢复项目开展之前,预算中需要考虑维护成本。应与合适的参考模型进行持续的比较,比较的内容包括:

- 定期监测生态恢复场地,检查生态退化是否会再次发生,以确保生态恢复的前期投入的有效性,与此同时,利益相关方最好也参与其中;

- 管理组织运作中的行动协议，根据需要与利益相关方开展合作；
- 继续就新的生态恢复项目进行沟通，以确保恢复项目和过去的项目投资得到重视，例如，
  - 针对维护生态恢复项目历史和庆祝生态恢复成果而开展的文化活动；
  - 并加强经验学习，包括在其他地方开展类似生态恢复项目。



## 第四节 引领性的生态恢复实践

### 第一部分 构建生态恢复参考模型

生态恢复实践包括移除或限制生态退化因素，并协助生态系统尽可能恢复到未发生退化的情况，同时也要考虑预期的变化。这需要一个模型来预测这种情况，即参考模型（原则 3）。该模型应考虑多个生态系统属性及其在目标生态系统内的变化，以及整体生态系统的复杂性和动态情况（即，随时间的变化）。每一项考虑对于建立准确反映生态系统的恢复目标都很重要。在某些情况下，有必要确定多个参考模型，例如，对于具有非平衡动态的本地生态系统（Suding & Gross 2006）或发生不可逆变化的替代参考模型。在实践中，建立参考模型的过程和模型的可靠性将根据项目资源和相关生态信息的可用性而变化。对于某些本地生态系统（例如，北美洲西部的森林地区，LiDAR 数据允许在景观尺度上创建参考模型）可以随时获得或收集信息（Wiggins et al. 2019），而对于其他参考地点数据可能是稀缺的（例如，智利的森林生态系统受到威胁，其中只剩下几片小森林；Echeverria et al. 2006）。在大多数情况下，利益相关方和项目负责人将不得不使用专业判断来弥补现有信息和/或资源的差距。在所有情况下，最佳可用信息应与可靠

的调查工作相结合 (Swetnam et al. 1999) , 以开发用于预测未退化系统状况的最佳模型。

参考模型的构建包含了一系列广泛的生态系统属性 (见原则 3) , 包括免于威胁、物理条件、物种组成、社区结构、生态系统功能和外部交换(原则 3)。一些生态系统属性可以进行直接评估, 如群落结构(即植被层、热带水平和空间格局的建筑)和物种组成(即物种类型), 而其他生态系统属性更复杂而且也很重要, 如生态系统功能。生物体以复杂的方式与环境和其他生物相互作用, 导致能量、营养物质、水和其他物质的流动, 称为生态系统功能。除了支持生态完整性, 生态系统功能还提供生命所需的服务(例如食品、纤维、水、药品), 将其纳入参考模型是必不可少的。此外, 生态系统和生态补偿(例如种子繁殖体)的物理属性在构建参考模型时非常重要, 因为它们是物种相互作用发生的前提。

除了考虑生态系统组成部分外, 参考模型还必须考虑生态系统的复杂性以及生态系统各组成部分之间的关系 (Green & Sadedin 2005)。生态系统由有生命体(生物)和无生命体(非生物)组成, 并以复杂的方式相互作用。例如, 植物和土壤通过生物调节系统紧密相连 (Perry 1994) 。植物直接影响土壤的化学、物理和生物特

性。因此，生态系统中生长的植物类型会影响生态系统中土壤的方方面面。同样地，土壤的化学、物理和生物特性会影响一个地区植物的类型。这些复杂关系以及生物调节并非陆地生态系统所独有。在水生系统中，初级生产力（通过光合作用固定能量）与较高营养水平的生产力紧密相关，形成了食物网的整体结构（Vander Zanden et al. 2006）。虽然不可能在生态系统中明确考虑所有组成成分和相互作用，但应构建参考模型，并尽可能多地包含组件及其相互作用，并且至少应包括在原则 3 中确定的每个关键生态系统属性的指标。强调有限数量组成部分的生态恢复项目（例如侧重于单一生态系统服务的项目），可能在恢复整体生态系统复杂性方面的潜力有限。另一方面，在参考模型和生态恢复项目目标中考虑大量影响因素可能在恢复生态系统方面更为成功，能够最终保护生物多样性，并长期提供更高的生态弹性和更高的商品和服务。

### 历史和未来的变化

生态系统需应对不断变化的环境条件，这增加了生态恢复和其他类型生态系统管理的复杂性。为了考虑时间变化，参考模型被认为是目标生态系统没有发生退化的状态。同时，参考模型不是过去的某种状态，而是可以预测未来的变化。历史信息对生态修复工

作特别重要，尤其是在没有现代参考系统的情况下。在这种情况下，我们要将参考模型调整的程度考虑其中，如果生态系统已经发生退化，历史条件也应该调整到与之相符的程度（见专栏 2 和附录 1）。

连续轨迹是重要的考虑因素，多个演替路径的可能性同样是重要的考虑因素（替代均衡状态）。具体而言，在选择用于构建参考模型的场地时，必须考虑恢复场地的演替阶段。例如，演替后期的生态系统（例如，1000 年前的森林）可能不适合演替早期林地初始恢复阶段的参考场地，尽管这些演替后期的生态系统有助于指导多阶段、长期的参考模型，并制定长期的项目目标。此外，对于某些生态恢复场地，根据自然干扰或物种到达的先后顺序等偶然事件，生态恢复场地可能会存在多种潜在的演替结果（Chase 2003）。探索为多个潜在生态恢复轨迹构建一组参考模型可能是有用的，而不是假设生态系统总是遵循单个演替轨迹。将均衡动力学纳入生态恢复参考模型，显然会使得恢复计划更加复杂，但将为项目的成功提供更广阔的视角，以获得合适的项目结果，或者，当需要达到某个潜在的稳定状态时，帮助管理者避免给出不利的反馈，从而促进生态恢复项目的成功（例如，管理物种引入的顺序或移除

可能使生态系统向非预期方向发展的物种; Suding & Gross 2006)。

### 参考场地和其他信息来源

由于没有两个生态系统是完全相同的，因此创建参考模型的最佳实践是结合使用多个参考场地和其他信息，以便深入了解目标生态系统中的条件变化范围。一个生态恢复场地所拥有的生物库存只占有物种种类的一部分，不太可能代表目标生态系统的平均状况。因此，建议使用多个参考场地的生物库存量。相比同质生态系统，高度异质的生态系统需要更多的参考场地。然而，由于全球土地变化程度很高，许多生态系统可能没有足够数量的可用参考场地，从业者可能需要依赖演替参考模型和其他信息来源，详情如下：

除参考站点的信息外，还要求提供场地基准调查的信息以及间接的或次要的证据来源 (Clewel & Aronson 2013; Liu & Clewell 2017)。尽管这些次要的信息并不完善，他们仍然可以有效地帮助指导生态恢复计划 (Egan & Howell 2001)。历史记录信息可以从自然和文化两个方面获取。例如，一个重要的自然获取途径是树的年轮，可以通过树的年轮揭示过去干旱和火灾发生率。在洞穴中发现的种子和其他植物碎片等，可以用来确定具体的物种。土壤和沉

积物中的花粉沉积物可用于识别在同一地点的植物物种。埋在潮湿土壤或沉积物中的原木和其他大型木质碎片可以在挖掘之后用于识别物种，并揭示很久以前就消失的古老的生长条件。文化记录主要包括照片和书面记录。航空照片和重复摄影是特别有用的记录方式。历史照片、山水画、日记和书籍以及土地调查都是有关历史植被状况的可能信息来源。在当地植物区系处理中，对较老物种的描述通常包括栖息地信息。植物标本馆和博物馆中的标本标签可以用于识别多年前在特定地点收集的物种，有时列出与其一起生长的其他物种。但是，在利用历史信息指导恢复计划时必须小心谨慎，因为历史条件可能是现代条件的不充分预测因素，原因如上所述。此外，自然和文化记录可以支持有限的参考模型。最后，很少存在生态系统的历史条件是完全已知的情况。即使有些生态恢复站点的数据可用，但是所提供的信息也仅限于一个或几个生态系统。

构建参考模型的其他关键信息来源包括传统和当地的生态知识（TEK 和 LEK; e.g., Zedler & Stevens 2018），以及表征生态系统属性的数据库和工具（例如，土壤描述、稀有物种分布）。如果只从这些间接证据来源中识别出少数物种，那么熟悉该地区自然

历史的生态学家可以确定以往存在的生态系统并推断其物种组成。可以从对这些相同生态系统的现有案例的描述中准备实施生态恢复计划。

在项目规划和预算编制阶段，预留充足预算来构建参考模型是一个重要的考虑因素。参考模型的质量将根据项目资源和可用的生态恢复场地和相关信息而有所不同。在生态恢复项目特定限制条件下，利益相关方和项目负责人应该立志创建最佳的生态恢复模型。请注意，在某些司法管辖区，可能已经为某些生态系统开发了参考模型。

## 第二部分 确定适当的生态恢复方法

数百万年来，自然恢复过程已经修复了受自然现象干扰的地方（例如火山、山体滑坡、冰川作用、小行星撞击、海平面变化、河岸侵蚀）（例如，**Matthews 1999**）。虽然不同生态系统之间的生态恢复模式（即演替）不同，但是在本地物种已经适应自然干扰或压力之后，通过定植或不同的储存繁殖体，所有本地物种可能已经进化出生态恢复的能力（**Holling 1973; Westman 1978**）。通过了解生态恢复过程如何在自然干扰情况下进行运作，可以制定针对人

为引起生态退化的生态恢复策略 (Cairns et al. 1977; Chazdon 2014) 。正确地评估物种在特定地点再生的能力有助于选择适当的方法和治理措施,从而有效利用财政资源和其他生态恢复投入 (McDonald 2000; Martínez-Ramos et al. 2016) 。

确定有效生态恢复策略的第一步是确定阻碍生态系统恢复的约束条件 (有时称为“过滤器”或“障碍”) (Hobbs & Norton 2004; Hulvey & Aigner 2014) 。限制因素包括人为引起的生态退化,以及非人为因素所造成的后果,如不利基质、缺乏生态位、食草作用、竞争、缺少繁殖体或缺乏打破种子休眠的线索。通过在不引入新约束情况下去除掉影响生态恢复的限制因素,可以在进化时间框架内释放出自然恢复过程的潜能,帮助恢复受干扰的场地 (McDonald 2000; Prach & Hobbs 2008) 。

在可行的情况下,生态恢复可以利用自然再生方法。这些方法有时统称为“被动”恢复 (尽管这一术语可能会误导,因为自然再生通常不是被动的)。然而,在自然再生的可能性不存在或较低的情况下,通常需要通过更积极的手段 (有时称为“主动”恢复) 来重建或增加生物体或消失的生物种群。以下三种方法可以单独使用,也可以结合使用。所有这些方法都利用自然恢复过程,并需要持续的



适应性管理，直到实现恢复。

**1. 自然（或自发）再生。**如果生态损害程度相对较低且表层土保留，或者存在足够的时间，并且附近种群允许重新定殖，在停止某些类型的生态退化因素干扰后，植物和动物可能会恢复（Prach et al. 2014; Chazdon & Guariguata 2016）。这可能包括污染物去除、不适当的放牧、过度捕捞、限制水的自然流动和不合理的火灾制度。如果生态恢复场地之间具有较好的连通性，动物物种可以迁徙返回到生态恢复场地，并且植物物种可以通过从剩余的土壤种子库或从附近地点自然分散的种子的重新分布或萌发来恢复（Grubb & Hopkins 1986; Powers et al. 2009）。在某些情况下，如果生态恢复时间长，即使在受到严重干扰的地点，例如废弃的采石场和矿山，也可以通过自然再生的方法进行生态恢复（Prach & Hobbs 2008）。

**2. 辅助再生。**在遭受中等程度或严重生态退化的场地，需要排除生态退化原因，同时需要积极的干预，以纠正非生物和生物损坏并开始生物恢复（例如，通过模拟自然干扰或通过提供关键资源）。非生物干预的例子包括：积极修复基质化学条件或物理条件；建造栖息地特征，如贝类珊瑚礁（O'Beirn et al. 2000）；重塑河

道 (Jordan & Arrington 2014) 和地貌 (Prach & Hobbs 2008) ;恢复河口和河流中的环境流量和鱼类通道 (Kareiva et al. 2000) ; 利用人为干扰打破种子休眠 (Mitchell et al. 2008) ; 并且, 人为构建具有栖息特点的场所, 如空心圆木、岩石、木屑堆、土壤微粉和供栖息的树 (Elgar et al. 2014; Castillo-Escrivà et al. 2019) 。生物干预的例子包括: 控制入侵物种 (Saunders & Norton 2001; Chazdon et al. 2017) ; 在没有援助的情况下, 对无法迁移到恢复区的物种进行补充性再引入 (例如, 重新野化动物或重新引入种子非常大的树种) ;以及增加或加强遗传多样性不足的贫化物种 (另见第四节第三部分) 。生物干预的例子包括: 控制入侵物种 (Saunders & Norton 2001; Chazdon et al. 2017年) ; 在没有援助的情况下, 对无法迁移到恢复区的物种进行再引入 (例如, 使得野生动物回归, 或引入种子非常大的树种) ; 以及在物种遗传多样性不足的情况下, 增加消失物种的数量。

**3.重建。**在生态遭到很大程度破坏的情况下, 不仅需要移除或逆转所有生态退化因素, 并且需要消除所有生物和非生物损害以适应已确定的本地参考生态系统, 还需要尽可能重新引入全部或大部分所需生物群。 (Bradshaw 1983; Seddon et al.2004) 。然后, 生物

群可以与非生物成分相互作用，从而推动生态系统属性的进一步恢复。在某些情况下，如果生态系统需要按一定顺序进行恢复（例如，帮助恢复土壤），那么早期的演替物种可能需要比后来的演替物种更早地重新引入（Temperton et al. 2004）。然而，在没有表现出这些演替模式的生态系统中，可能从一开始就需要引入所有物种（例如，Rokich 2016）。

在生态恢复场地存在一系列不同程度生态退化时，以上**三种方法组合**可以为生态恢复提供保证，或为提高生态恢复效率和降低生态恢复成本提供技术支撑（Bradshaw 1983，Walker 2011）。在进行大规模生态恢复时，这点尤其需要。也就是说，生态恢复场地的某些部分可能需要自然再生，其他部分可能需要辅助再生，而其他区域可能需要重建，或考虑不同方法的组合。一种组合方法是采用**成核繁衍法**，这已经在垃圾填埋场（Corbin et al. 2016）、地中海林地（Rey Benayas et al. 2008）、热带森林（Corbin & Holl 2012; Holl et al. 2017），以及其他生态系统的生态恢复方面显示出了较好的应用前景。成核方法包括在生态恢复场地种植小片树木，该小片树木作为核心，从而促进新树木的种植，随着时间的推移扩大森林面积。决定使用哪种方法或方法组合可能并不总是很清楚。知识

和经验对于评估现有或不存在的自然再生潜力程度，以及自然再生潜力是否可能对特定而及时的人为辅助作出反应非常重要。在没有具体知识的情况下，在确定哪种方法是最佳方法之前，测试自然再生方法或允许评估几年自然再生率可能会是有益的 (Holl et al. 2018)。以这种方式对生态恢复场地条件做出响应，将确保恢复结果与参考模型所定义的条件之间，保持相似性的水平。

### 第三部分 生态恢复在全球恢复计划中的作用

在过去的 30 年里，生态恢复已经从小规模的生态位概念发展成为一个保护生物多样性和改善大型景观和人类福祉的主要战略。当恢复区域超过小斑块尺度时，必须扩大生态恢复的目标和方法 (原则 7)。景观格局 (生态系统类型的空间关系) 和景观过程 (例如，水流、侵蚀、养分流量、土地利用变化) 是需要考虑的重要因素 (Holl et al. 2003)。在很大程度上，追求生态系统多样性与利益相关方和土地利用可能存在冲突和竞争，但也可能促成共同的解决方案。因此，景观尺度的恢复必须侧重于为生态系统和利益相关方提供多重、互补和综合的利益。

### 全球恢复倡议

人们越来越意识到环境和社会-文化修复的必要性，这导致全

球生态恢复和相关恢复性活动的兴起（前言，原则 7）。然而，土地退化的情况大多持续不减，因此，避免和抵制这种退化的影响的需求日益迫切。为了达到这个目的，全球范围已发起了若干大规模的生态恢复倡议和协议，以促进广泛的**生态系统管理**和**基于自然的解决方案**（专栏 10）。在这些倡议和协议中，生态恢复具有广泛的定义（例如，森林景观恢复），并包括恢复连续体中的所有活动（原则 8）。这些举措主要侧重于改善生态健康和景观生产力，以支持当前和未来的人类福祉，保护生物多样性，减少灾害风险，减缓和适应气候变化。对于某些倡议来说，生态恢复被视为改善自然资源获取和可持续性的一种方法。还应认识到，生态恢复还可以促进农村经济，提供就业和收入，改善粮食和水安全等。这些目标不一定是相互排斥的。事实上，当大规模生态恢复计划的结果是公平获取和可持续利用自然资源，生态恢复计划也能帮助其他全球目标的实现。

