

DOI: 10.5846/stxb201502270394

张绍良, 杨永均, 侯湖平. 新型生态系统理论及其争议综述. 生态学报, 2016, 36(17): - .

Zhang S L, Yang Y J, Hou H P. Overview of novel ecosystems theory and its critiques. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(17): - .

新型生态系统理论及其争议综述

张绍良^{1,2}, 杨永均¹, 侯湖平^{1,*}

1 中国矿业大学环境与测绘学院, 徐州 221116

2 中国矿业大学, 矿山生态修复教育部工程研究中心, 徐州 221116

摘要:澳大利亚 Richard J Hobbs 教授等近年提出的新型生态系统(Novel Ecosystems)新理论认为,由于人类作用,地球生态系统经历了前所未有的变化,很多生态系统已经越过不可逆转的阈值,不可能恢复到原有状态,形成了新的生态系统,其生物要素、非生物要素和系统功能等都发生了显著改变;人类应该面对现实,必须反思传统生态保护和生态恢复的行为、政策和思维;应该致力新型生态系统的特征、属性和演替规律的研究,在管理、规划、政策、组织和技术等方面的创新。新型生态系统理论引起了很大争议。质疑者认为,由于自然作用力和人类的持续扰动,地球生态系统一直在不断变化,所以一直都是“新”的,根本没必要贴上“新型”标签;该理论基本概念模糊,理论模型不精确,缺乏严密的逻辑推理,还很成熟;该理论无助于生态保护和生态恢复的实践,会扰乱人们的思想,没有实践价值。不过,支持者和质疑者都承认地球上很多生态系统的确遭到严重破坏,已经发生深刻演替,极有必要对这类系统的非线性机制、系统阈值、恢复力、新范式,以及破坏后的所有特征等开展研究,应该理性选择合适的修复方法,理性分析人工干预的程度及其成功的可能性,科学制定行动方案和优选标准。跟踪国际前沿,开展新型生态系统理论有助于丰富我国恢复生态学理论以及创新工程实践。

关键词:恢复生态学;新型生态系统;恢复力;综述

Overview of novel ecosystems theory and its critiques

ZHANG Shaoliang^{1,2}, YANG Yongjun¹, HOU Huping^{1,*}

1 School of Environment Science & Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China

2 Engineering Research Center of Mine Ecological Construction, Ministry of Education, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China

Abstract: Novel ecosystems theory was recently founded by Australian Professor Richard J Hobbs, et al. This theory argued that many historical ecosystems on the Earth had been transformed due to human activities and had crossed an irreversible threshold and could not be restored to the historical condition. Therefore, the biotic and abiotic elements and ecosystem function varied remarkably. This variation was indisputable; hence, human beings should become more responsible, and the past activities, planning, management, and policy of ecological reservation and restoration need to be reconsidered. The characteristics, attributes, and succession tendency of novel ecosystems need to be investigated for implementing innovative management, planning, policy, organization, and technology practices of ecological reservation and restoration. However, these ideas have spurred vigorous debates. Some research scholars contended that there was no need to develop a new label for the transformed ecosystems, because the global ecosystem continues to change at a larger temporal and spatial scale intervened by physical and anthropogenic disturbances; the definition of novel ecosystems was still impaired by logical contradictions and ecological imprecisions; it challenged the current practices of conservation and restoration since it could render decision- and policy-making difficult. Nonetheless, unanimous agreement was obtained on the fact that some seriously damaged ecosystems had profoundly degraded; therefore, investigating the nonlinear mechanisms, thresholds, resilience,

基金项目:国家自然科学基金(51474214)

收稿日期:2015-02-27; 网络出版日期:2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hphou@163.com

new paradigms, and features of damaged ecosystems was necessary. Hence, rational and deliberative restoration options need to be considered, anthropogenic intervention degree and the possibility of success need to be cautiously studied, and scientific optional actions and standards need to be identified.

Key Words: Restoration ecology; Novel ecosystems; Resilience; Literature overview

新型生态系统 (Novel Ecosystems) 的争论正在国际恢复生态学领域激烈地进行着^[1-5], 成为近年来该学术空间的一道亮丽风景线。以澳大利亚 Richard J Hobbs 教授为代表的理论创建者于 2011 年 5 月在加拿大温哥华的 Pender Island 举行了一场专题研讨会, 对新型生态系统的基本概念、理论框架和实践价值等进行了 2 天激烈的争辩, 并于 2013 年将之以《新型生态系统: 正搅动着生态世界新秩序 (Novel Ecosystems: Intervening in the New Ecological World Order)》为书名正式出版。该书在国际恢复生态学领域引起了高度关注。以美国 Carolina Murcia 教授、法国科学家 James Aronson 等为代表的反对派对新型生态系统理论的存在基础和实践价值等进行了猛烈抨击, 而更多的学者^[4-10]则以审慎、质疑或欣赏的眼光发表高见。