## 景观恢复方法

许多大规模生态恢复计划采用景观生态恢复方法。然而，景观生态恢复不仅涉及在较大的地理区域内实施场地规模的生态恢复项目，它还涉及到基于景观生态学和景观可持续性科学原理的恢

复实践 (LSS; Frazier et al, 2019) , 其中“景观”被视为社会生态系统。在不断变化的社会、经济和环境条件下, LSS 致力于改善生态系统服务与人类福祉之间的动态关系。根据景观可持续性的定义 (Wu 2013) , 景观恢复可以被定义为一个旨在恢复景观生态完整性以及使生态系统服务能够长期的、有计划的改善人类福祉的过程。因此, 景观生态恢复涉及生态和社会目标 (原则 1) 。大规模生态恢复的其他方法包括“**可持续多功能景观**”, 即“创建和管理景观, 将人类生产和景观利用纳入到景观的生态结构, 以维护关键生态系统功能、服务流和生物多样性”(O’Farrell & Anderson 2010)。

开展景观恢复行动需要深入了解景观组成、结构和功能, 以及生态完整性与满足人类需求之间的联系 (Wu 2013) 。这些景观属性不同于在场地考虑进行的生态恢复 (在生态系统或社区层面的构成、结构、功能, 以及不同于生物等级的较低层级 (物种、基因) ; 原则 7) 。相反, 景观恢复涉及生态系统规模以上的生物层级, 并需要明确考虑景观内生态系统的类型和比例, 单元的空间组织以及景观组成, 以及结构和功能之间的联系。在某些情况下, 在景观尺度恢复生态功能、能量流、养分等可能与恢复生态组成和结构一样重要甚至更为重要, 特

别是对于提供特定的生态系统服务而言。例如，恢复水文过程和生态系统之间的水运动对于河流流量调节至关重要，而河流流量调节是生态系统服务之一，这经常引起人们对生态恢复的兴趣。

规划和实施景观尺度的生态恢复项目需要对生态退化和生态恢复需求进行景观尺度评估，包括生物多样性和生态系统服务以及它们之间的权衡。景观恢复活动应集中在战略位置，平衡生态和社会效益 (Doyle & Drew 2012)，并在整个流域及其他地区开展 (IUCN 和 WRI 2014; Liu et al. 2017)。

政府经常与地方行政当局和利益相关方团体联合参与景观恢复项目。利益相关方参与生态恢复平台的建立有几个重要原因，其中包括培养其对景观的责任感，强调不同利益相关方如何看待恢复的潜力及其成本和效益。然而，除非利益相关方驱动的过程符合 LSS 的概念，否则可能不会考虑利益相关方期望的服务、生物多样性和生态完整性之间的关键权衡，并且景观可能会进一步退化。管理权衡方案并最大限度地提高景观可持续性是非常重要的，因为国家生态恢复方案的成功需要考虑到子孙后代的需要，以及在气候变化下加强未来可持续性的多种

方案。

决策支持工具可以帮助定义和描绘生态退化，设定生态恢复目标，识别潜在恢复干预措施或方法之间的权衡和协同作用，并确定生态恢复机会（IUCN 和 WRI 2014; Hanson et al. 2015; Chazdon & Guariguata 2018; Evans & Guariguata 2019）。此外，在景观尺度上整合生物多样性信息、物种分布模型和栖息地适宜性模型，可以确定通过生态恢复物种威胁减少以及种群或栖息地重新构建成功的区域（Beatty et al. 2018a）。此外，基于生态系统服务供应和生物多样性效益的经济分析和情景有助于了解特定地区具体生态恢复干预措施的成本效益和总成本。然而，迫切需要额外的决策支持工具，用于评估选定的生态系统服务的提供，生态和社会结果之间的权衡，以及评估诸如生计和粮食安全等社会经济结果（Beatty et al. 2018b）。

推进景观生态恢复科学、实践和政策的一个重要途径是发展和促进国家双边和多边合作以及国家内部合作。文献计量分析结果表明，发展中国家（例如，1988 年至 2017 年的中国和巴西；Guan et al. 2019）在生态恢复研究方面的合作出版物显著增加。应鼓励各地区之间分享经验和专业知识，共同筹资，共同获取新知识，以



促进更有效的生态恢复政策和实践 (Liu et al. 2019) , 南南合作对于发展中国家和新兴工业化国家的知识共享同样重要 (Liu et al. 2017) 。

**森林景观恢复 (FLR)** 是波恩挑战和其他全球恢复计划倡导的主要方法, 是提高人们对景观尺度生态恢复和相关干预措施需求意识提高的主要手段。然而, 在 **FLR** 下实施的活动不一定等同于生态或景观恢复 - 这种情况造成了生态恢复这一概念的混乱。虽然 **FLR** 被定义为“旨在重新获得生态功能、提高人类在砍伐森林或退化景观中的福祉的过程” (Besseau et al. 2018) , 但生态恢复只是 **FLR** 中用于帮助改善景观退化的众多干预措施之一。事实上, **FLR** 计划包括一系列与原则 8 中描述的“恢复性连续体”相一致的活动 (即减少影响、生态治理、生态修复、生态恢复), 包括保护现有保护区和提高区域农业生产可持续性。重要的是, 在一系列生态恢复举措中, **FLR** 的某种方式并不一定比另一种方式更有价值。例如, 生态恢复并不认为一定是比保护性农业或农林业更好的选择。然而, 许多 **FLR** 实践者认为生态恢复是每个 **FLR** 项目的关键组成部分。实践者认识到农业生产区, 尤其是退化的农业景观, 有着巨大的社会、经济和生态干预需求。采用综合方法来保护和修复生态

系统最有可能直接有效和公平地改善人类福祉，这种方法与联合国防治荒漠化公约的 LDN 项目类似。然而，在 FLR 中选择干预措施要基于许多因素，包括干预措施如何缓解退化，以及它如何支持利益相关方确定的目标（例如，气候恢复能力、粮食和水安全、生物多样性保护）。以不同的方式解释 FLR (Mansourian 2018) 会导致 FLR 有不同的结构（例如，保护生物多样性、减少土地退化、支持可持续的木材生产）。因此，开展透明和清楚的沟通，并在景观中实施多样性恢复活动中保持灵活性，是成功实施恢复性活动的关键。

FLR 和波恩挑战有着广泛的政治支持，它们是里约公约 (CBD, UNCCD, UNFCCC) 以及联合国可持续发展目标和许多国家、大洲和区域倡议的重要执行机制。FLR 通过提供许多不同的社会、经济和生态视角，允许各国和其他参与者观察生态系统和景观修复。FLR 已经为爱知生物多样性目标做出了重大贡献 (Beatty et al. 2018c)。此外，高级决策者参与波恩挑战部长级活动，为联合国生态系统恢复十年 (2021-2030) 提供了支持。对于 FLR 的可恢复性且不会带来附带损害的质疑，现已在 FLR 原则中得到了解答。同时，呼吁在生态恢复中，实现多

种生态功能并行，加强对本地生态系统的维护和生态系统功能性的提高（专栏 11）。

## 结论

世界正在进入一个生态恢复时代，世界各国政府通过广泛的恢复活动，包括生态系统和景观尺度的生态恢复，做出了令人印象深刻的承诺，以恢复退化的土地和景观。生态恢复越来越被认为是减轻环境灾害影响和适应气候变化影响的重要手段，也能改善个人、社区和国家层面的人类福祉。生态恢复如果得到有效实施，可以实现不同层次的生态服务效益，从满足人类最基本的需求，如粮食和水安全，到减少疾病传播，再到改善个人的身体、情感和心理健康。生态恢复还必须与生态保护和可持续生产相结合。生态恢复可以帮助我们在全球范围内，从数百年累积的环境破坏，走向防止土地退化，并最终实现净生态改善。实现本地生态系统面积和功能的净收益，同时提供关键的人类福利，是生态恢复十年的真正承诺。实现这一承诺需要世界各地利益相关方的支持，需要全球对各种恢复性活动的承诺和投资。这种投资必须建立在强有力的、正当合理的、可理解的科学基础上，正如生态恢复原则和标准中所概述的那样。



## 第五节 专业术语

本节专业术语在参考文献 McDonald et al. (2016 a, b) 的基础上进行了修订和扩展

**非生物的：**生态系统中的非生物物质和条件，包括岩石、含水基质、大气、天气和气候、地形起伏和地貌、营养状况、水文状况、火灾状况和盐度状况。

**活动：**见“恢复活动”

**适应性管理：**通过评估过去采用的政策和实践来获得知识，并应用于未来项目和计划中，从而改进管理政策和实践的持续过程。这是只用重新审视管理决策并根据新信息对其进行修正的做法。

**植树造林：**在以前不存在森林的地区引入森林的过程。

**联合行动：**以减少退化因素及生态退化影响和增强生态系统恢复潜力为目的的恢复性实践活动（包括环境改善、生态整治、生态修复）。

**应用成核：**通过强化定植方法，利用建立的植被（通常是乔木或灌木）或动物种群（例如珊瑚、牡蛎）来恢复生态系统重点区域

的一种策略。

**(生态恢复)方法：**生态治理的通用分类，包括自然再生、辅助再生、生态重建等。

**辅助再生：**一种特殊的恢复方法，重点是积极利用现场或者附近剩余的生物群的自然再生能力，这不同于将生物群体重新引入或者移除从而使环境自然再生 (Clewell & McDonald 2009)。虽然这种方法通常应用于低度退化到中度退化的场景，但也有证据证明，在严重退化的情况中，如果提供合适的恢复手段和足够的时间，辅助再生也是可行的 (Prach & Hobbs, 2008)。辅助再生相关的干预措施包括清除有害生物，重新应用生态干扰和资源的利用以形成生物聚落。

**属性特征：**见关键生态系统属性特征类别

**增加(消失种群)的数量：**(也称为增强，富集、补充或补货)在动植物种群中增加相同动植物的数量，目的是增加种群规模或遗传多样性，从而提高生存能力；针对在生态恢复场地已经消失的种群，需要重新恢复该种群的数量。在生态恢复实践中，增加种群数量通常需要依靠附近其他种群提供的原材料，而不是同一种群。

(生态恢复的) **障碍**: 阻碍生态系统特征恢复的因素。

**基准条件**: 生态恢复活动开始前生态恢复场地的条件。

**基准库存**: 对生态恢复场地的生物和非生物元素的评估, 包括其结构、功能和组成属性。这份清单在生态恢复计划开始时与构建参照模型一起实施, 以便为制定生态恢复目标、可测量的目标和治理措施等提供规划信息。

**生物多样性**: 地球上陆地、海洋和其他水生生态系统及其所属的生态复合体内的所有生命的变异。生物多样性包括物种内、物种间和生态系统之间的多样性。

**碳封存**: 捕获大气中的二氧化碳并长期储存(通常是通过光合作用、植被生长和土壤有机质积累等方式积累生物量)。这可能是自然发生的现象, 也可能是减少气候变化影响行动的结果。

**气候包络**: 物种种群分布的气候范围。气候变化很可能会使气候包络的地理位置发生移动。

**气候变化准备**: 指的是在气候科学和遗传学的基础上选择可恢复的遗传物质, 以提高物种在预期气候变化下持续存在可能性的情况。

**(生态) 循环:** (生态系统的某些部分之间) 资源的转移, 如水, 碳, 氮和其他所有其他生态系统功能的基本要素

**(对生态系统) 损害:** 对生态系统造成的严重和明显的有害影响。

**(生态系统的) 退化:** 人为影响对生态系统造成的损害, 导致生物多样性的丧失和生态系统结构、组成和功能简化或破坏, 通常会减少生态系统服务流量。

**有利物种:** 来自参照生态系统 (或非本地保育植物) 的物种将使本地生态系统得以恢复。有利物种的对立面是有害物种, 有害物种通常是但不限于非本地物种。

**(生态系统的) 破坏:** 环境退化或环境损害导致所有生物消失, 通常也会破坏生态系统的物理环境。

**干扰制度:** 一段时间内影响生态系统特征的干扰事件的模式、频率、时间或发生率。

**生态恢复:** 帮助退化、损害或破坏生态系统恢复的过程。(生态系统恢复有时可以与生态恢复互换使用, 但生态恢复始终涉及生物多样性保护和生态完整性, 而有些生态系统恢复的方法可能



只关注生态系统服务的提供。)

**生态恢复大型项目：**由许多生态恢复项目组成的更大规模的项目。

**生态恢复项目：**从规划阶段开始，通过实施生态恢复和监测，为实现本地生态系统实质性恢复而进行的有组织的努力。一个生态恢复项目可能包含多个合同，也可能是长期生态恢复计划中的许多项目之一。

**生态系统：**水体和陆地上由生物和非生物部分组成的生态组合，这些组成部分相互作用形成复杂的食物网、营养循环和能量流。标准中使用“生态系统”一词来描述任何规模或尺度的生态组合。

**生态系统特征：**请参阅“关键生态系统属性”。

**生态系统完整性：**生态系统支持和维持特定生态功能和生物多样性（即物种组成和群落结构）的能力。生态完整性可以衡量为一个自然生物群落的维持程度。

**生态系统维护：**生态系统维护是在生态系统全面恢复后，以防止生态退化和保持生态系统属性为目的的不间断性工作。与生态系统威胁得到控制的地区相比，生态系统依旧受到威胁的地区需

要继续大量维护工作。

**生态系统管理：**在复杂的社会政治和价值观框架下，通过整合生态科学知识，实现长期保护本地生态系统完整性的目标。

**生态系统弹性：**在自然或人为干扰后生态系统恢复的程度、方式和速度。在植物和动物群落中，这种特性很大程度上取决于个体物种对物种进化过程中所经历的干扰或胁迫的适应能力。（另见社会-生态弹性）

**生态系统服务：**指生态系统对人类福祉的直接和间接贡献。包括生产清洁的土壤、水和空气，缓和气候和疾病，养分循环和授粉，供应对人类有用的物品，以及满足人们审美、娱乐和其他价值的潜力。生态恢复目标可能是针对特定生态系统服务恢复，也可能是针对一项或多项生态服务质量的改善。

**外部交换：**景观或水生环境中的生态单元之间发生的双向交换，包括能量、水、火、遗传物质、生物体和繁殖体。与此同时，栖息地之间的互通也会促进外部交换。

**五星系统：**用于确定恢复或修复项目所期望达到的恢复水平的工具，并逐步评估和跟踪相对于参考模型的本地生态系统随时

间的恢复程度。此工具还提供了一种方法来报告相对于引用的基准条件的更改。（注：五星评估系统仅指恢复结果，而不是用于实现这些结果的恢复活动。）

**森林景观恢复 (FLR)：**在森林被砍伐或景观退化的条件下，以重新获得生态功能并提升人类福祉为目的的生态恢复过程。这个过程包括一个或多个与生态恢复相关的活动。FLR 不应 对生物多样性造成损害。

**完全恢复：**所有生态系统特征达到与参照生态系统（模型）高度相似的状态。这种状态下生态系统呈现出自组织性，生态系统特征将会趋于完备和稳定。在生态系统实现自组织性时，生态恢复可以被认为是完全的，生态恢复的场地进入维护阶段。

**功能特性：**在个体生物体的表现型中表达的形态、生物化学、生理、结构、物理或行为特征。功能特性与生物对环境的响应或生物对生态系统特性的影响是相关的。

**生态系统的功能：**由生物群落与非生物因素之间的相互作用和相互关系引起的生态系统的动态属性。包括初级生产、分解、养分循环和蒸腾等生态系统过程以及竞争和弹性等自然发生的特征。

**基因流：**为了维持物种种群遗传多样性的个体生物之间的遗传物质交流。在自然界中，基因流动可能受到缺乏扩散载体和地形障碍（如山脉和河流）的限制。在分散的景观中，基因流可能受到残余栖息地分离的限制。被引入种群和本地种群之间的基因流动可能产生负面影响，例如近交衰退。

**种质资源：**为未来种群提供遗传材料来源的各种再生性物资（例如，胚胎、种子、营养材料）。

**绿色基础设施：**一个由自然或半自然区域（例如湿地、健康土壤和森林生态系统、积雪）组成的空间网络，可以帮助增加生态系统服务。

**近交衰退：**由于近亲繁殖或相关个体的繁殖，导致特定群体的生物适应性降低。

**恢复指标：**可用于衡量特定地点恢复目标或目标进展情况的生态系统特征（如衡量生态系统中生物或非生物成分的存在、缺失和质量）（Conservation Measures Partnership 2013）。

（生态系统和生物多样性的）**内在价值：**内在价值是一个实体本身存在或终结所具有的价值。与内在价值相对应的是工具价值。

工具价值是指生态系统作为客体对人类生存发展的有用性

**关键生态系统属性：**为生态恢复标准而制定的多种属性类别，以帮助从业者评估生态系统的生物和非生物属性和功能恢复程度。在本标准中，确定了六个属性类别：免于威胁、物理条件，物种组成、结构多样性、生态系统功能和外部交换。这些属性具有复杂性、自组织性、弹性和可持续性。

**景观生态流：**发生在比目标场地（包括水生环境）更大范围尺度内的相互交换，包括能量、水、火和遗传物质的流动。栖息地的连接可促进这种相互交换。

**景观恢复：**旨在恢复景观水平的生态完整性，以及恢复景观提供长期的、特定于景观的生态系统服务的能力，这对改善人类福祉至关重要。

**当地生态知识：**通过对当地生态系统进行广泛观察并与其相互作用而获得的、与当地资源使用者共享的生态知识、实践和信念。

**（生态系统）管理：**一个广泛的分类，包括生态系统的维护和恢复（包括生态恢复）。

**强制性恢复：**由政府、法院或法定机构（强制）要求的恢复，

可能包括某些类型的生物多样性补偿。在世界一些地区，强制性恢复被纳入补偿缓解项目。

**本地生态系统：**一个由生物（不包括非本地和杂草物种）组成的生态系统，这些生物要么从本地进化而来，要么由于环境条件的变化（包括气候变化）而从邻近地区迁移出来。在某些情况下，**传统的人工生态系统或半自然生态系统**被认为是本地生态系统。外来物种的存在或外来物种在本地生态系统中的扩展属于退化的形式。

**本地物种：**被认为起源于特定地区的生物群，或者在没有（直接或间接）人类运输的情况下到达该区域的生物群。在生态学家中，关于如何精确地定义这个概念仍存在争论。

**自然资本：**自然资源的存量。自然资源可以是可再生的（生态系统、生物）、不可再生的（石油、煤炭、矿物等）、可更新的（大气、饮用水、肥沃的土壤）和可耕种的（地方品种、传统作物及与之相关的技能），自然资源产生生态系统服务流量。

**自然恢复潜力：**生态系统属性通过自然再生返回到某一地点的能力。退化生态系统中这种自然恢复潜力将取决于退化因素影响程度和持续时间，以及生态系统内的物种能否在进化时间框架

内适应这些影响。自然恢复潜力是自然再生或辅助再生方法在生态恢复中成功应用的必要条件。

**自然再生：**包括植物、动物和微生物在内的生物群的萌发、出生或其他再生，无论是由定殖还是原位过程产生的。

**自然（自发）再生方法：**一种生态恢复方法，依赖于个体数量的增加，无需直接种植或播种。自然再生方法与**辅助再生方法**不同。

**基于自然的解决方案：**一种保护、可持续管理和恢复自然的或经过改造的生态系统的行动。基于自然的解决方案能有效地和适应性地应对社会挑战，同时提供人类福祉和生物多样性效益。

**远交衰退：**来自不同种群的个体之间的杂交后代的适应性低于来自相同群体的个体之间的杂交的后代。

**过度利用：**超出生态系统的再生能力的任何形式的采伐或开采。包括过度捕捞、过度砍伐、过度放牧、过度燃烧。

**部分恢复：**部分但非所有生态系统属性与参考模型非常相似的状态。

**参与式监测：**指的是一个系统，该系统包括项目设计中涉及的多个利益相关方，还包括收集和分析从给定管理活动中收集的数

据，从而改进协作决策。

**实践者：**应用实践技能和知识来规划、实施和监测项目场地修复任务的个人。

**生产力：**生态系统中生物量的产生率，由植物和动物的生长和繁殖所决定。

**繁殖体：**任何在繁殖有机体中起作用的物质。繁殖体由植物、动物、真菌和微生物产生。

**开垦：**使严重退化的土地（如以前的矿区或荒地）变成适合耕种或适合人类使用的状态的过程。也用来描述从海上形成的生产性土地。

**生态重建方法：**即使在专家的协助再生干预之后，生物群也不能在可行的时间范围内再生或重新定殖。这种情况就需要完全或者几乎完全的引入合适的生物群，由此应运而生的一种恢复方法。

**恢复：**按照参照生态系统确定的水平，恢复生态系统组成、结构和功能的过程。在生态恢复过程中，恢复是由恢复活动协助的——恢复可以分为局部恢复和完全恢复。

**补充：**下一代生物体的产生。这不是由新生物数量（例如，并



非每个孵化幼体或者幼苗都算在里面)来衡量的,而是根据在群体中已发展成为独立个体的数量来衡量

**参考生态系统:**一种能够作为生态恢复模型的本地生态系统(与**参考场地**不同)。参考生态系统通常代表生态系统的非退化状态,包括其植物群、动物群(和其他生物群)、非生物成分、功能、过程和如果没有发生退化就会存在的演替状态-但经过调整可以适应改变的或预测的环境条件。

**参考模型:**参考模型指的是一种模型,这种模型可以说明生态恢复场地现在所处的预期状况是否已退化(关于植物群,动物群和其他生物群,非生物元素,功能,过程和演替状态)。这种条件不是历史条件,而是反映了环境条件的背景和预测变化。

**参考场地:**一个现存的能够代表生态属性和类似于项目目标演替阶段的完整集合。通过正式的监测,可以适时地将项目场地与参考场地进行对比,以衡量生态修复进展情况。理想情况下,这种监测将涉及多个参考场地。

**再生:**请参阅**自然再生和辅助再生**。

**修复:**以恢复退化场地生态系统功能为目标的管理行动,其目

标是使生态系统能够提供可更新的和可持续的服务，而不是恢复本地参考生态系统的生物多样性和完整性。

**强化**：有意识地将有机体移动并释放到现有的同种群体中。强化的目的是提高种群的生存能力，例如，通过增加种群规模，增加遗传多样性，或通过增加特种群群体或阶段的代表性。此定义与 **Augmentation** 非常相似，有时也被视为强化的同义词。

**重新引入**：使得生物群返回到之前存在的区域

**修复**：从土壤和水中去除污染物或过量营养元素。

**恢复**：见生态恢复。

**恢复生态学**：生态科学的一个分支，为生态恢复实践提供概念、模型、方法和工具。恢复生态学还受益于对修复实践的直接观察和参与。

**恢复活动**：旨在促进生态系统或生态系统组成部分恢复的任何行动、干预或处理，如土壤和基质修正、入侵物种控制、栖息地调节，物种重新引入和种群增援。

**弹性**：参见生态系统弹性和社会生态弹性

**恢复性活动**：减少生态退化或改善生态系统部分或全部恢复

条件的活动（包括生态恢复）。这些活动集合有时被描述为相互关联的恢复性活动“大家庭”

**恢复连续性统一体：**一系列直接或间接支持或实现已经丧失或受损的生态系统属性恢复的活动。恢复连续性统一体包括四大类恢复性活动：减少影响、生态整治、生态修复和生态恢复。这些活动的范围从最基本的活动（例如，减少社会影响，污染场地整治和退化土地和水体的恢复，或其他功利价值的恢复）到更具挑战性和最终更有价值的任务（例如，自然或半自然生态系统的生态和经济修复，以及退化的生态和社会-生态系统的全面生态恢复）。

**植被恢复：**以任何方式在可能包含或者不包含当地或本地物种的地区（包括陆地、淡水和海洋地区）内种植植物。

**野性回归：**计划将植物或动物物种，特别是关键物种或顶级捕食者（如灰狼或猞猁）重新引入其消失的栖息地（如狩猎或栖息地破坏），以增加生物多样性和恢复健康的生态系统。

**科学发现：**基于系统的观察、测量、想法（假设）的制定、测试和修改，从结构化、逻辑的方法中获得的知识。科学发现可以采用不同的形式加以应用。

**种子转移区：**一个收集和利用种子的确定地理区域。

**自交：**自我受精；自花授粉。

**半自然生态系统：**在欧盟（EU）法律背景下，由人类活动（例如放牧或修剪的高山草甸）产生的生物多样性生态组合。它们是在传统的农业，牧业或其他人类活动中发展而来的，这些活动可能有几百年的历史，并依赖于传统的管理来确定其特有的组成、结构和功能。这些生态系统因其生物多样性和生态系统服务而受到高度重视，可以作为生态恢复的参考。例如，高山和低地草甸、荒地、白垩草原、灌木林、森林牧场和放牧沼泽。

半自然生态系统不同于欧盟所定义的“人工生态系统”，人工生态系统是为提供生态系统服务而创建的，但却会导致生态系统退化，生物多样性降低。例如，包括耕地，物种贫瘠的农业草原，矿物开采区和城市公园的城市景观。人工生态系统不适合作为生态恢复的参考，但可以作为生态恢复或恢复的起点。从这个意义上讲，半自然生态系统与标准中的高质量的**传统人工生态系统**具有大致相同的含义。**自组织**-所有必要元素都存在的一种状态，生态系统的属性可以在没有外部帮助的情况下继续向合适的参考状态发展。但自组织不适用于传统人工生态系统的恢复。

**自组织：**当所有要素都存在且生态系统的属性可以在没有外部协助的情况下继续发展到适当的参照状态的一种状态。相对于已确定的参照生态系统的特征，自组织可以通过生长、繁殖、控制生产者、食草动物和捕食者之间的比例以及生态位分化等因素得到证实。自组织很难适用于传统的人工生态系统的恢复。

**场地：**离散的区域或地点。可以在不同的尺度上发生，但通常在斑块或小尺度上（即比景观尺度小）。

**南南合作：**南半球国家在政治、经济、社会、文化、环境和技术领域（联合国南南合作办事处）之间开展广泛的合作框架。涉及两个或两个以上的发展中国家，可以在双边、区域、次区域或区域间进行。

**社会-生态弹力：**复杂的社会-生态系统在经历变化时吸收干扰和重组的能力，以便仍保持基本相同的功能、结构、特性和反馈。这一属性允许复杂的社会-生态系统适应并持续面临威胁和压力。

**社会-生态系统：**人与自然的复杂的、综合的和相互联系的系统，强调人类必须被视为自然的一部分，而不是与自然分离。

**空间格局：**由于基质、地形、水文、植被、扰动状态或其他因

素的差异，引起的物种组合(在垂直和/或水平平面)的斑块化。

**物种：**这里用作代表一个物种或同种物种分类的通用术语，这个术语没有科学正式的描述。

**利益相关方：**参与或影响行动或政策的人和组织，可直接或间接纳入决策进程；在环境和保护规划中，利益相关方通常包括政府代表、企业、科学家、土地所有者和当地自然资源使用者。

**分层：**生态系统中的植被层次；常指树木、灌木和草本层等垂直层理。

**基质：**有机物生长和生态系统发育的土壤、沙子、岩石、贝壳、碎片或其他介质。

**结构多样性：**本文件中使用的关键生态系统特征类别，以传达“生态系统结构”和“群落结构”。生态系统结构是指生态系统的物理组织，包括物种的密度、分层和分布（种群的数量、栖息地规模和复杂性）、冠层结构和栖息地斑块的模式以及非生物元素。“群落结构”是指包括营养金字塔、食物网和食物链在内的生态系统生物群的层次结构。

**实质性恢复：**生态恢复项目需要实现的恢复水平。由于恢复项

目的价值可能受到生态系统的生态重要性和项目规模的影响，因此这种恢复水平不能与特定的恢复指标紧密联系起来（尽管中点恢复水平是合理的最低标准）。

**演替（生态）：**在生态系统受到干扰后，生态系统逐渐恢复和发展的过程和模式。

**可持续的多功能景观：**创建和管理景观，将人类生产和景观用途纳入景观的生态结构中，保持关键的生态系统功能、服务流和生物多样性。

**具体目标：**在项目结束时寻求的具体生态和社会成果，包括要恢复的本地生态系统。

**威胁：**潜在的或已经造成生态系统退化、损伤或破坏的因素。

**（生态）阈值：**环境或生物物理条件的微小变化引起生态系统向不同生态状态转变的一个临界点。一旦跨过一个或多个生态阈值，如果没有人类的重大干预，或者如果阈值是不可逆转的，生态系统可能很难恢复到以前的状态或轨迹。

**传统的人工生态系统：**在自然过程和人类活动的共同影响下发展起来的生态系统，为人类生态系统的开发利用资源提供更有

用的组成、结构和功能。高质量的本地生态系统能够作为生态恢复的参考模型，而主要转化为非本地物种或在传统的人工生态系统基础上进行了修改的生态系统不能作为生态恢复的参考模型。同样见半自然生态系统。

**传统生态知识 (TEK)：**基于强大的文化遗产、对变化的灵敏应对以及坚持包括互惠互利在内价值观的代代相传的生态恢复知识和恢复实践。

**(生态) 轨迹：**随着时间推移，生态系统经历的过程或路径。它可能会导致退化、停滞或因环境条件而导致的适应性变化，或响应生态恢复 - 理想化地恢复已经不复存在的生态完整性和生态弹性。

**移位：**有目的性地（由人类）将生物体运输到特定景观或水生环境的不同区域或更远的地区。其目的一般是为了保护濒危物种、亚种或种群。

**营养水平：**食物链阶段（如生产者、食草动物、捕食者和分解者）。

**福祉：**人类福祉由相关环境决定，包括美好生活、选择与自由、



健康、良好社会关系还有安全保障等基本要素。

## 附录 1. 选择用于生态恢复的种子和其他繁殖体

该附录由 McDonald et al. (2016a) 改编和拓展而来。虽然在选  
择生态恢复项目的植物种子和其他**繁殖体**（例如，营养物质、孢子、  
卵、活幼体）时需要考虑很多因素，但遗传因素对于确保最终种群  
成功繁殖和持续存在至关重要。这些考虑因素在分散的景观中尤  
为重要，尤其是在气候变化条件下

### 种子或其他繁殖体的遗传方面的考虑 3

生态恢复实践者已经广泛采用了将繁殖体收集限制在**局部种  
源区域**或**种子转移区域**的理念，以确保选择用于生态恢复的繁殖  
体是合适的。然而，仅收集非常靠近生态恢复场地的繁殖体的方案  
对当地种源的解释并不恰当，因为地理距离可能不是生态恢复场  
地间生态差异的良好衡量方式。也就是说，许多从业者明白，本地  
适应的程度因物种、种群和栖息地而异（Gibson et al. 2016），并  
且“本地”基因型发生在或狭小或广阔的区域（即，10s/km<sup>2</sup> 到 100s/  
km<sup>2</sup>），这主要取决于物种及其生物类型。例如，与具有含风、含  
水或动物分散种子特性的植物相比，具有高度**自交**、依靠重力分散  
种子的一年生植物，以及曾经出现的离散、孤立种群的一年生植物，

具有更受限制的局部范围，尤其是那些近期经历过局部范围扩张的植物 (Hufford & Mazer 2003; Broadhurst et al. 2008)。此外，在大部分退化的景观中，当种群数量低于物种特定的阈值数量时，少部分种群有可能导致近亲繁殖。由于近交衰退可能会降低种群的功能和适应性，因此通常最好从更大、更高密度的种群中收集繁殖体。这意味着在种群数量小、密度较小且较孤立的分散景观中，可能需要从较远距离和多处来源收集繁殖体（并在生产区域中繁殖它们）以捕获足够的遗传多样性和足够的繁殖体以重建具有功能性、有恢复弹性的社区。

<sup>3</sup> 植物生态恢复过程中使用的主要的繁殖体是种子，但是有时也不会使用种子。有些植物基本不产生种子，主要通过插条、分裂或微繁殖进行繁殖。无论繁殖体的起源类型如何，关于遗传的原理都是相似的，值得注意的是，当使用无性繁殖方法时，遗传多样性是有限的，这可能会影响群体应对未来适应性挑战的能力。这种适用于植物的一般性原理也适用于一些生物，例如珊瑚或真菌，其中个体或菌落的碎片用作繁殖体，代替孢子、卵或其他有性生殖方式。

在更广泛寻找生物繁殖体时，必须考虑**远交衰退**的风险。虽然不像**近交衰退**那样常见，但是当来自遗传上不同种群的物种交叉

时，就会发生远交衰退的风险。在某些情况下，适应性丧失是由于局部适应能力的丧失。如果繁殖母体适应了不同的条件，所产生的后代可能很难适应任何一个母体场地。在其他情况下，共同适应的基因复合物可能会被破坏，从而导致适应性丧失（Rogers & Montalvo 2004）。当不同倍性的群体（细胞中的染色体数目）在生态恢复期或种子生产区结合时，植物的远交衰退可能特别严重。禾本科和菊科植物中是生态恢复过程中广泛使用的两种植物类型，他们的倍性差异相对普遍（Kramer et al. 2018），并且可以非常接近地发现具有不同倍性水平的植物群体（Gibson et al. 2017）。由于不应在苗圃生产或生态恢复过程中混合不同倍性的植物群体，因此，如果需要混合策略，可能需要流式细胞术检测以确定混合前群体的倍性水平。动物近交衰退并不像植物近交衰退那样广泛，但动物近交衰退现象始终存在（例如，Sagvik et al. 2005; Huff et al. 2011）。