作为一种新的理论, 新型生态系统受到批评和质疑, 抑或赞扬和肯定, 均表明了该理论的魅力。尽管该理论才刚刚提出, 但是其科学价值和发展前景已经初露端倪。为此, 本文介绍了新型生态系统的缘起、主要观点以及国际社会的质疑等, 旨在把该理论介绍给国内学者, 以引起大家的关注。

1 新型生态系统理论的缘起

从所谓的长时间、大空间尺度看, 地球甚至行星生态系统一直处在不断变化之中。从无数次植物大爆发到恐龙等物种的灭绝乃至人类的产生等, 地球生态系统经历了无数次的“更新”, 不过这种变化的驱动力主要来自于大自然。然而, 自从人类出现以后, 尤其是工业革命以来, 这种局面发生了变化。人类活动对地球生态系统的扰动已经越来越显著而且普遍^[6, 11-12], 甚至超过了地球自然驱动力。各种尺度的生态系统中, 生物要素、非生物要素、系统功能、系统结构以及生态服务能力等均处在快速的变化之中, 这引起了生态学家们的担忧, 恢复生态学因此而产生。但是如何看待这种变化, 如何适应这种变化, 如何干预这种变化, 以及如何开展有效的生态恢复等等问题, 人类仍处于探索之中, 亟需一种新的理论来解答。

开始人们尝试用“退化生态系统”^[13] (Degraded ecosystem) 或者偏途顶极群落^[14] (Disclimax) 等来描述生态系统的这种变化, 但是这些术语都过于强调人类活动的负面影响, 忽视了其积极作用, 因此难以被广泛接受。因为尽管地球生态系统的确发生了历史巨变, 然而人类依然不断前行, 而且生活越来越好, 这充分证明了生态系统的自我适应能力和人类对它的控制能力。直到 1997 年, Chapin 和 Starfield 首次提出了“新型生态系统”术语^[15], 用以描述阿拉斯加北方高纬度地区的生态系统在人类干扰后产生的新格局, 该术语立刻得到大家的关注。Milton 于 2003 年提出了“新兴生态系统 (Emerging ecosystem)”的概念^[16], 和新型生态系统的涵义类似。最先引起科学家对新型生态系统关注的是人类活动导致的物种 (尤其是植物物种) 新组合。

此后几年很多学者列举了大量实例, 证明了新型生态系统的存在事实^[2, 6-10, 11, 13, 15-16], 一些生态系统已经完全远离原有系统, 造成了其功能、结构或者组成要素的不可逆转。这促使研究者和实践者去反思传统的生态保护和生态修复理念, 引领学者去探寻新的方法 (Novel approaches) 和新的理论以面对这一现实。对不可能恢复到原有状态的生态系统, 如何规划设计其新的系统, 使之既能保持系统的新平衡, 又能保证系统的功能和服务价值? 如何有效管理与保护新型生态系统? 这些现实难题促使了新型生态系统理论的问世。

2 新型生态系统理论的基本观点

2.1 新型生态系统的定义

Hobbs 教授在前人研究的基础上, 于 2006 年正式提出了新型生态系统的定义: 所谓的新型 (Novelty), 是

指新物种的出现以及生态系统功能的全新改变。新型生态系统产生主要是人力作用(Human agency),是人类行为有意或无意造成的结果,但是它一旦形成后,就不需要人类的刻意管理,它具有自我组织和自我维持的能力。

然而,新型生态系统的定义是备受争议的,其中对“新型”的争议最大。例如,生态系统的新型化是连续的还是非连续的?新旧系统是否存在明显的拐点(Breakpoint)?即使有这样的拐点,能观察、测量或者计算出来吗?这些关键问题是否应该在定义中表达出来?等等。不同学者定义也各不相同^[5-7,9,15-19]。

2013年,Hobbs等吸收了大家的观点,重新定义了新型生态系统:由非生物要素、生物要素和社会要素(以及它们间相互作用)构成。由于人类作用,该系统 and 历史上曾经盛行的生态系统不同,它无需人类集约经营管理,即有自组织和显现新品质的趋势^[20]。(A novel ecosystem is a system of abiotic, biotic and social components (and their interactions) that, by virtue of human influence, differ from those that prevailed historically, having a tendency to self-organize and manifest novel qualities without intensive human management.)

Hobbs等认为,上述概念是依据三个基本原理而提出的:第一个是个体论(individualistic concept),正是因为动植物个体能够不停的自由移动(植物通过外力或者花粉传播),以适应环境的变化,才导致了群落在某个时间尺度上的持续变化。没有生物圈的这一基本属性,新型生态系统是不可能产生的。第二个是生态系统生物要素和非生物要素的互相制约和互相影响(Abiotic-biotic tether),没有生物和非生物之间的相互作用,互相适应,生态系统就不会得到自我更新。第三个是人类活动所产生的持续变化(Pervasive human-caused change)。正是人类对生态系统的持续、普遍、全方位的干扰,才形成了新型生态系统。在人类社会里,生态系统不断更新的原动力主要来自人类活动的影响。

新型生态系统的定义是该理论最核心的问题,因为它界定了该理论研究的对象、内涵和框架。Hobbs等也认为,上述定义还不够完美,还需要进一步讨论。

2.2 新型生态系统的来源

Hobbs等认为,新型生态系统来源于两大方面:一是原生/自然(或半自然)生态系统的退化和被侵入;二是集约管理的生态系统(如农业生态系统等)的废弃。图1表达了其过程:(1)由于人类活动的不断加强,土地荒漠化、沙漠化、盐碱化和水土流失等土地退化以及采矿、森林砍伐、城市化等对生态系统的扰动行为,导致了原生生态系统的结构、功能和系统要素等发生根本变化,新型生态系统由此产生。(2)由于人类活动空间的不断扩张,人类流动的范围、速度和频度等不断加大,物种扩散和空间移植也因此变得普遍而频繁,外来物种的侵入导致本土物种的退化甚至灭绝,新型生态系统因此产生。(3)人类过度垦殖、过度放牧或过度开发引起土地退化,生产力不断下降,效益不断降低,最后不得不弃用,这些被抛弃的土地也沦为了新型生态系统。

2.3 新型生态系统的判别方法

生物和非生物要素变化到何种程度,以及系统功能变化到何种程度,新型生态系统就会出现呢?这是该理论备受关注的理论难题之一。人类活动已经深刻影响了地球,如大气CO₂浓度增高导致全球气候变暖、工业化造成大量废弃物的排放等已经深刻影响着地球的水土资源、全球人口持续增长和城市化导致土地利用覆被变化和人为氮沉降增加、外来物种的侵入导致本土物种的灭绝等等,这些都深刻改变了地球的原貌和生物要素的生存条件。从这个意义上讲,地球上所有的生态系统都是新型的,不存在分界点。然而,这种认识仅具有理论意义,没有实践价值。

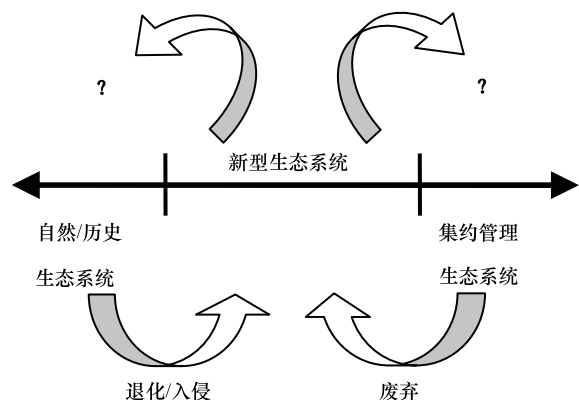


图1 新型生态系统的定义^[11]

Fig.1 The definition of novel ecosystems^[11]

新型生态系统理论认为新型生态系统是可以分辨出来的,判别的标准是,系统是否越过了一个生态阈值 (Ecological threshold)。当超过这个阈值后,系统要不就不可能回到原有状态,要不就要花费很大的成本,而这个成本不足以被恢复后的系统产生的服务价值所支付,即所谓的生态修复得不偿失^[20]。

但是这个阈值是否存在? 如何测量和监测? 判别的敏感指标和标准是什么? 这成为目前争论的另一个焦点。“新”就像“美”一样,因人而异,这就意味着,在谈到新型时,其标准和时空尺度必须认真定义^[21]。(Novelty, like beauty, is in the eye of the beholder. This means that the criteria and time-space scales being used to talk about novelty should always be carefully defined.)。于是有的学者尝试用历史参照系统 (Reference) 来比照,以此判别新型生态系统^[17-18]。由于地球上几乎不存在未受到扰动的生态系统,因此只有采取“用空间换时间”或“用现在替代过去”两种方法建立参照系统。但是历史参照物是否有效和可能? 现有参照物又是否合适呢? 这两类参照物各有优缺点,需要进一步的理论研究和实践探索。