### 繁殖体来源与气候变化

一个物种目前存在的气候范围被称为其“气候生态位”或“气候包络”。气候变化可能会导致“气候包络”与物种当前范围脱钩，并且在条件变得更热的情况下，可能会进一步向极地移动或向更高

的海拔移动。随着地区变得更加干燥或湿润，“气候包络”也可能受到降雨变化的影响。然而，由于降水的变化可能比温度更不可预测，因此“气候包络”的位移可能更为复杂。这些变化也可能以不同的速率影响一个物种的个体种群数量。虽然过去许多物种都经历过气候变化，但目前的气候变化速度，以及物种离散化程度和人为迁徙的障碍，都是前所未有的，这些都对物种生存构成了挑战。我们无法准确预测生态系统将要面临的风险类型和规模，因为只有一小部分物种被单独研究过。但是某些物种或种群可能会从目前的位置消失，有些物种或种群由于迁移障碍和其他因素而在当地或本区域灭绝。有的物种将开拓新的地区，改变当地的物种组合。正如**易位**实验所证明的，有些物种可能具有较好的适应环境变化的“可塑性”，随着气候变化而持续存在。也就是说，单株植物可能能够通过减少其叶片大小，增加叶片厚度或改变开花和出苗时间等机制来调整其形状。动物可能会改变食物摄取的选择（例如，以杂食为主的熊将摄取的食物转变为更能适应气候变化的植物）。一般来说，动物种群的一般种类通常比专业物种更能在气候变化中存活下来。在大多数情况下，持久性可能取决于物种的适应能力，而适应能力又取决于个体种群的规模和遗传多样性。

许多因素将影响物种适应新环境或迁移的能力，包括基因流的模式、物种的地理分布、物种栖息地和气候的异质性以及其他生物和非生物因素，包括该物种是早期演替物种还是晚期演替物种。具有种群大、遗传多样性高、基因流动距离远、自然繁殖和扩散能力强的动植物物种，随着气候的变化，适应或迁移的机会可能更大。相反，遗传多样性较低、分散能力较低的物种或种群，如发生在孤立的小区域内，或由于人为干扰而被隔离的物种或种群，在应对气候变化时可能无法适应或迁移。

自然景观的历史特点也在物种适应过程中发挥着作用。例如，对于一些高度生物多样性的“古老的、气候缓冲的”景观（即“OCBILS”理论 Hopper 2009），物种很可能抵抗气候影响而不受冰川作用的多种气候变化的影响。因此，这些物种由于适应了地质时期的水分和温度波动，所以能够持续的生存于自然景观中。因此，在澳大利亚和非洲南部大部分的 OCBILS 景观地区，物种对气候变化的预适应程度很高。OCIBIL 景观中物种的灭绝和局部灭绝往往是由于物种分散化和栖息地丧失造成的。相反，在温带地区，许多物种适应远距离迁移，例如，在冰川消融后发生。

## 工具和未来方向

目前有许多技术和协议可以指导收集遗传多样性的资料，以增强物种在生态恢复项目中的适应潜力。由于种群之间的高度连通性，在较大的和完整的栖息地中不太可能需要生态恢复干预以增强适应性潜力。但是，在由于气候变化导致自然景观分散或可能变得分散的情况下，协助遗传适应的干预措施可能会对生态恢复有益。这意味着，虽然本地基因库仍然在遗传适应中起主要作用，但明智的做法是，考虑从与目标修复区气候相似的地区纳入少量同一物种的种质。表 7 中给出了关于如何更加保育地纳入种子，以及何时适当地进行扩张的建议。并且，我们鼓励研究人员将方案调试以及实验设计融入到低风险的生态恢复设置当中。

有些工具可用于帮助生态恢复规划人员在规划阶段开始**气候变化准备**。首先，鼓励生态恢复工作者寻求预测气候变化对生态系统的影响。其次，鼓励实践者与研究人员合作，以更好地了解物种对分散化和气候变化预测的响应，并确定与生态恢复项目中遗传物质的蓄意变动有关的相对风险。对于植物而言，园林研究是了解植物变动的风险和益处的关键。第三，在一些国家，基于网络的工具越来越容易使用，以确定目前在恢复场地附近发生的物种或种

群是否仍适合未来预计在该地点发生的气候。在北美，种子选择工具 (<https://seedlotselectiontool.org/sst/>) 对植物非常有用，而在澳大利亚，澳大利亚生活地图集网站 ([www.ala.org.au](http://www.ala.org.au)) 可以帮助从业者识别一个物种的自然地理范围，以及它是否有可能容忍气候变化情景下可能会发生的条件，这些情况本身都在 [www.climatechangeinaustralia.gov.au](http://www.climatechangeinaustralia.gov.au) 网站上有所描述（见 Booth et al. 2012）。

许多生态恢复项目已经从更遥远的种源中获取植物种子，同时，通常会考虑到气候变化。为了确保物种的遗传多样性，繁殖体的来源建议包括：本地起源（Kaye 2001）；复合起源（Broadhurst et al. 2008）；混合起源（Breed et al. 2013）；预测性起源（例如，Crowe & Parker 2008）；和气候调整下的起源（Prober et al. 2015; 图 6）。表 8 中描述了每种策略及其好处、风险和最适合的用途。只有在合理的情况下，在考虑近交衰退和远交衰退的潜在负面影响的风险管理框架内，由健全的科学支持，才能实施此类战略。它还应包括长期监测（即至少十年），以记录经验教训，供从业人员和科学家分享。

然而，设计种植清单的从业者需要牢记，确定未来将要发



生的变化是不可能的。不同的物种和种群将以不同的方式应对气候变化，目前还没有可靠或简单的预测方法。此外，温度和降雨量不是唯一重要的预测因素。一系列物理（例如，基质）和生物因素（例如，扩散），它们本身受气候变化的影响具有不确定性，它们也可能在影响物种的分布方面发挥重要作用。尽管需要适当的谨慎，但在世界许多地区测试不同繁殖体起源途径的实证方法研究将有助于确定最佳生态恢复实践。在保持良好的记录并监控和共享结果的情况下，每个生态恢复项目都可以是一个生态恢复实验。这种方法可以改善未来的生态恢复实践效果。

### 恢复连通性并协助迁移

生态恢复的一个有益影响是在本地生态系统斑块之间建立积极的联系，使物种在面临气候变化时更自由地迁移和进化。一些人提倡某些物种需要特殊的迁徙援助（“协助迁徙”）。事实上，这里讨论的许多起源策略可以被认为是在种群水平上的一种辅助迁移形式。然而，在何时何地可以保证这种迁移形式仍存在很多争论，同时，这种迁徙也会随之带来风险（例如，与密切相关物种杂交；该物种在其新环境中变得具有入侵性）。在物种活动范围的边缘处

增加物种，这在许多情况下可能看起来是合乎逻辑的，也可能是有问题的，因为由于生态原因，物种在其活动范围的边缘是罕见的，这可能是很难理解的。另外，边缘种群有时在基因上是不同的。从其他种群引入种质资源，可能会降低气候变化准备，或通过杂交导致当地种群的灭绝。通常，物种活动范围边缘非常粗糙，存在许多异常值，许多分布图没有很好地说明这种情况（例如，使用当地政治单位存在/不存在的地图）。何时沿着那些边缘将物种向“更高纬度和更高坡度”方向拉动，或继续支持低纬度和低海拔边缘种群的问题是复杂的，这些问题值得深思熟虑。与气候变化相关的分布的后缘最容易受到物种损失的影响。寿命、传播、繁殖系统因素决定了物种适应或迁移的能力。在引进物种时，重要的是要考虑适应当前环境以及适应符合不久将来的环境条件，以期在适应本地环境和适应不断变化条件的能力之间取得平衡。

## 附录 2. 空白项目评估模板（供从业者使用）

图A1

生态系统恢复评估

恢复地区名称\_\_\_\_\_

评估人\_\_\_\_\_

日期\_\_\_\_\_

特征种类	恢复级别（1-5）	恢复级别依据
<b>特征 1. 威胁的消除</b>		
过度利用		
入侵物种		
污染		
<b>特征 2. 物理条件</b>		
基质物理条件		
基质化学条件		

水物理化学条件		
<b>特征 3.物种组成</b>		
有利植物		
有利动物		
有害物种		
<b>特征 4.结构多样性</b>		
所有的植被层		
所有的营养水平		
空间镶嵌		
<b>特征 5.生态系统功能</b>		
生产率、循环等		
栖息地与动植物间的相互作用		
弹性，补充等		
<b>特征 6.外部交换</b>		

---

景观生态流		
基因流		
栖息地连接		

## 参考文献

- Akhtar-Schuster M, Stringer LC, Erlewein A, Metternicht G, Minelli S, Safriel U, Sommer S (2017) Unpacking the concept of land degradation neutrality and addressing its operation through the Rio Conventions. *Journal of Environmental Management* 195:4-15
- Allison SK, Murphy SD (eds) (2017) *Routledge handbook of ecological and environmental restoration*. Routledge, Abingdon, UK
- Aronson J, Alexander S (2013) Ecosystem restoration is now a global priority: Time to roll up our sleeves. *Restoration Ecology* 21:293-296
- Beatty CR, Cox NA, Kuzee ME (2018a) *Biodiversity guidelines for forest landscape restoration opportunities assessments*. First edition. IUCN, Gland, Switzerland.
- Beatty CR, Raes L, Vogl AL, Hawthorne PL, Moraes M, Saborio JL, Meza Prado K (2018b) *Landscapes, at your service: applications of the Restoration Opportunities Optimization Tool (ROOT)*. IUCN, Gland, Switzerland.
- Beatty CR, Vidal A, Devesa T, Kuzee ME (2018c) *Accelerating biodiversity commitments through forest landscape restoration: evidence from assessments in 26 countries using the Restoration Opportunities Assessment Methodology (ROAM) (Working Paper)*. Convention on Biological Diversity Information Document CBD/COP/14/INF/18. IUCN, Gland, Switzerland.
- Besseau P, Graham S, Christophersen T (eds) (2018) *Restoring forests and landscapes: the key to a sustainable future*. Global Partnership on Forest and Landscape Restoration, Vienna, Austria
- Booth TH, Williams KJ, Belbin L (2012) Developing biodiverse plantings suitable for changing climatic conditions 2: Using the Atlas of Living Australia. *Ecological Management & Restoration* 13:274-281

- Bradshaw AD (1983) The reconstruction of ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 20:1-17
- Breed MF, Stead MG, Ottewell KM, Gardner MG, Lowe AJ (2013) Which provenance and where? Seed sourcing strategies for revegetation in a changing environment. *Conservation Genetics* 14:1-10
- Broadhurst LM, Lowe A, Coates DJ, Cunningham SA, McDonald M, Vesk PA, Yates C (2008) Seed supply for broadscale restoration: maximizing evolutionary potential. *Evolutionary Applications* 1:587-597
- Cairns J, Jr, Dickson KL, Herricks EE (eds) (1977) Recovery and restoration of damaged ecosystems. University Press of Virginia, Charlottesville, VA
- Castillo-Escrivà A, López-Iborra GM, Cortina J, Tormo J (2019) The use of branch piles to assist in the restoration of degraded semiarid steppes. *Restoration Ecology* 27:102-108
- CBD (2016) Ecosystem restoration: short-term action plan. CBD/COP/DEC/XIII/5. Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-13/cop-13-dec-05-en.pdf> (accessed 21 May 2019)
- CBD (2018) CBD (2018) Biodiversity and climate change. CBD/COP/14/L.23. Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada <https://www.cbd.int/doc/c/9860/44b3/042fbf32838cf31a771bb145/cop-14-1-23-en.pdf> (accessed 21 May 2019)
- Chase JM (2003) Community assembly: when should history matter? *Oecologia* 136:489-498.
- Chasek P, Akhtar-Schuster M, Orr BJ, Luise A, Rakoto Ratsimba H, Safriel U (2019) Land degradation neutrality: The science-policy interface from the UNCCD to national implementation. *Environmental Science & Policy* 92:182-190
- Chazdon RL (2014) Second growth: the promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation. University of Chicago Press, Chicago, IL
- Chazdon RL, Bodin B, Guariguata MR, Lamb D, Walder B, Chokkalingam U, Shono K (2017) Partnering with nature: the case for natural regeneration in

- forest and landscape restoration. Montreal, Canada.
- Chazdon RL, Guariguata MR (2016) Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. *Biotropica* 48:716-730
- Chazdon RL, Guariguata MR (2018) Decision support tools for forest landscape restoration: current status and future outlook. Occasional Paper 183. Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia
- Clewell A, Rieger J, Munroe J (2005) Guidelines for developing and managing ecological restoration projects. Society for Ecological Restoration International, Tucson, Arizona. [www.ser.org](http://www.ser.org)
- Clewell AF, Aronson J (2013) Ecological restoration: principles, values, and structure of an emerging profession. Second edition. Island Press, Washington, DC
- Conservation Measures Partnership (2013) Open standards for the practice of conservation. Version 3.0. <http://cmp-openstandards.org/download-os/>
- Convention on Biological Diversity (2016) Ecosystem restoration: short-term action plan. CBD/COP/DEC/XIII/5 <https://www.cbd.int/decisions/cop/?m=cop-13>
- Corbin JD, Holl KD (2012) Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management* 265:37-46
- Corbin JD, Robinson GR, Hafkemeyer LM, Handel SN (2016) A long-term evaluation of applied nucleation as a strategy to facilitate forest restoration. *Ecological Applications* 26:104-114
- Crowe KA, Parker WH (2008) Using portfolio theory to guide reforestation and restoration under climate change scenarios. *Climatic Change* 89:355-370
- Doyle M, Drew C (2012) Large-scale ecosystem restoration: five case studies from the United States. Island Press, Washington, DC
- Echeverria C, Coomes D, Salas J, Rey-Benayas JM, Lara A, Newton A (2006) Rapid deforestation and fragmentation of Chilean Temperate Forests. *Biological Conservation* 130:481-494



- Egan D, Howell EA (2001) *The historical ecology handbook. A restorationist's guide to reference ecosystems*. Island Press, Washington, DC
- Elgar AT, Freebody K, Pohlman CL, Shoo LP, Catterall CP (2014) Overcoming barriers to seedling regeneration during forest restoration on tropical pasture land and the potential value of woody weeds. *Frontiers in Plant Science* 5:200
- Evans K, Guariguata MR (2019) A diagnostic for collaborative monitoring in forest landscape restoration. Occasional Paper 193. CIFOR, Bogor, Indonesia.
- Frazier AE, Bryan BA, Buyantuev A, Chen L, Echeverria C, Jia P, Liu L, Li Q, Ouyang Z, Wu J, Xiang W-N, Yang J, Yang L, Zhao S (2019) Ecological civilization: perspectives from landscape ecology and landscape sustainability science. *Landscape Ecology* 34:1-8
- Gann G, Lamb D (2006) *Ecological restoration: a means of conserving biodiversity and sustaining livelihoods* Society for Ecological Restoration International, Tucson, Arizona. [www.ser.org](http://www.ser.org)
- Gibson AL, Espeland EK, Wagner V, Nelson CR (2016) Can local adaptation research in plants inform selection of native plant materials? An analysis of experimental methodologies. *Evolutionary Applications* 9:1219-1228
- Gibson AL, Fishman L, Nelson CR (2017) Polyploidy: a missing link in the conversation about seed transfer of a commonly seeded native grass in western North America. *Restoration Ecology* 25:184-190
- Green DG, Sadedin S (2005) Interactions matter—complexity in landscapes and ecosystems. *Ecological Complexity* 2:117-130
- Grubb PJ, Hopkins AJM (1986) Resilience at the level of the plant community. Pages 21-38 In: Dell B, Hopkins AJM and Lamont BB (eds) *Resilience in mediterranean-type ecosystems*. Springer Netherlands, Dordrecht
- Guan Y, Kang R, Liu J (2019) Evolution of the field of ecological restoration over the last three decades: a bibliometric analysis. *Restoration Ecology* 27:647-660
- Hanson C, Buckingham K, DeWitt S, Laestadius L (2015) *The restoration diagnostic v. 1.0*. World Resources Institute, Washington DC.
- Havens K, Vitt P, Still S, Kramer AT, Fant JB, Schatz K (2015) Seed sourcing for

- restoration in an era of climate change *Natural Areas Journal* 35:122-133
- Hobbs RJ, Norton DA (2004) Ecological filters, thresholds, and gradients in resistance to ecosystem reassembly. Pages 72-95 In: Temperton VM, Hobbs RJ, Nettle T and Halle S (eds) *Assembly rules and restoration ecology: bridging the gap between theory and practice*. Island Press, Washington, DC
- Holl KD, Crone EE, Schultz CB (2003) Landscape restoration: moving from generalities to methodologies. *BioScience* 53:491-502
- Holl KD, Reid JL, Chaves-Fallas JM, Oviedo-Brenes F, Zahawi RA (2017) Local tropical forest restoration strategies affect tree recruitment more strongly than does landscape forest cover. *Journal of Applied Ecology* 54:1091-1099
- Holl KD, Reid JL, Oviedo-Brenes F, Kulikowski AJ, Zahawi RA (2018) Rules of thumb for predicting tropical forest recovery. *Applied Vegetation Science* 21:669-677
- Holling CS (1973) Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4:1-23
- Hopper SD (2009) OCBIL theory: towards an integrated understanding of the evolution, ecology and conservation of biodiversity on old, climatically buffered, infertile landscapes. *Plant and soil* 322:49-86
- Huff DD, Miller LM, Chizinski CJ, Vondracek B (2011) Mixed-source reintroductions lead to outbreeding depression in second-generation descendents of a native North American fish. *Molecular Ecology* 20:4246-4258
- Hufford K, Mazer S (2003) Hufford KM, Mazer SJ. Plant ecotypes: genetic differentiation in the age of ecological restoration. *Trends in Ecology & Evolution* 18:147-155
- Hulvey KB, Aigner PA (2014) Using filter-based community assembly models to improve restoration outcomes. *Journal of Applied Ecology* 51:997-1005
- IUCN and WRI (2014) *A guide to the Restoration Opportunities Assessment Methodology (ROAM): assessing forest landscape restoration opportunities at the national or sub-national level. Working Paper (Road-test edition)*. IUCN, Gland, Switzerland.