2.4 历史系统、复合系统和新型系统之间转换

新型生态系统理论认为,生态系统可以分为历史系统 (Historical ecosystems)、复合系统 (Hybrid ecosystems, 能够部分恢复到原有状态的系统) 和新型生态系统。其中,在历史系统中,生物要素和非生物要素尽管也在变化,但是没有越过阈值;到复合系统时,有部分生物要素或者非生物要素越过了阈值,表现出与历史系统明显的不同,但是这些要素经过恢复措施有可能再回到历史状态。而在新型生态系统中,生物和非生物要素都和以前明显不同,而且系统已越过阈值,而且不可逆转。图 2 表示这三种系统要素之间的变化。箭头代表着可能变化的方向:“1”表示可逆转,从复合系统回到历史系统中;“2”表示不可逆转,从历史/复合系统到新型系统中;“3”表示在新型系统状态下,要素之间也在变化,但是没有越过阈值,所以新型生态系统本身也是稳定的,是具备恢复力 (Resilience) 的。

2.5 新型生态系统的管理

关于新型生态系统产生后,人们是否还必须进行恢复和治理的问题,Hobbs^[23] 和 Kueffer and Daehler^[24] 均认为,新型生态系统既然已经形成了,那么原有的恢复、治理思维都要改变,因为这些所谓的恢复、治理仍然是人类对系统干预的持续,其目的还是恢复到历史状态,是和新型生态系统的目标背道而驰的,类似于“把牙膏再灌回管子里”(Put the toothpaste back in the tube)。不过他们也承认,有些时候,扰动的生态系统不是很严重,和历史系统的区别不大,恢复的系统目标也和原有系统变化不大,那么此时系统修复是必要的。

那么管理是否有必要呢? Hallett 等认为^[25],即使是新型生态系统,管理也是十分必要的,管理的目标是要维护系统的功能。图 3 表示系统功能的变化和生物/非生物要素变化之间的关系。这里的功能是指提供栖息场所、生态系统服务和生物多样性维持等。上边的

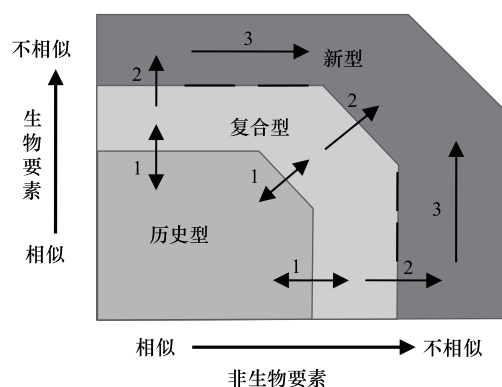


图 2 生物和非生物要素变化不同程度下生态系统的不同类型^[22]

Fig. 2 Types of ecosystems under varying levels of biotic and abiotic change^[22]

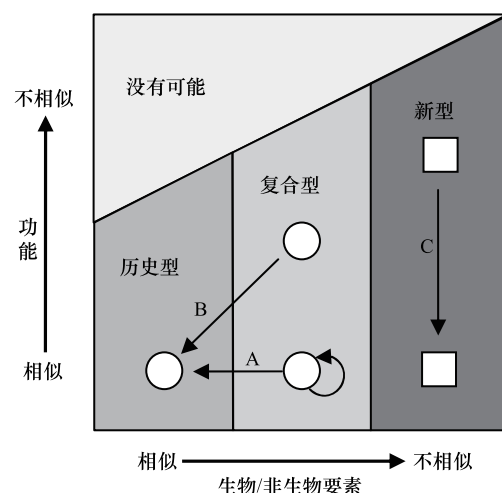


图 3 和生物/非生物要素新型有关的历史生态系统功能相似性的状态-空间图^[27]

Fig. 3 A state-space of functional similarity to the historical ecosystem in relation to abiotic and biotic novelty^[27]

“没有可能”表示要素相同而功能不同,这种情况基本不可能出现。圆圈“○”表示系统没有越过阈值,变成新型系统;方框“□”表示已经进入到新型系统。A、B、C 表示了三种不同的管理目标:“A”表示通过要素修复等措施,尽量保证系统维持在原有系统状态,功能的相似性不变;“B”表示即使系统功能和生物/非生物要素已经发生了一些变化,但是仍然期望采取生态恢复措施,系统仍维持原有功能和结构;“C”表示即使系统已经进入了新型状态,但管理的目标仍然是维持新系统的功能和原有系统的相似。

2.6 新型生态系统基本框架

综合上述观点, Hobbs 等给出了新型生态系统框架,如图 4 所示。横轴表示系统的新型程度,取决于生物和非生物要素偏离历史系统的距离。纵轴表示人类作用的程度,包括人类对系统的开发和设计,也包括对系统的修复、维护等。四个角代表了 4 种不同的静止状态,其实它们是很少存在的。箭头代表了系统在不同状态间的运动,以及不同时间引起系统变化的驱动力。例如,即使没有人的干预,气候变化也会使系统不断朝着新型发展,所以是一条和纵轴垂直的线。

2.7 新型生态系统的实证研究

新型生态系统概念被提出后,很多生态科学家、规划师和生态工程实践者对此开展了实证研究,例如,EWEL 通过对佛罗里达州 Hole-in-the-Donut 岛土地利用的变化以及巴西坚果这一外来植物的命运的调查,证实了新型生态系统的存在^[26]。Perring 等根据 8000 年来地球人口和土地利用的变化证明了新型生态系统存在的普遍性,而且对不同的新型程度的差异进行了分析^[27]。Martinuzzi 以波多黎各岛森林外来物种数量变化及其空间分布,证实了物种侵入能改变森林生态系统的构成,但是发现在很多极端环境中,本土物种还是占有绝对优势^[28]。此前也有学者发现了生态系统新型化现象,如 Weiss 通过调查加利福尼亚草地氮沉降致使本土植被外来物种替代的状况,发现了新型生态系统的产生^[29]。Lugo 调查波多黎各岛林地变迁,从林地到农地到废弃地到草地再到林地,发现经过 40 年的演替,新的林地中本土物种和外来物种几乎平分天下,新型生态系统不可避免出现了^[30]。

2.8 新型生态系统理论价值

新型生态系统的支持者认为^[2,21-22],这一新的理论具有十分重要的价值,表现在:(1)为反思现有生态保护和生态恢复技术、工程、政策和规范等提供了新的思路;(2)为遏制生态系统退化提供了新思维;(3)有助于确定物种和生态系统功能重建的现实目标,而不是恢复到原有状态这一理想目标;(4)生态管理和生态工程中承认生态恢复的局限性以及重建遇到的社会经济文化障碍,有助于新的规划、设计和经营管理,以降低成本和提高效率;(5)有助于开发新的生态监测技术;(6)可应用于生态恢复工程项目评价;(7)有助于开发新的实用性恢复技术。

3 对新型生态系统理论的质疑

正如其它新理论一样,新型生态系统概念一经提出,立即引来了质疑^[1,3-4,12]:(1)关于概念的质疑。有的认为新型生态系统概念不清,内涵不明,缺乏基础,新旧系统的界线和判别标准模糊;有的认为基本概念存在逻辑矛盾和生态术语不准确问题(Ecological imprecisions);有的干脆否定新型生态系统的定义,因为成功的生态恢复项目和生态保护工程也可认为是新型生态系统,但是不被目前的定义所包含,而这种新型生态系统更有意义。(2)关于新型生态系统是否存在的质疑。有的认为,所谓的新型生态系统其实是子虚乌有的(Ubiquitous),因为列举的那些实证根本不能说明新型生态系统正在全球蔓延而且不可逆转;有的认为,新型生态系统是一个悖论:既然新型生态系统具有自组织能力和维持这一新状态的能力,那么这隐含说明旧的生

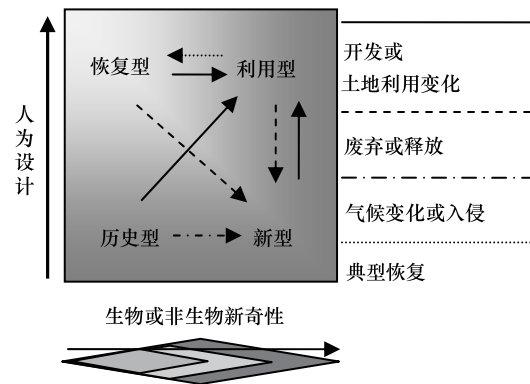


图 4 新型生态系统框架图^[23]

Fig.4 The novel ecosystems framework^[23]