- Jordan F, Arrington DA (2014) Piscivore responses to enhancement of the channelized Kissimmee River, Florida, U.S.A. *Restoration Ecology* 22:418-425
- Kareiva P, Marvier M, McClure M (2000) Recovery and management options for spring/summer Chinook salmon in the Columbia River Basin. *Science* 290:977-979
- Kaye TN (2001) Common ground and controversy in native plant restoration: the SOMS debate, source distance, plant selections, and a restoration-oriented definition of native. Pages 5-12 In: Rose R and Haase D (eds) *Native Plant Propagation and Restoration Strategies*. Nursery Technology Cooperative and Western Forestry and Conservation Association, Corvallis, Oregon
- Keenleyside KA, Dudley N, Cairns S, Hall CM, Stolton S (2012) *Ecological restoration for protected areas: Principles, guidelines and best practices*. IUCN, Gland, Switzerland.
- Kramer AT, Havens, K. (2009) Plant conservation genetics in a changing world. *Trends in Plant Science* 14:599-607.
- Kramer AT, Wood TE, Frischie S, Havens K (2018) Considering ploidy when producing and using mixed-source native plant materials for restoration. *Restoration Ecology* 26:13-19
- Liu J, Bawa KS, Seager TP, Mao G, Ding D, Lee JSH, Swim JK (2019) On knowledge generation and use for sustainability. *Nature Sustainability* 2:80-82
- Liu J, Calmon M, Clewell A, Liu J, Denjean B, Engel VL, Aronson J (2017) South-south cooperation for large-scale ecological restoration. *Restoration Ecology* 25:27-32
- Liu J, Clewell A (2017) *Management of ecological rehabilitation projects*. Science Press, Beijing
- Lynam T, De Jong W, Sheil D, Kusumanto T, Evans K (2007) A review of tools for incorporating community knowledge, preferences, and values into decision making in natural resources management. *Ecology and Society* 12:5
- Mansourian S (2018) In the eye of the beholder: reconciling interpretations of

- forest landscape restoration. *Land Degradation & Development* 29:2888-2898
- Martínez-Ramos M, Pingarroni A, Rodríguez-Velázquez J, Toledo-Chelala L, Zermeño-Hernández I, Bongers F (2016) Natural forest regeneration and ecological restoration in human-modified tropical landscapes. *Biotropica* 48:745-757
- Matthews JA (1999) Disturbance regimes and ecosystem response on recently-deglaciated substrates. Pages 17-37 In: Walker LA (ed) *Ecosystems of disturbed ground*. Elsevier, Amsterdam
- McDonald T (2000) Resilience, recovery and the practice of restoration. *Ecological Restoration* 18:10-20
- McDonald T, Jonson J, Dixon KW (2016a) National standards for the practice of ecological restoration in Australia. *Restoration Ecology* 24:S6-S32
- McDonald T, Gann GD, Jonson J, and Dixon KW (2016b) International standards for the practice of ecological restoration - including principles and key concepts. Society for Ecological Restoration, Washington, D.C. <http://www.ser.org/?page=SERStandards>
- McDonald T, Jonson J, Dixon KW (2018) National standards for the practice of ecological restoration in Australia. Second edition. Standards Reference Group, Society for Ecological Restoration Australasia [www.seraustralasia.com](http://www.seraustralasia.com)
- Mitchell RJ, Rose RJ, Palmer SCF (2008) Restoration of *Calluna vulgaris* on grass-dominated moorlands: The importance of disturbance, grazing and seeding. *Biological Conservation* 141:2100-2111
- O'Beirn FX, Luckenbach MW, Nestlerode JA, Coates GM (2000) Toward design criteria in constructed oyster reefs: oyster recruitment as a function of substrate type and tidal height. *Journal of Shellfish Research* 19:387-395
- O'Farrell PJ, Anderson PML (2010) Sustainable multifunctional landscapes: a review to implementation. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2:59-65
- Orr, BJ, Cowie AL, Castillo Sanchez VM, Chasek P, Crossman ND, Erlewein A,

- Louwagie G, Maron M, Metternicht GI, Minelli S, Tengberg AE, Walter S, Welton S (2017) Scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. A report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification, Bonn, Germany <https://www.unccd.int/publications/scientific-conceptual-framework-land-degradation-neutrality-report-science-policy> (accessed 21 May 2019)
- Palmer MA, Zedler JB, Falk DA (eds) (2016) Foundations of restoration ecology. Island Press, Washington, DC
- Perry D (1994) The soil ecosystem. Pages 302-338 In: Perry DA (ed) Forest Ecosystems. The Johns Hopkins University Press, Baltimore
- Powers SP, Peterson CH, Grabowski JH, Lenihan HS (2009) Success of constructed oyster reefs in no-harvest sanctuaries implications for restoration. *Marine Ecology Progress Series* 389:159-170
- Prach K, Hobbs RJ (2008) Spontaneous succession versus technical reclamation in the restoration of disturbed sites. *Restoration Ecology* 16:363-366
- Prach K, Řehouňková K, Lencová K, Jírová A, Konvalinková P, Mudrák O, Študent V, Vaněček Z, Tichý L, Petřík P, Šmilauer P, Pyšek P (2014) Vegetation succession in restoration of disturbed sites in Central Europe: the direction of succession and species richness across 19 seres. *Applied Vegetation Science* 17:193-200
- Prober S, Byrne M, McLean E, Steane D, Potts B, Vaillancourt R, Stock W (2015) Climate-adjusted provenancing: a strategy for climate-resilient ecological restoration. *Frontiers in Ecology and Evolution* 3
- REDD+ SES (2012) REDD+ social and environmental standards. Version 2. [www.redd-standards.org](http://www.redd-standards.org)
- Rey Benayas JM, Bullock JM, Newton AC (2008) Creating woodland islets to reconcile ecological restoration, conservation, and agricultural land use. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6:329-336
- Rogers DL, Montalvo AM (2004) Genetically appropriate choices for plant materials to maintain biological diversity. Lakewood, CO. <http://www.fs.fed.us/r2/publications/botany/plantgenetics.pdf>

- Rokich DP (2016) Melding of research and practice to improve restoration of *Banksia* woodlands after sand extraction, Perth, Western Australia. *Ecological Management & Restoration* 17:112-123
- Sáenz-Romero C, Lindig-Cisneros RA, Joyce DG, Beaulieu J, St. Clair JB, Jaquish BC (2016). Assisted migration of forest populations for adapting trees to climate change. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 22:303-323. doi: 10.5154/r.rchscfa.2014.10.052
- Sagvik J, Uller T, Olsson M (2005) Outbreeding depression in the common frog, *Rana temporaria*. *Conservation Genetics* 6:205-211
- Saunders A, Norton DA (2001) Ecological restoration at Mainland Islands in New Zealand. *Biological Conservation* 99:109-119
- Seddon S, Venema S, Miller DJ (2004) Seagrass rehabilitation in metropolitan Adelaide. II. Preliminary draft donor bed independent methods progress report. SARDI Aquatic Sciences report to the Department for Environment and Heritage, Adelaide.
- SER (2004) The SER International primer on ecological restoration. Society for Ecological Restoration International, Tucson, AZ. [www.ser.org](http://www.ser.org)
- SER (2013) URL <http://www.ser.org/page/CodeofEthics/Code-of-Ethics.htm> (accessed 3 March 2018, <http://www.ser.org/page/CodeofEthics/Code-of-Ethics.htm>)
- SER and IUCN-CEM (2018) Forum on biodiversity and global forest restoration summary report and plan of action. <https://ser.site-ym.com/page/SERDocuments>
- Suding KN, Gross KL (2006) The dynamic nature of ecological systems: multiple states and restoration trajectories. Pages 190-209 In: Falk DA, Palmer MA, Zedler JB (eds) *Foundations of restoration ecology*. Island Press, Washington, D.C.
- Swetnam TW, Allen CD, Betancourt JL (1999) Applied historical ecology: using the past to manage for the future. *Ecological Applications* 9:999-1206
- Temperton VM, Hobbs RJ, Nuttle T, Halle S (eds) (2004) *Ecological filters, thresholds, and gradients in resistance to ecosystem reassembly*. Island Press,

Washington, DC

UNCCD (2017) The global land outlook, first edition. United Nations Convention to Combat Desertification, Bonn, Germany  
[https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2017-09/GLO\\_Full\\_Report\\_low\\_res.pdf](https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2017-09/GLO_Full_Report_low_res.pdf) (accessed 20 May 2019)

Van Andel J, Aronson J (eds) (2012) Restoration ecology: the new frontier. 2nd Edition Blackwell, Oxford, UK.

Vander Zanden MJ, Olden JD, Gratton C (2006) Food web approaches in restoration ecology. Pages 165-189 In: Falk D, Palmer M and Zedler J (eds) Foundations of restoration ecology. Island Press, Washington, DC

Walker LR (2011) Integration of the study of natural and anthropogenic disturbances using severity gradients *Austral Ecology* 36:916-922

Wang Y, Pedersen JLM, Macdonald SE, Nielsen SE, Zhang J (2019) Experimental test of assisted migration for conservation of locally range-restricted plants in Alberta, Canada. *Global Ecology and Conservation* 17: e00572

Westman WE (1978) Measuring the inertia and resilience of ecosystems. *BioScience* 28:705-710

Wiggins HL, Nelson CR, Larson AJ, Safford HD (2019) Using LiDAR to develop high-resolution reference models of forest structure and spatial pattern. *Forest Ecology and Management* 434:318-330

Wu J (2013) Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape Ecology* 28:999-1023

Zedler JB, Stevens ML (2018) Western and Traditional Ecological Knowledge in ecocultural restoration. *San Francisco Estuary and Watershed Science* 16:1-18

表格 1. 评估生态恢复项目社会目标进展的五星级系统示例

属性	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
利益相关方的参与	利益相关方确定生态恢复项目及其基本原理。同时，制定持续的沟通策略。	主要利益相关方支持并参与生态恢复项目规划阶段。	在生态恢复项目开始实施阶段，利益相关方的数量，所给予的支持，和参与度呈递增趋势。	在整个实施阶段整合巩固利益相关方的数量，所给予的支持，和参与度	利益相关方的数量、所提供的支持和最佳的参与情况，以及自我管理和继任安排等都各就各位。
利益分配	协调当地社区的利益，确保机会公平，并加强与生态恢复场地的传统人文关系	开始给当地社区带来利益并确保机会公平。传统的人文要素酌情纳入生态项目规	给当地人带来的利益为中等水平，并保持机会公平。任何传统文化元素在生态恢复	给当地人带来的利益为高水平，并保持机会公平。在生态恢复项目中大量的融合传	给当地人带来的利益为很高水平，并且机会均等的程度很高。任何传统人文元素都



		划。	项目实施过程中都得到了很好的保护。	统人文元素，增加和谐度。	得到最佳融合，并大大有助于和谐和社会正义。
知识丰富	确定现有知识的相关来源并选择产生新知识的机制。	现有知识的相关来源（以及新知识的潜力）为生态恢复项目规划和监控设计提供信息。	生态恢复实施阶段利用所有相关知识，利益相关方的反馈和早期项目结果	所有相关知识以及项目本身的试错过程均丰富了生态恢复的实施。对结果进行了分析和报告。	生态恢复项目的所有相关知识和成果丰富了恢复过程的执行情况，并被广泛传播，包括向其他有类似项目的人传播。
自然资本	土地和水管理系统，可以减少过度采伐和恢复，并保护恢复场地的自然资本。	土地和水资源管理系统导致生态恢复场地的自然资本低水平的恢复和保护。	土地和水资源管理系统，可以实现自然资本中等水平的回收和保护（包括改善碳预	土地和水资源管理系统，可以实现自然资本高水平的回收和保护（包括碳中	土地和水资源管理系统，可以实现自然资本的高度回收和保护（包括实现减碳正效

			算)。	态)。	益)
可持续经济	规划的可持续业务和就业模式 (适用于项目或辅助业务)。	开始建立可持续的商业和就业模式	处于测试阶段的可持续商业和就业模式。	可持续商业和就业模式的试验显示成功	可持续商业和就业模式的试验取得很大的成功
社区福祉	核心参与者确定为社区管理员, 并可能改善社会关系和提升地方归属感	所有参与者都认识到并预期从改善的社会关系和提升的地方归属感中受益。	许多利益相关方预期从改善的社会关系、地方归属感和包括休闲娱乐在内的生态系统服务的回报中获益。	大多数利益相关方预期从增加的社会关系、地方归属感和包括休闲娱乐在内的生态系统服务的回报中获益。	公众普遍认可的是, 可以从当地参与和生态系统服务的回报 (包括休闲娱乐) 中获得社区福利。

注释 1：社会目标将是多种多样的。此表中的所有元素并非都与所有生态恢复项目相关。

注释 2：社会福利轮转图可以应用于小规模或大规模项目，规模系数可以影响结果倍数增长或减小，而不是把自身当做因子

表 2. 用于表征参考生态系统的关键生态系统属性的描述，以及评估基准条件，设定项目目标以及监测恢复场地的恢复程度。 这些属性适用于

于原则 5 中的监测和原则 6 中讨论的五星系统。

属性	描述
没有威胁	不存在对生态系统的直接威胁，如过度使用，污染或入侵物种。
物理条件	存在维持目标生态系统所需的环境条件（包括土壤和水的物理和化学条件以及地形）。
物种组成	存在适当参考生态系统特征的本地物种，而不存在不受欢迎的物种。
结构多样性	关键结构组成部分的多样性，包括人口统计阶段，营养水平，植被层和空间栖息地多样性。
生态系统功能	适当的生长和生产水平，营养循环，分解，物种相互作用和干扰速率。
外部交换	通过非生物和生物成分的流动和交换，生态系统被适当地整合到其更大的景观或水生环境中。

表 3.1-5 星级恢复水平的通用标准汇总。每个级别都是累积的。由于对生态恢复治理和项目目标的反应速度不同，不同的属性可能有不同的排名。表 4 给出了六个关键生态系统属性的更详细通用标准。该系统适用于使用参考生态系统的任何恢复级别。

星级	恢复结果总结
★	正在持续恶化。基质得到恢复（物理和化学的）。存在一些原生生物群；未来的更新能力不会受生物或者非生物条件而影响。所有规划属性将来能得到进一步提升，项目地区的管理也能得到保障。
★★	邻近地区的威胁开始得到控制或减轻。恢复地区有一小部分特有的本地物种，而且不太受现场有害物种的威胁。改善了与相邻环境的联系。
★★★	相邻威胁得到控制或减轻，恢复地区的有害物种的威胁非常低。出现了中等规模的本地生物群，并且生态系统功能开始复苏。地区之间联系明显提高。

---

★★★★	相当多的特征生物群出现（代表所有物种群体），证明了发展中的群落结构和生态系统进程的开始。 地区之间的连接已建立，周边的威胁得到管理或减轻。
★★★★★	群落结构发展到在不需要进一步人工干涉的情况下，可自由建立起结构和营养的复杂性。随着外部交换的开始以及合适的干扰机制的回归，环境逐步拥有高弹性。同时长期的管理工作也已安排好。

表 4.1-5 星恢复表是在六个关键生态系统属性的背景下进行解释的，这六个关键生态系统属性主要用于衡量生态恢复的进展。这个 5 星级标度表示与参照生态系统相似度由低到高的累积梯度。作为一个通用框架，使用者必须基于特定的生态系统和子属性来制定指标和监测标准