态系统是没有恢复力的,但是由于新的系统仍然是在不断变化的——过去的新系统,现在成了旧系统——恢复力却因“新”、“旧”的人为划分而变化,很显然,这不符合恢复力的生态系统基本属性。从漫长的生态系统演化角度看,有无人干预,系统都一直在更新着,所以这种新系统本身就存在。(3)关于生态阈值的质疑。有的学者证明,不存在新型生态系统理论所谓的不可逆转的阈值,因为很多扰动后由于系统恢复力的存在,系统能回到原有状态,也就是自己能够跨过这一阈值;有的认为,社会经济和政治对恢复的制约因素并不是生态阈值,但是新型生态系统理论却特别强调这一点。(4)对该理论价值的质疑。有的认为,该理论是对现有生态保护和恢复实践的挑战,没有管理实践价值,反而对生态保护和生态恢复政策会产生负面影响;有的认为,经过 30 来年的努力,恢复生态学正被越来越多的政府、组织所接受,越来越多的工程、项目如自然保护区、生态修复工程等正在全球展开,此时此刻出现的新型生态系统思潮无疑对此十分有害,会扰乱决策者和实践者的思路,葬送目前的大好形势;有的认为,我们对演化的生态系统没有必要强加一个新的标签(New label),尤其是像“新型生态系统”这样排除恢复、默认现状的观点,因为它对生态管理有负面影响。

有的学者同意新型生态系统存在的事实,但是对其部分观点持不同意见,如有的认为,气候变化、物种侵入和其它变化的全球过程(如氮沉降)导致了新型生态系统的不可逆转、不可避免和不断扩散,我们必须面对这一事实。然而,放弃对破坏的生态系统的修复,这存在很大风险。谁能预测这种放之任之的未来是什么样^[26]? 有的认为,新型生态系统的概念和有关生态管理的新方法是很有必要的,因为恢复生态学学科正在产生很多错误的期待,正在浪费有限的资源。但是,这并不意味着,在资源有限的条件下,所有破坏的生态系统都不能够或者都不应该被恢复^[31];有的认为,从古生态学角度论证,新型生态系统观点必须被接受,但是,并不意味着我们必须接受所有的新型生态系统。相反地,我们需要澄清我们的价值,我们优先的顺序,了解新型生态系统及其未来^[12]。

由此可见,质疑的焦点很多,几乎是全方位的。但是主要集中在这种新型系统存不存在? 有没有必要这样的理论? 其实践意义和政策制定的作用在哪里? 等方面。

有意思的是,这场争论不是以国家为阵营的,几乎每个国家都有支持者和反对者,这反应了新概念的复杂性、不成熟性和争议性。

4 未来发展趋势

无论是支持者还是反对者,都认为:对严重扰动的生态系统,很有必要继续开展实证研究,包括其非线性机制、系统阈值、恢复力、新的范式,以及新型系统的所有特征。另外绝大部分学者认为,面对严重扰动的生态系统,应该理性研讨合适的修复/恢复方法,人工干预的程度及其成功的可能性,以及行动方案优选标准等。正如 Hobbs 教授所说,当前研究的重点应该从什么是新型生态系统的争论转向我们怎样在政策和管理方面有效干预这一系统^[20]。当然也要冷静思考新型生态系统的概念和理论框架是否有助于人们了解、管理和恢复扰动的生态系统。

正如批评者指出的,该理论要着力研究并提出一个实用的和可操作的框架——而不能是空洞的概念——以明确何时需要干预、怎样才是有效的干预,需要构建复合生态系统和新型生态系统的识别模型,需要建立严密的理论来证明何时和为什么不可逆转的阈值导致了生态系统向新的稳态转移乃至恢复是不可能的。科学家还必须了解生态系统退化、侵入和自然恢复的过程,为这一新理论提供支撑。

由此可以看出,新型生态系统理论未来发展趋势可以归纳为:(1)加强实证研究。目前亟需更加可靠、有力的实证,证明人类活动产生了这样的新生态系统。(2)加强理论创新。除了新型生态系统的内涵和特征外,新型生态系统的识别和评价将成为研究热点。(3)加强量化研究。目前新型生态系统理论还仅仅停留在概念的发展层面,未来量化研究将成为主流。只有开展量化研究,才能对不同系统的转化及其阈值等做出科学的界定。(4)加强新型生态系统的管理政策、标准、规划、设计等的研究以及新技术的开发。除此之外,新型生态系统不是消极的理论,相反是唤醒人类对这种生态系统变化的正视,是对现有很多土地复垦、生态修复

和生态保护失败案例的反思,所以要避免走向哲学思辨和形而上学,避免弱化科学价值和实践意义。

国内尽管还没有见到关于新型生态系统的讨论,但是关于人类应该如何面对破坏和退化的生态系统方面,有些生态学家还是发表了真知灼见,如不能不负责任地把生态重建的责任推诿给自然去旷日持久地恢复^[32];面对可持续发展的新生态观,应该引入恢复力思维(Resilience thinking),深入研究生态系统承受干扰并仍然保持其基本结构和功能的能力^[33];未来应该考虑以生态过程调控为主,诱导生态系统的正反馈的自发恢复,考虑生境景观间的相互作用^[34]。这些观点其实都触及到了新型生态系统的基本要义。

我国是一个矿产资源开采大国,采矿造成的生态破坏十分严重。我国还是一个自然灾害比较多的国家,洪灾、旱灾、地震、台风等自然灾害年年不断。我国中西部分布着广袤的生态脆弱区,生态退化现象十分普遍。人工林地逆向演替,外来物种侵入现象日益严重。尤其是我国快速城市化和工业化引起了十分严重的生态环境问题。这些现实问题都要求创新生态恢复和生态保护的新思维,而新型生态系统理论无疑是一个指向。

参考文献(References):

- [1] Carolina Murcia, James Aronson, Gustavo H Kattan, David Moreno-Mateos, Kingsley Dixon, Daniel Simberloff. A critique of the 'novel ecosystem' concept. *Trends in Ecology and Evolution*, 2014, 29(10): 548-553.
- [2] Richard J Hobbs, Eric S Higgs, James A Harris. Novel ecosystems: concept or inconvenient reality? A response to Murcia *et al.* *Trends Ecology and Evolution*, 2014, 29(12): 645-646.
- [3] James Aronson, Carolina Murcia, Gustavo H Kattan, David Moreno-Mateos, Kingsley Dixon, Daniel Simberloff. The road to confusion is paved with novel ecosystem labels; a reply to Hobbs *et al.* *Trends in Ecology and Evolution*, 2014, 29(12): 646-647.
- [4] Richard J Hobbs, Eric S Higgs, James A Harris. *Novel ecosystems: intervening in the new ecological world order*. A John Wiley & Sons, Ltd, 2013, 380.
- [5] Richard T Corlett. New approaches to novel ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*, 2014, 29(3): 137-138.
- [6] Nathaniel B Morse, Paul A Pellissier, Elisabeth N Cianciola, Richard L Brereton, Marleigh M Sullivan, Nicholas K Shonka, Tessa B Wheeler, William H McDowell. Novel ecosystems in the Anthropocene: a revision of the novel ecosystem concept for pragmatic applications. *Ecology and Society*, 2014, 19(2): 12-12.
- [7] Nancy Shackelford, Richard J Hobbs, Joanna M Bugar, Todd E Erickson, Joseph B Fontaine, Etienne Laliberté, Cristina E Ramalho, Michael P Perring, Rachel J Standish. Primed for change: developing ecological restoration for the 21st century. *Restoration Ecology*, 2013, 21(3): 297-304.
- [8] Vicky M Temperton, Eric Higgs, Young D Choi, Edith Allen, David Lamb, Chang-Seok Lee, James Harris, Richard J Hobbs, Joy B Zedler. Flexible and adaptable restoration; an example from South Korea. *Restoration Ecology*, 2014, 22(3): 271-278.
- [9] Mandy Trueman, Rachel J Standish, Richard J Hobbs. Identifying management options for modified vegetation: application of the novel ecosystems framework to a case study in the Galapagos Islands. *Biological Conservation*, 2014, 172: 37-48.
- [10] David Doley, Patrick Audet. Adopting novel ecosystems as suitable rehabilitation alternatives for former mine sites. *Ecological Processes*, 2013, 2: 22-22.
- [11] Richard J Hobbs, Salvatore Arico, James Aronson, Jill S Baron, Peter Bridgewater, Viki A Cramer, Paul R Epstein, John J Ewel, Carlos A Klink, Ariel E Lugo, David Norton, Dennis Ojima, David M Richardson, Eric W Sanderson, Fernando Valladares, Montserrat Vilà, Regino Zamora, Martin Zobel. Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global Ecology and Biogeography*, 2006, 15(1): 1-7.
- [12] Stephen T Jackson. Perspective: ecological novelty is not new // Richard J Hobbs, Eric S Higgs, Carol M Hall. *Novel Ecosystems: Intervening in the New Ecological World Order*, 2013: 63-65.
- [13] Andrew S MacDougall, Roy Turkington. Are invasive species the drivers or passengers of change in degraded ecosystems? *Ecology*, 2005, 86(1): 42-55.
- [14] Clements F E. *Plant Succession: Analysis of the Development of Vegetation*. Washington, DC: Carnegie Institute of Washington, 1916.
- [15] F Stuart Chapin III, Anthony M Starfield. Time lags and novel ecosystems in response to transient climatic change in Arctic Alaska. *Climatic Change*, 1997, 35(4): 449-461.
- [16] Milton S J. Emerging ecosystems: a washing-stone for ecologists, economists and sociologists? *South African Journal of Science*, 2003, 99(9/10): 404-406.
- [17] Michael P Perring, Rachel J Standish, Richard J Hobbs. Incorporating novelty and novel ecosystems into restoration planning and practice in the