属性	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
<b>威胁因素</b>	不再进一步恶化，目标恢复地区的稳定和管理得到保障	来自邻近的威胁开始得到控制或缓解	所有邻近的威胁得到管理或低程度的减轻。	所有邻近的威胁得到管理或适度减轻了。	所有邻近的威胁得到管理或高程度减轻了。
<b>物理条件</b>	总的物理和化学问题得到治理（如污染、侵蚀，物理压实）。	基质的化学和物理性质（如 pH、盐度）逐步稳定到正常范围内。	基质属性稳定在正常范围内，支持特征生物群的生长。	基质属性能维持适合特征物种持续增长和更新的条件。	基质表现出与参照生态系统高度相似的物理和化学特性，它们可以无限期地供养物种群和保持各项过程。

<p><b>物种组成</b></p>	<p>对本地物种(例如占参照生态系统物种比例约 2%) 进行定殖。对再生生态位及未来延续没有威胁。</p>	<p>努力实现基因的多样性和部分本地物种的出现(例如占参照生态系统物种约 10%)。来自外来入侵或有害物种的本地威胁程度低。</p>	<p>相当一部分的地区有关键的本地物种(例如占参照生态系统物种约 25%)。来自有害物种的本地威胁非常低。</p>	<p>特征生物群(例如占参考系统物种约 60%) 的多样性出现,代表了种群多样性。没有来自有害物种的本地威胁。</p>	<p>特征物种(例如占参考系统的物种 80% 以上) 多样性高,与参照生态系统具有高度相似性; 随着时间的推移,更多物种的定殖潜力增加。</p>
<p><b>结构多样性</b></p>	<p>相对于参照生态系统,存在一个或更少的结构分层,没有空间格局或营养结构。</p>	<p>与参照生态系统相比,存在较多的结构分层,但空间格局和营养结构复杂性低。</p>	<p>与参照生态系统相比,存在更多的结构分层,且有一些空间格局和营养结构复杂性</p>	<p>具有所有结构分层。与参照生态系统相比,空间格局明显,营养结构复杂性大。</p>	<p>具有所有结构分层,空间格局和营养复杂性高。有更高水平的空间结构复杂性将会呈现出和参照生态系统相似的自组织能力。</p>



<p><b>生态系统功能</b></p>	<p>基质和水文条件仅仅处于一个基础阶段,有能够发展类似于参考系统的功能的潜力。</p>	<p>基质和水文条件显示出更广泛的功能,包括养分循环和为其他物种提供栖息地/资源的潜力。</p>	<p>功能复苏的迹象,例如养分循环、水过滤以及为一系列物种提供栖息地资源。</p>	<p>大量证据表明关键功能和过程恢复,包括繁殖、分散和物种补充。</p>	<p>大量的证据表明,在恢复适当的干扰制度之后,可能会有一个确保生态系统恢复力的参考和证据的安全轨迹。</p>
<p><b>外部交流</b></p>	<p>确定了与周边陆生或水生环境交流(如物种、基因、水、火)的潜力。</p>	<p>通过与利益相关方的合作和现场的配置来加强联系,以加强积极(消除负面的)交流。</p>	<p>恢复地区和外部环境之间的连通性增加、交换开始变得显著(例如,更多物种、流量等)。</p>	<p>与其他自然区域建立高度连通性,对有害生物物种的控制和不良干扰的有效控制。</p>	<p>外部交流的潜力与参照生态系统高度相似,并在更广泛的地域应用了长期综合管理。</p>

表 5. 有助于改善生态系统恢复潜力的项目特征，特别是在生态恢复规模水平上。为了取得最佳成功，该项目必须以健全的生态信息为基础，并充分融入当地文化和机构

特性	例子
1. 时空战略	生态恢复项目部署战略，充分利用稀缺资源和已知的有效生态恢复杠杆点。项目优先考虑：（1）更紧迫的目标或加速实现其他目标，（2）具有更大恢复潜力的领域。
2. 物种灭绝的风险降低	当项目有助于恢复受威胁的种群、物种或生态系统时，项目的价值会增加。这项工作以许多国家的正式清单为指导，这些清单通常与国际自然保护联盟（IUCN）的红色清单相联系或一致。
3. 威胁普遍存在	解决大规模或普遍威胁的项目可能会影响项目恢复场地以外的区域。例如，实现大量碳固存，减少水域污染或控制有害动植物，可改善当地成果，并有助于改善其他地

---

	方的成果。
4. 安全制度保障	大型项目需要长期的安全保障，以确保投资资源带来的效益将随着时间的推移而持续。通过合法的土地使用权安排对场地进行正式保护是理想的，这也确保了场地的主要公共和私人利益相关机构在地方、区域或国家各级作出长期的政治和经济承诺。

表 6. 各行业、政府和社区部门或环境的恢复性活动的绩效衡量示例。注：“星级”分数是指原则 5 中描述的 5 星系统。除非另有说明，否则本表中的星级分数假定为所有 6 个属性分数的平均值。

部门或背景	恢复活动和推荐的性能标准
保护区管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>•具有完全恢复潜力的自然生态系统：生态恢复到五星级水平。</li> <li>•有可能仅部分恢复的原生生态系统：恢复到理想的 4 星水平，但至少达到 3 星水平。</li> <li>•单一物种恢复项目或活动是大型项目的重要组成部分，应追求最高标准。</li> </ul>
城市保护区和绿地	<ul style="list-style-type: none"> <li>•具有某些属性完全恢复潜力的原生生态系统：尽可能将生态恢复到 5 星级，或至少恢复到 4 星级水平。</li> <li>•本地生态系统或与本地生态系统相邻的区域，可能仅部分恢复：生态恢复到最高的理想水平，但生物属性最低为三星级。</li> <li>•改造后的公园和花园：恢复到生态系统功能属性的最低二星级或至少可持续利用，对本地生态系统没有有害影响，并且如果可能的话，为本地生态系统提供额外的生态效益。</li> </ul>
森林	<ul style="list-style-type: none"> <li>•用于生物多样性保护的本地森林恢复：生态恢复到五星级。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>•本地林业：生态恢复到 4-5 星级（在伐木周期之间）。</li> <li>•在与本地生态系统相邻地区重新造林：生态恢复到可行的最高期望水平，但至少是 3 星水平。</li> <li>•主要为生态系统服务重新造林：生态系统功能属性恢复到最低 2-3 星级水平，或至少可持续利用（伐木周期之间），对本地生态系统没有有害影响，最好增加生态效益。</li> </ul>
渔业	<ul style="list-style-type: none"> <li>•具有完全恢复潜力的本地生态系统：生态恢复到 5 星级水平。</li> <li>•有可能仅部分恢复的本地生态系统：生态恢复到最高理想水平，但至少达到 3 星级。</li> <li>•邻近本地生态系统的活动：生态系统功能属性恢复到最低 2 星级水平，或至少可持续利用，对邻近自然生态系统没有有害影响，最好增加生态效益。</li> </ul>
生态走廊	<ul style="list-style-type: none"> <li>•具有完全恢复潜力的本地生态系统：生态恢复到 5 星级。</li> <li>•本地生态系统或与本地生态系统相邻的区域，只有部分恢复的可能性：生态恢复到可行的最高期望水平，但至少对于生物属性至少达到 3 星级水平。</li> <li>•在生态走廊（非本地生态系统）内：恢复到生态系统功能属性的最低 2 星级，或至少可持续利用而没有有害影响，</li> </ul>

	最好为本地生态系统增加生态效益。
农业和生产园艺	<ul style="list-style-type: none"> <li>•具有完全恢复潜力的本地生态系统：理想的生态恢复到五星级。</li> <li>•恢复与本地生态系统相邻的农业生产力/生态农业：生态恢复到可行的最高期望水平，但至少是3星级。</li> <li>•具有仅部分恢复潜力的本地生态系统：生态恢复到可行的最高期望水平，但至少对于生物属性至少为2-3星级。</li> <li>•恢复生态系统服务的农业能力：将生态系统功能属性或至少可持续利用的最低2星级恢复至对本地生态系统没有有害影响，最好具有增加的生态效益。</li> </ul>
采矿、采石和油气钻探场地	<ul style="list-style-type: none"> <li>•当完整或接近完整的本地生态系统受到影响时（本地生态系统有可能完全恢复）：生态恢复到5星级。</li> <li>•当退化的本地生态系统受到影响时（原生态系统只能部分恢复）：生态恢复到可行的最高期望水平，即3星级或更高级别。</li> <li>•影响已经转换（重新分配）的景观单元，这些景观单元具有较低的本地恢复潜力：恢复至1-2星级的生态系统功能属性或至少可持续利用，对本地生态系统没有任何有害影响，最好具有额外的生态效益。</li> </ul>

表 7. 植物所处的物种和栖息地特征可以有助于判断种子的来源 (由 Havens et al. 2015 修改)。

生态保育/本地种子来源	物种特征	宽松标准/远距离的种子来源
分布狭窄, 包括土壤地方性	←————→	广泛分布
不确定的分类 (潜在的隐秘物种)	←————→	稳定的分类 (经过充分研究)
短距离基因流	←————→	广泛的远距离基因流动
	栖息地特征	
历史脆弱性表征	←————→	近期脆弱性表征
高质量	←————→	高度退化
古老或稳定的景观	←————→	年轻或动态的景观

表 8. 种子来源的类型，以及种子的描述、收益、风险和最适合的用途。转载自 Havens et al.(2015)，修改自 Breed et al.(2013)。

种子来源类型	定义	好处	风险	最佳使用时间
严格的当地起源	仅使用来自恢复场地或正常基因流动距离内的种群的种子	<ul style="list-style-type: none"> <li>•适应不良的风险很小（至少短期）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•遗传基础狭窄</li> <li>•可能近亲繁殖</li> <li>•基因漂移</li> <li>•缺乏适应能力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•干扰很小</li> <li>•恢复时或附近有大量本地种群</li> <li>•预测分布变化较低</li> </ul>
非严格的本地起源	混合来自地理位置接近的种群的种子，重点关注种子来源和受体场地的匹配环境	<ul style="list-style-type: none"> <li>•适应不良的风险很小（至少短期）</li> <li>•避免近亲繁殖</li> <li>•增加适应性潜力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•遗传基础较窄</li> <li>•长期缺乏适应能力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•干扰最小</li> <li>••预测的分布变化很低</li> </ul>
复合起源	混合来自近距离和中距离	<ul style="list-style-type: none"> <li>•避免近亲繁殖</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•不适应</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•干扰很小</li> </ul>



	(或环境匹配)群体的种子 以模拟长距离基因流	•增加适应性潜力	•远交衰退	•分散化程度很高 •预测分布变化适中
混合起源	在整个物种范围内混合来自不同距离的许多种群的种子	•最高的适应性潜力	•最大程度的适应不良风险 •远交衰退 •可能是侵入性基因型	•干扰很大 •预测分布变化很大
预测起源	使用基于模型和实验的适应预测条件的基因型(例如, 2050年气候预测)	•如果预测是正确的, 那么应对气候变化的条件是最好的	•预测可能是错误的 •需要大量研究(初始成本高), 尽管工具可以提供帮助	•干扰程度从低至中等 •预测的分布变化很高并且很容易理解

---

## 专栏 1. 传统生态知识及其与生态恢复的相关性

**传统生态知识(TEK)**是指代代相传的知识和实践,这些知识和实践以强烈的文化积淀、对变化的敏感性和包括互惠在内的价值观为依据的。这些过程在生态系统的自然变化范围内起作用。千百年来,土著居民一直采用这种做法,以提高粮食、医药原料和传统礼仪用品相关的生态系统的生产力。**Tek** 涉及互惠、共享和约束机制,这是由精神信仰所维系的,这些信仰将植物和动物视为人类的伙伴。**TEK** 通过创建精致的景观镶嵌体来增加生物多样性并改善生态弹性。**TEK** 的观测是定性和长期的。观察者通常是从事狩猎、捕鱼和采集等谋生活动的人。他们的生存与土地的健康息息相关。最重要的是,**TEK** 与一种文化精神和社会结构密不可分。在土著居民的世界观中,人类的身体、心灵和精神都需要从生态学的角度来理解事物。因此,**TEK** 提供了重要的生态见解,同时也提供了有用的知识网络,其中包含有助于恢复生态系统的价值观。

**地方生态知识(LEK)**是指人类为创造更多的土地和更健康的生态系统、增加生物多样性和提高生态系统弹力而应用的关于土地及其过程的地方性知识。在原著居民不存在的地方,在缺乏本土

---

实践知识的地方，LEK 却很普遍。例如，LEK 在欧洲广泛存在，包括工业化前时代的农业，水资源管理和自给自足的狩猎实践。在某些地方，LEK 和 TEK 可以一起发挥作用，尽管它们可能来自不同的文化范式。

通过将 TEK 或 LEK 纳入到生态恢复中，从业人员可以快速识别和评估物种，同时评估物种的适应性，演替过程和不同阶段，以及与关键物种之间的相互作用。此外，TEK 和 LEK 可以通过既定的火灾，轮牧和水管理等文化习俗，来帮助评估本地参考生态系统并促进生态恢复。通过将西方科学，TEK 和 LEK 结合起来共同创建生态恢复战略，可以为修复退化的生态系统提供一种特别有效的方法。

## **专栏2. 参考生态系统和气候变化**

在过去几千年，几百年和几十年的不同阶段，气候的持续变化是我们地球的一个重要特征。虽然这种环境变化的背景是不变的，但人为引发的气候变化已经加剧了全球生态系统的变化速度。虽然这些变化通常被认为是不受欢迎的，需要社会采取紧急行动，但在可预见的未来，预期的变化可能是不可逆转的。这意味着，

---

在努力优化生态恢复和减缓气候变化的同时，还需要认识到气候变化是许多物种适应或灭绝的当前环境背景条件的一部分。

气候变化需要通过对物种范围和生态系统的相关预期影响的持续研究来确定目标。虽然存在不确定性，但我们知道，气候变化下的物种更替和群落重组将导致特定地理区域（例如，许多海洋，沿海，高山和寒温带群落）的整个生态系统发生重大的变化。请注意，这种变化可能不会发生在一些古老的、气候缓冲的生态系统中。在其他生态系统中，某些物种的“气候包络”将在空间上发生变化。有些物种将消失，而另一些物种则可能由于可塑性或适应环境条件变化或迁移到新地区的能力而存活；同时，还会有新的物种加入。

土地退化，特别是土地离散化，加剧了气候变化对许多物种和生态群落的影响。由于栖息地分散化，某些物种的迁移可能受到严重限制，因此，可能需要进行管理干预，以优化适应的潜力。最佳的选择是保留和**增加**现有本地花卉和动物物种的遗传多样性种群，并确保这些种群以适当的方式增加联系和优化**基因流**，以增强对变化条件的适应性（见第四节第三部分）。

---

### 专栏3. 环境变化无法克服要怎么办？

项目负责人可以采用替代的本地生态系统作为受重大的和无法克服的环境变化影响地区的目标。在变化的条件下，预计会出现替代生态系统。转换的例子包括：(1)水文已不可逆转地从盐水向淡水转变（例如，由于河流流量的变化）、淡水向盐水转变（例如，由于海平面上升），或从中度干旱向干旱转变（例如，由于水位下降，或河流和湖泊完全干涸）；(2)暴雨产生了断断续续的溪流；(3)土壤中存在充足的营养物质，不经过极大的努力或不投入足够的资源，土壤中的营养物质就无法清除。当传统的火灾制度或其他生态系统功能被不可逆转地改变时，也可以选择替代参考生态系统。

确定替代参考生态系统在何时是最合适的，这取决于当地条件和不可逆转的情况，并需要熟练的生态判断（图3）。例如，在城市和高度改良的农业地区，可能有一个以上的替代参考生态系统是合适的，因此必须仔细选择，以符合当地的社会生态情况。此外，生态站点的出现可能不是生态恢复潜力的可靠指标。在许多情况下，生态恢复被认为是不可能实现的，但是在采用有效生态治理方法之后，最后实现了生态恢复。当生态恢复的可能性存在不确定，

---

但是非常需要生态恢复时，标准的方法是在一小块区域进行试验干预，保证时间足够长，以确定生态治理效果。试验干预的设计需要考虑科学家和实践者之间的合作，并且所设计的试验有助于为选择合适的生态系统提供信息，以用作参考模型。

#### **专栏4. 基准的重要性**

在生态恢复中，“基准”这个词有两种不同的用法。在生态恢复标准中，基准是指在生态恢复过程开始时恢复场地的状况。在其他情况下，基准描述了退化前的生态系统（例如，《生物多样性公约》所使用的）。第二种用法也适用于转移（或下降）基准的概念，该基准描述了一些生态系统可能比先前认为的退化程度更严重，或者当前的观察者认为生态系统没有退化，而先前的观察者则认为退化的。在海洋生态系统和渔业中，转移基准的想法得到了特别深入的研究。在本标准的背景下，在使用参考场地开发生态恢复参考模型时，必须考虑基准转移的概念，因为参考场地可能被视为未退化或退化程度最低，但可能缺少重要物种或功能。如果不考虑参考场地数量可能会减少，则可能会导致参考模型不准确。