- 21st century. *Ecological Process*, 2013, 2(1): 1-8.
- [18] Rachel J. Standish, Allen Thompson, Eric S. Higgs, Stephen D. Murphy. Concerns about novel ecosystems // Richard J Hobbs, Eric S Higgs, Carol M Hall. *Novel Ecosystems: Intervening in the New Ecological World Order*. Chichester: John Wiley & Sons, 2013, 296-309.
- [19] Gaia Vince. Embracing invasives. *Science*, 2011, 331(6023): 1383-1384.
- [20] Hobbs R J, Higgs E S, Hall C M. Defining novel ecosystems // Richard J Hobbs, Eric S Higgs, Carol M Hall. *Novel Ecosystems: Intervening in the New Ecological World Order*. Chichester: John Wiley & Sons, 2013: 58-60.
- [21] Richard J Hobbs, Eric S Higgs, Carol M Hall. What do we know about, and what do we do about, novel ecosystems? // Richard J Hobbs, Eric S Higgs, Carol M Hall. *Novel Ecosystems: Intervening in the New Ecological World Order*. Chichester: John Wiley & Sons, 2013: 353-360.
- [22] Richard J Hobbs, Eric Higgs, James A Harris. Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. *Trends in Ecology & Evolution*, 2009, 24(11): 599-605.
- [23] Richard J. Hobbs, Lauren M. Hallett, Paul R. Ehrlich, Harold A. Mooney. Intervention ecology: applying ecological science in the twenty-first century. *BioScience*, 2011, 61(6): 442-450.
- [24] Christoph Kueffer, Curtis C Daehler. A habitat-classification framework and typology for understanding, valuing, and managing invasive species impacts. *Management of Invasive Weeds*, 2009, 5: 77-101.
- [25] Lauren M. Hallett, Rachel J. Standish, Kristin B. Hulvey, Mark R. Gardener, Katharine N. Suding, Brian M. Starzomski, Stephen D. Murphy, James A. Harris. Towards a conceptual framework for novel ecosystems // Richard J Hobbs, Eric S Higgs, Carol M Hall. *Novel Ecosystems: Intervening in the New Ecological World Order*. Chichester: John Wiley & Sons, 2013: 16-28.
- [26] John J Ewel. Case Study: Hole-in-the-donut, everglades // Richard J Hobbs, Eric S Higgs, Carol M Hall. *Novel Ecosystems: Intervening in the New Ecological World Order*. Chichester: John Wiley & Sons, 2013: 11-15.
- [27] Michael P Perring, Erle C Ellis. The extent of novel ecosystems: Long in time and broad in space // Richard J Hobbs, Eric S Higgs, Carol M Hall. *Novel Ecosystems: Intervening in the New Ecological World Order*. Chichester: John Wiley & Sons, 2013: 66-80.
- [28] Martinuzzi S, Lugo A E, Brandeis T J, Helmer E H. Case study: Geographic distribution and level of novelty of Puerto Rican Forests // Richard J Hobbs, Eric S Higgs, Carol M Hall. *Novel Ecosystems: Intervening in the New Ecological World Order*. Chichester: John Wiley & Sons, 2013: 81-87.
- [29] Stuart B Weiss. Cars, cows, and checkerspot butterflies: Nitrogen deposition and management of nutrient-poor grasslands for a threatened species. *Conservation Biology*, 1999, 13(6): 1476-1486.
- [30] Ariel E Lugo. The outcome of alien tree invasions in Puerto Rico. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2004, 2(5): 265-273.
- [31] Brian M Starzomski. Novel ecosystems and climate change // Richard J Hobbs, Eric S Higgs, Carol M Hall. *Novel Ecosystems: Intervening in the New Ecological World Order*. Chichester: John Wiley & Sons, 2013: 66-80.
- [32] 张新时. 关于生态重建和生态恢复的思辨及其科学涵义与发展途径. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 112-118.
- [33] 任海, 王俊, 陆宏芳. 恢复生态学的理论与研究进展. *生态学报*, 2014, 34(15): 4117-4124.
- [34] 彭少麟. 发展的生态观: 弹性思维. *生态学报*, 2011, 31(19): 5433-5436.