此外，基准问题对于强制恢复项目很重要，因为生态恢复相关

---

机构可能会根据对非退化生态系统构成的错误观念来制定较低的标准。这对生物多样性补偿项目很重要，如果设计不当，可能会导致生物多样性的持续退化和丧失。此外，已经证明，即使可以实现完全恢复生态系统，生物多样性和生态系统功能的净损失可能会持续很长时间，直到可以实现完全恢复。因此，无论是强制性的还是自愿性的生态恢复项目，都应该努力做得比看上去更有必要，以确保生物多样性和生态系统服务的总体净收益。

#### **专栏 5. 生态项目规划过程中常用术语的层次结构\***

**范围**指的是项目关注的广阔的地理位置或主题重点。

**愿景**指的是试图通过生态恢复项目达到的理想状态的总体概括。一个好的愿景是相对于普遍的、有远见的（鼓舞人心的）和简单的。

生态恢复的**目标**确定了由参考模型所确定的需要进行生态恢复的本地生态系统，以及确定了生态恢复项目预期的社会结果或约束。

**最终目标**是对所期望的中长期生态状况或社会状况的正式说明，包括所寻求的生态恢复水平。最终目标必须清晰地与具体的目

---

标联系起来，而且，这些具体目标必须是可衡量的、有时间限制的和具体的。

**具体目标**是对生态恢复过程中的中期结果的正式说明。具体目标必须与明确目标和最终目标明确地结合起来，并且，具体目标应该是可以衡量的、有时间限制的和具体的。

**指标**指的是具体的和可量化的衡量标准，这些标准与长期目标和短期目标直接关联。生态指标是以参考模型为指导，衡量生态系统属性在物理(如，浊度)、化学(例如，营养成分)或生物(例如，物种丰度)方面的变化。社会生态或文化指标衡量人类福祉的变化，如参与传统习俗，治理，语言和教育。

\*此处使用的术语，经过一些调整，是基于保护实践的开放标准（保护措施伙伴关系 2013）的术语。

## **专栏 6. 监测和适应性管理**

监测生态恢复项目对于以下每个目标都至关重要：

**创造社会学习机会。**参与式生态监测使利益相关方参与收集和分析从生态恢复活动中收集的数据。这种合作伙伴的关系可以



---

改善协作决策，并加强利益相关者的能力和赋权。成功的参与式生态监测系统及时解决了利益相关者的问题和需求。生态监测方法是集体商定的结果，这些方法易于使用，并鼓励社会学习，同时建立学习网络。因此，当参与性监测来自与利益相关方有关的信息来源，并来自可靠的评估方法，而不是从传统的科学方法中获得信息时，参与性生态监测往往更容易成功。

**回答具体的问题。**生态恢复监测可用于回答具体的问题，以提高我们对生态恢复的理解，并确保做出明智的恢复决策。对于回答具体的问题，数据的收集和有效的实验设计都很重要。一种方法是将恢复场地与预先选择的参考场地进行比较。另一种方法是在生态恢复治理之前和之后，同时对参考场地和恢复场地进行生态监测（前期监测-后期监测-控制-影响或 BACI 实验设计）。该实验设计可以确定生态恢复治理是否是有效的，或者生态恢复治理是否产生影响（因果关系）。当在合理的实验设计下收集数据时，这种正式的生态恢复监测可以解决有关最新生态恢复治理的问题，或解决生物体重返恢复场地，或生态恢复过程相关的问题。除此之外，还需要严格记录特定的生态恢复治理情况和可能影响恢复结果的其他条件。在这种情况下，标准做法是让研究的发起者在科学家，

---

实践者和当地社区之间建立合作伙伴关系，以确保项目获得合适的科学和实践建议和帮助，以优化其成功和相关性。

**应用适应性管理。**这种“边干边学”的形式是一种改进生态修复实践的系统方法。适应性管理不属于“试错”方法。对适应性管理进行合理的应用，可以通过以下方式提高我们对生态恢复的理解：（1）探索满足生态恢复目标的替代方法；（2）根据当前的知识状况预测替代方案的结果；（3）实施一种或多个替代方案；（4）监测以了解生态恢复行动的影响；（5）利用这些结果更新知识和调整生态恢复实践。适应性管理可以而且应该成为实施任何生态恢复项目的标准方法。全面实施适应性管理方法需要及时监测和评估结果，以及为正在进行的生态恢复项目提供经费。

确定生态恢复措施是否有效或确定生态恢复措施是否需要修正就是对生态恢复站点的定期检查，并记录物种反应的观察结果（例如，生长速度，开花，再生，以及杂草，害虫和疾病的消失或存在）。生物多样性的正式抽样可涉及一系列土壤，水，植被和动物取样技术。生态监测方案的设计应在恢复项目的规划阶段进行，以确保项目的最终目标，具体目标和选定的指标是可以衡量的，同时，确保

---

监测布局和时间进度安排是一致的，并且确保如果目标未能实现，有明确的触发因子以便做出应对。在需要和适当的时候，可以设计正式的生态恢复实验，这样可以观察样本大小，实验的可重复性，以及使用未处理的对照实验来解释结果。

**向利益相关方提供证据。**时间序列摄影为利益相关方和监管者提供了使目标得到满足的可视化的证据（即，在相同的位置，获取生态恢复治理之前和生态恢复治理之后的拍摄图像，以显示生态恢复随时间的变化）。在小型的生态恢复场地，可以在地面上建立固定的摄影点，而对于较大的生态恢复场地，遥感图像可能更有效。由于此类图像可以显示生态恢复过程中发生的变化，因此通常需要资金充足的项目（特别是受监管控制的项目）对生态恢复场地进行正式的定量监测。定量监测是建立在生态恢复监测计划基础上的，计划内容包括监测设计，时间框架，责任人，计划分析以及与监管机构，资助机构或其他利益相关方的反应和沟通框架。

### **专栏 7-假设的规划实例，包括综合的生态和社会目标**

**范围：**两片 5 公顷的加里橡树林地，由加拿大不列颠哥伦比亚省南部海湾群岛的开阔草地和湖泊连接。

---

**现状：**放牧和土地离散化导致两片加里橡树林地遗迹中林地鸟类的多样性下降。这两片林地由过度放牧的草地连接，含有 30% 的原生植物和 50% 的非原生草本和木本植物物种。剩下的 20% 是裸露的草地。湖中的大肠杆菌来自放牧土壤中的沥滤液。雨后浮水植物增加，有时会导致鱼类死亡。

**愿景：**岛屿居民所关心和享有的健康生态系统的回归，从而恢复社会凝聚力和可持续的生态系统管理。

**(生态) 明确目标：**已经修复的加里橡树林地（树木繁茂）和草地（半开放）种上了成熟的橡树，树下面铺满了春天的野花。当地的土著社区保持草地远离灌木丛，以种植卡马斯。这种蓝色野花的球茎是重要的食物来源。开阔的水域是虹鳟鱼，小嘴鲈鱼和南瓜籽太阳鱼的栖息地。湿地是从湖泊到河岸的过渡。河獭在黄色的睡莲中游弋，红翅黑鸟平衡驻足在香蒲之上

**最终目标** *（生态的和社会的）：*

(a) 在 5 年内将水道中的活性沉降物和大肠杆菌数量减少到卫生署游泳的水质标准；

(b) 减少水体富营养化，成年湖鳟鱼种群数量超过每单位捕

---

捞量 20 条；5 年内实现可持续的捕捞活动；

(c) 在 5 年内，周边地区志愿者占生态恢复管理项目总志愿者的 80%

(d) 在生态恢复项目开始之前，两种鸟类消失了 10 年，但是，在最近 10 年之内，这两种鸟返回生态恢复场地开始繁衍；

(e) 恢复社区的社会凝聚力，重点是与 10 年之内的基准水平相比，改善地方归属感；

(f) 在 15 年内，使得参考场地内有加里橡树林地以及 >90% 的本地植物物种

(g) 在 15 年内残余物之间的草本基质在 15 年内以 80% 的天然植物物种为特征

(g) 在 15 年内，残余物之间的草本基质恢复了 80% 的加里橡树林地的本地植物特征

通过**具体指标**衡量的具体目标（生态的和社会的）：

(a) 在 1 年内停止放牧牲畜；

(b) 非本地植物的丰度在 2 年内减少到 <25%；

---

(c) 在 2 年内，至少有 25 名志愿者加入生态管理计划，其中周边志愿者占总会员人数的 50%；

在 5 年内，

(d) 在 5 年内，两个或两个以上的本地木本物种在两片林地残留物中的重新采集率增加 10%；

(e) 3 年内，本地木本植物密度增加到至少 100 株/公顷乔木和 100 株/公顷灌木；

(f) 在 5 年内，草地内的本地物种丰富度增加到至少 6 种草类植物/10 m<sup>2</sup> 和 10 种非禾本草本植物/10 m<sup>2</sup>；

(g) 在 5 年，当地学生的实地考察量增加 50%。

\*请注意，这些数字都是假设的例子，而不是指导指南。

### **专栏 8. 减少的影响**

在全球环境退化的背景下，迫切需要找到办法减少社会对生态系统产品的开采、生产、销售、消费和处置方式所产生的不利环境影响的方法。在生产方面，世界上许多区域日益加强的监管正在产生生态知识更为丰富的农业、林业、渔业和采矿方法的案例。这

---

些活动有可能减少污染和污染的负面影响，破坏完整的生态系统，进一步清除本地生态系统，过度捕捞，以及入侵物种的扩散。在消费方面，监管和不断增长的社会期望相结合，不断有改变制造业和社会行为的案例产生，特别是在城市地区，世界上半以上的人口现在人均的消费速度越来越快。尽管有些时候解决方案避实就虚，尽量的显示出社会产出环境友好，但还是要将真正旨在减缓人类影响（进而提高生态系统恢复潜力）的措施结合到生态恢复中去，并且成为生态恢复大图景的一部分。

### 专栏 9. 恢复

恢复是生态修复活动的一个通用术语，旨在恢复生态系统的功能，而不是指定的本地参考生态系统的生物多样性。恢复活动非常适合广泛的土地和水资源管理部门，在这些部门中，由于相互竞争和合理的人类需要，不可能或不希望大量恢复当地物种。当复垦被用于开采土地或后工业用地时，有时被称为**开垦**。利用五星系统和生态恢复轮可以跟踪许多修复项目的生态恢复进展情况，在这两种系统中可以显示一个或多个生态系统属性的改善情况。在“持续改进”的概念下（见原则 5），实现生态条件改善的恢复项目可

---

以向生态恢复过渡。例如，如果用本地和非本地植物物种以及本地微生物的混合物对退化的牧场或矿区后的植被进行重新种植，从而改善了土壤功能，则可以制定生态恢复计划，包括收获非本地物种并用本地物种取代这些非本地物种，还包括修复该系统存在的其他退化方面。在某些土壤已经被非天然物种稳定的情况下，可以添加（或帮助自发恢复）本地物种，并且去除非本地物种以最终帮助恢复本地生态系统。

### **专栏 10. 全球恢复倡议**

2030 年联合国（UN）可持续发展目标（SDG）呼吁恢复海洋和沿海生态系统（目标 14），以及恢复已经退化的森林和其他生态系统（目标 15）。为了支持广泛的可持续发展目标和下面的许多举措，联合国大会于 2019 年 3 月 1 日宣布了 2021-2030 生态系统恢复十年。联合国环境规划署（环境署），粮食及农业组织（粮农组织），全球景观论坛（GLF）和国际自然保护联盟（IUCN）等机构预计将领导生态系统恢复十年的执行方案和知识交流方案。

“生物多样性公约”（CBD）的目标是到 2020 年恢复 15% 的退化生态系统，以减轻气候变化和防治荒漠化的影响（Aichi 生物多



---

样性目标 15) ，并将生态恢复视为提供基本生态系统服务的关键 ( Aichi 生物多样性目标 14) 。“生物多样性公约”通过了“生态系统恢复短期行动计划” (2016 年生物多样性公约) ，随着目前的生物多样性目标到期，并针对 2020 年后生物多样性框架进行修订，预计恢复工作将发挥更大的作用。“生物多样性公约” (2018 年) 还鼓励缔约方进一步加强的努力“.....确定已经或将要受气候变化影响的生物多样性区域，生态系统和组成部分.....以促进生态系统恢复和恢复后期的可持续管理。”

《联合国荒漠化防治公约》 (UNCCD) 作为《荒漠化公约》 2018-2030 年战略框架的一部分，促进了土地恢复和重建，特别是实现土地退化终结 (LDN; Orr et al. 2017)。其中，“支持生态系统功能和服务，以及加强粮食安全所需的土地资源数量和质量，在特定的时间和空间尺度和生态系统内保持稳定或增加” (UNCCD 2017)。在气候变化条件下，当前的干旱地区和未来干旱地区都将非常脆弱，三项里约公约 (CBD, UNCCD, 联合国气候变化框架公约 [UNFCCC]) 之间需要加强合作，共同探讨在可持续土地管理的支持下如何避免、减少和扭转土地退化，同时考虑到每项公约的特殊任务 (Akhtar-Schuster et al. 2017; Chasek et al. 2019)。

---

生物多样性和生态系统服务政府间科学政策平台(IPBES 2018) 促进“土地恢复”，开展的活动包括恢复农业生产力，采用农业最佳实践方法和其他可持续利用活动。IPBES (2019) 全球生物多样性和生态系统服务评估 (<https://www.ipbes.net/global-assessment-biodiversity-ecosystem-services>) 报告称，目前约有 100 万种动植物物种面临灭绝的威胁，其中许多物种在几十年内就全部灭绝，这比人类历史上任何时候都要多。生物多样性的丧失不仅是一个环境问题，也是一个发展、经济、安全、社会和道德问题。生态恢复和基于陆地的气候变化缓解行动被视为避免大规模灭绝和由此导致生态系统服务丧失所需变革的一个关键要素。

最大规模和最多样化的生态恢复倡议是由德国政府和国际自然保护联盟 (IUCN) 发起的波恩挑战，后来得到了“纽约森林宣言” (目标 5) 的认可和推广。这一全球努力旨在到 2020 年使 1.5 亿公顷被砍伐和退化的土地得到恢复，到 2030 年使 3.5 亿公顷土地得到恢复。波恩挑战促使 58 个国家政府和土地管理者作出以下重要承诺：针对总面积超过 1.7 亿公顷生态恢复区域，利用森林景观恢复方法评估生态恢复机会和实施生态恢复工作。

---

为了支持波恩挑战，一些区域的倡导者号召各个国家汇聚一堂，共同分享有关 FLR 的承诺，知识，方法和能力。在拉丁美洲，提出了 20x20 倡议，该倡议旨在到 2020 年恢复 2000 万公顷的退化土地。同样，非洲森林景观恢复倡议（AFR100）是一项由国家主导的计划，旨在到 2030 年恢复 1 亿公顷退化土地。20x20 和 AFR100 倡议都超过了他们的承诺目标。支持波恩挑战的 17 个国家，通过 20x20 倡议，承诺了恢复 5000 万公顷，同时，支持 AFR100 倡议的 28 个国家迄今已承诺投入 1.13 亿公顷土地。

作为国家和地方各级 REDD +（减少毁林和森林退化的排放）项目的一部分，作为“联合国气候变化框架公约”的国家自主贡献（NDCs）的一部分，由全球景观论坛提出或促进了其他生态恢复活动，这些生态恢复活动遍布在全世界范围内各个地方、地区和国家。

### **专栏 11：FLR 原则**

森林和景观恢复全球伙伴关系的成员重新阐述并强化了一套精简的、需要长期坚持的 FLR 原则 (Besseau et al. 2018)。

**关注景观-FLR** 发生在整个景观内部，而不是单个生态恢复场

---

地，代表了不同土地保有权和治理制度下相互作用的土地利用和管理实践。正是在这种规模下，才能平衡生态、社会和经济之间的相互关系。

**吸引利益相关方并支持参与式治理-FLR** 积极参与不同规模的利益相关者，包括弱势群体，参与有关土地利用，恢复目标和战略，实施方法，利益分享，监测和审查过程的规划和决策。

**恢复多种功能以实现多种效益-FLR** 干预旨在恢复整个景观中的多种生态，社会和经济功能，并生成一系列有益于多个利益相关方群体的生态系统产品和服务。

**维护和加强景观中的自然生态系统-FLR** 不会导致天然林或其他生态系统的转变或破坏。它加强了森林和其他生态系统的保护，恢复和可持续管理。

**使用各种方法为当地环境量身定制-FLR** 采用多种方法，适应当地的社会，文化，经济和生态价值，需求和景观历史。它利用最新的科学和最佳实践以及传统和本土知识，并在当地能力和现有或新的治理结构的背景下应用这些信息。

**为长期生态恢复弹性进行适应性管理-FLR** 旨在提高景观及其

---

利益相关方的长期生态恢复弹性。恢复方法应加强物种和遗传多样性，并随着时间的推移加以调整，以反映气候和其他环境条件、知识、能力、利益相关方的需要和社会价值观的变化。随着生态恢复的进展，来自监测活动、研究和利益相关方指导的信息应纳入管理计划中。

---

## 图例说明

图 1. 生态恢复的八项原则。每项原则都在本文中得到充分说明

图 2. 社会福利轮状示例图，以帮助跟踪生态恢复项目实现其社会发展目标的程度。本图和表 1 可调整制定，以适应生态恢复项目的具体目标和总体目标。与项目参考模型相比，补充了用于评估生态恢复进度的生态恢复轮，并在原则 5 中进行了介绍。

图 3. 协助恢复项目选择合适的本地参考生态系统的决策树

图 4. 与参考模型相比，生态恢复轮是反映生态系统属性恢复过程的工具。在本例中，第一个恢复轮表示在项目的基准库存阶段评估的每个属性的条件。第二个恢复轮描绘了一个有 10 年历史的生态恢复项目，其中超过一半的属性已经达到了四星状态。熟悉项目总体目标，具体目标，特定恢复场地指标和生态恢复水平的生态恢复实践者，可以在正式或非正式评估之后，继续为每个子属性进行细分。附图 2 中的图表及其附带的空白模板表格，可以添加或修改子属性标签，以最好地描述特定的项目。

图 5. 恢复连续性统一体包括一系列活动和干预措施，有助于

---

改善环境条件，扭转生态系统退化和景观分散化。恢复连续性统一体突出了这些不同活动之间的相互联系，并认识到为恢复性干预而定位的地区的特征决定了最适合的不同景观单元的活动。恢复连续性统一体从左至右，生态健康和生物多样性结果以及生态系统服务质量和数量都在增加。请注意，生态恢复可以发生在城市，农业和工业景观中。

图 6. 植被恢复的起源策略（转载自 Prober et al. 2015）。星状符号表示重新植被的地点，圆圈符号代表用作种质资源的本地种群。圆圈符号大小表示在植被恢复点的每个种群中包含的种质的相对数量。请注意，表 8 没有考虑气候调整下的起源。

图 A1. 如附录 2 所示。该图没有图例。

图1.





图2.

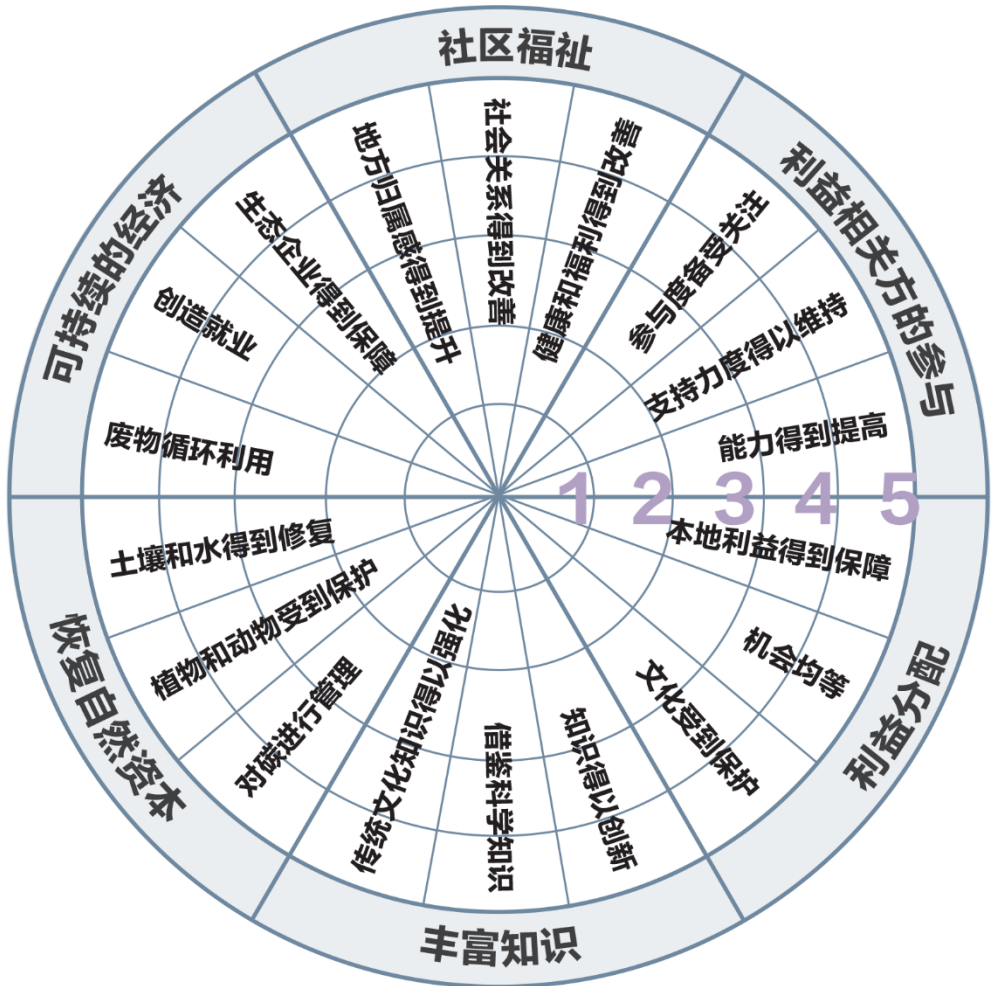


图3.

### 参考生态系统的决策树

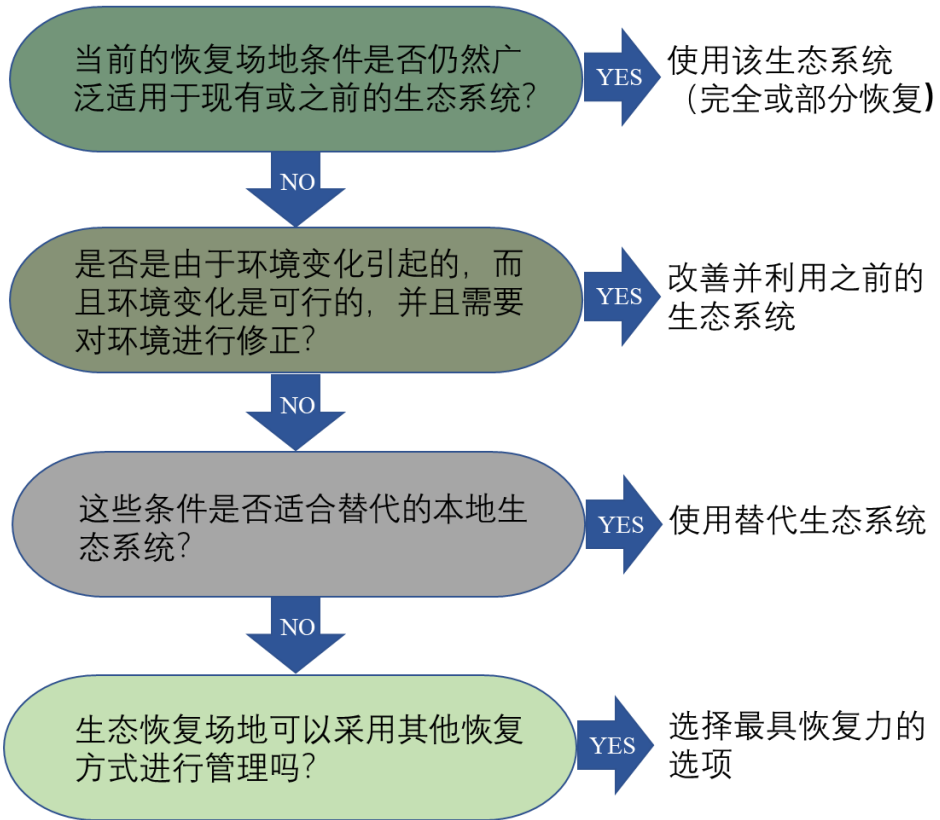
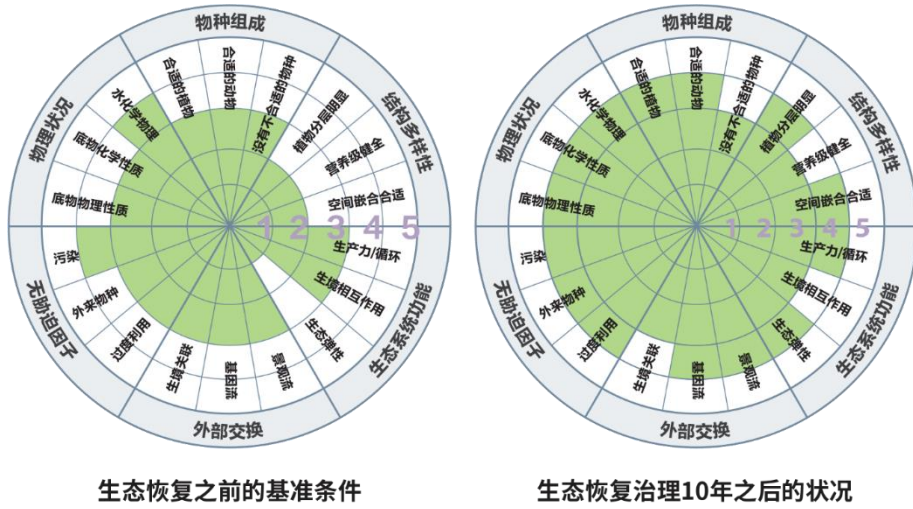


图4.



生态恢复之前的基准条件

生态恢复治理10年之后的状况

图5.

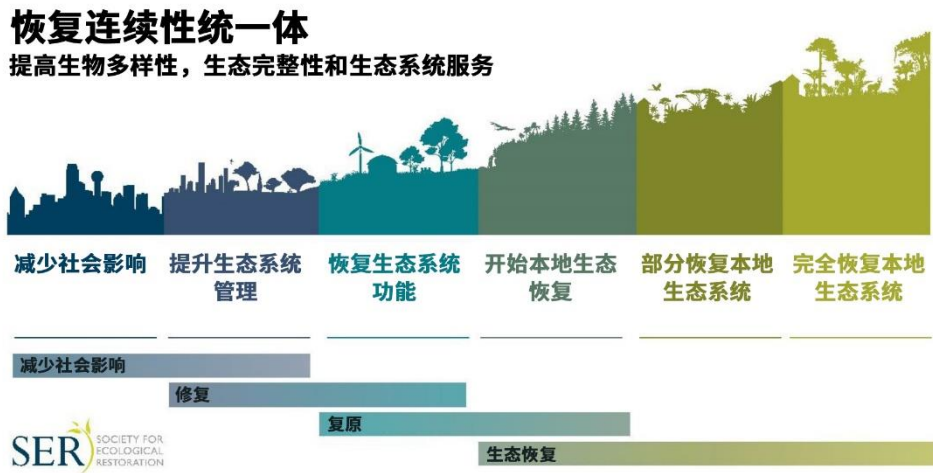
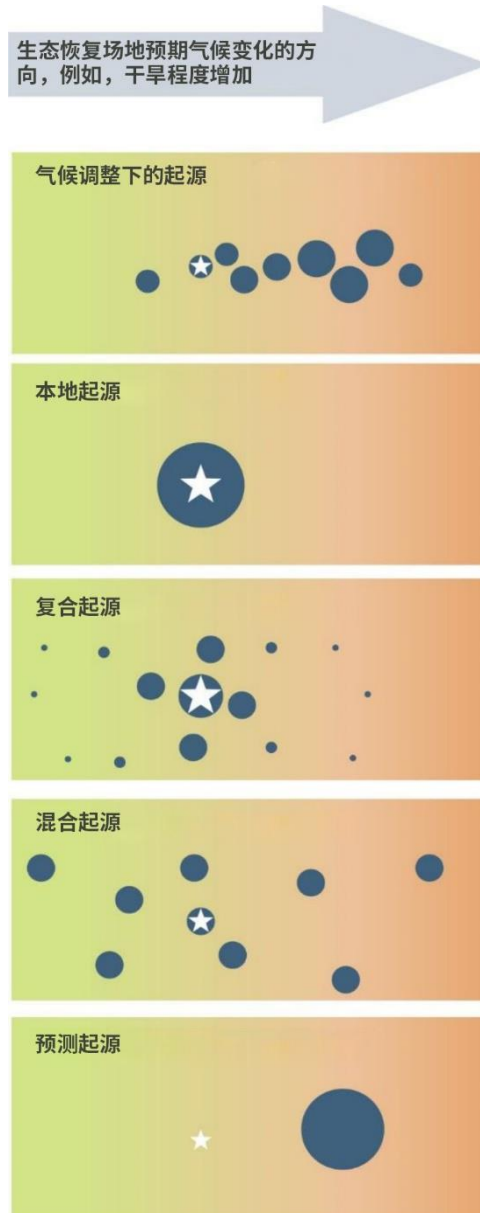
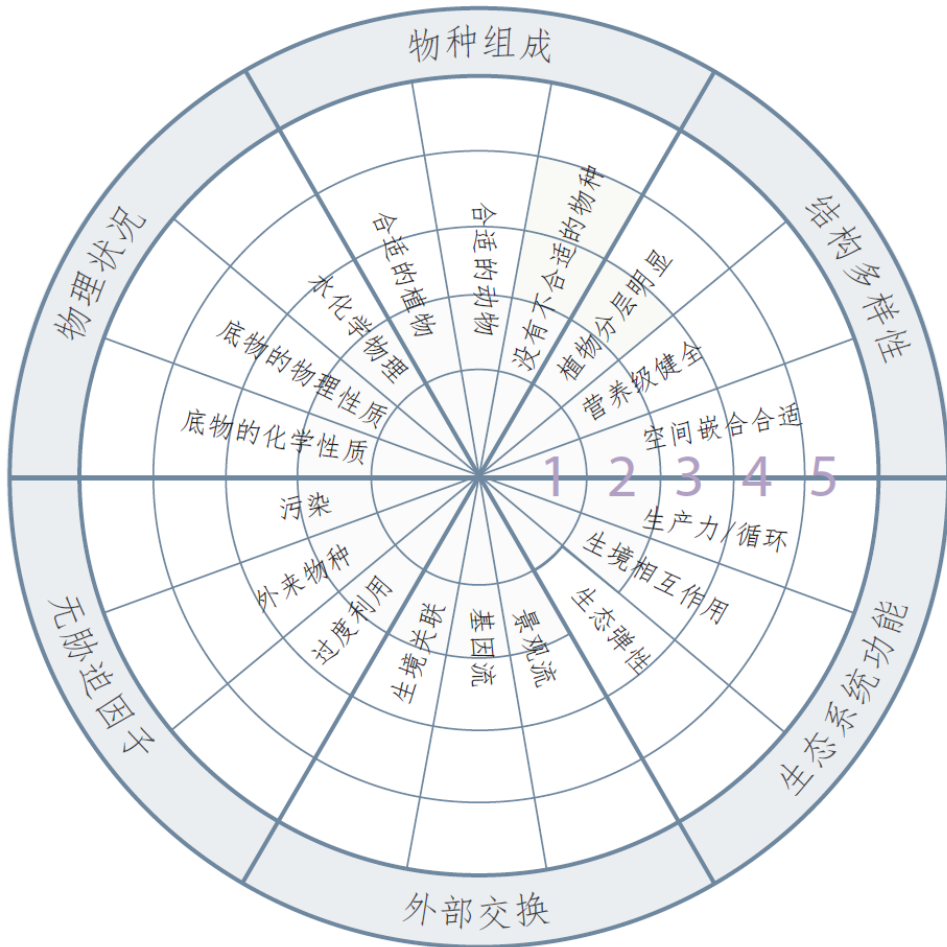


图6.



图A1.



## 译者简介

刘俊国 博士，南方科技大学讲席教授，国家杰出青年科学基金获得者，国家“万人计划”科技创新领军人才。兼任北京生态修复学会理事长。主要研究方向为水资源和生态修复。已发表学术论文 150 余篇，包括在《自然》、《科学》、《美国科学院院报》、《自然-气候变化》、《自然-可持续性》、《自然-通讯》等国际 SCI 期刊发表论文 130 余篇。刘俊国教授在中国、奥地利、荷兰、瑞士、德国、英国和美国等地有丰富的工作经历。2017 年荣获国际生态修复学会“科技传播奖”。该奖项旨在表彰在促进生态修复科学进步、增强公众生态修复意识、加强生态修复合作、提高生态修复实践水平等方面做出突出贡献的环保人士。刘俊国教授是 2016~2017 年该奖项全球唯一获奖人，也是首位荣获此奖的华人科学家。

邮箱: [junguo.liu@gmail.com](mailto:junguo.liu@gmail.com)