

森林可持续经营:从木材到生物多样性

潘存德 师瑞峰

(新疆农业大学林学院)

摘要:木材永续收获和法正林模型代表了以木材永续收获为主的森林经营的目标和理论。从木材永续收获经营到森林可持续经营,不论是在森林经营的目标上,还是在森林经营的理论上都发生了根本性的变化。该文认为这种变化主要体现在森林经营的目标从木材收获转向了以生物多样性为本质体现的生态系统完整性的维持,并进一步发展形成了与目标价值取向内在相统一的森林经营理论和模型,即森林经营的可持续性理论和自然干扰模型。但是,永续收获林业的森林永续利用理论和法正林模型仍旧适合商品林的经营,特别是人工集约经营的商品林。

关键词:森林经营,生物多样性,生态系统完整性,自然干扰模型

中图分类号:S757 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1522(2006)02-0133-06

PAN Cun-de; SHI Rui-feng. Sustainable forest management: from timber to biodiversity. *Journal of Beijing Forestry University* (2006) 28(2) 133-138 [Ch, 46 ref.] College of Forestry, Xinjiang Agricultural University, Urumchi, 830052, P. R. China.

Sustained timber yield and the Normal Forest Model represent traditional forest management, which takes sustained timber production as major objective. However, these goals have essentially changed from sustained timber production to sustainable forest management. The objective of forest management is changing from the provision of an optimal mixture of forest commodities to the maintenance of ecological integrity, which depends largely on biodiversity of the forest ecosystem. Given this profound change of objective, a Natural Disturbance Model and forest management sustainability, suitable for maintenance of biodiversity and in compliance with the objective, are developed. Sustained timber production and the Normal Forest Model remain appropriate for commercial forest management, especially for intensive commercial plantations.

Key words forest management, biodiversity, ecosystem integrity, Natural Disturbance Model

随着可持续发展理论和研究的不断深化,实践森林经营的可持续性已成为国际社会的普遍共识。森林可持续经营不仅从一般概念的认识发展成为了具体的行动,而且以森林认证为标志的森林可持续经营市场驱动机制也在形成之中。随着森林认证制度的逐步形成和实行,以及认证的规范化、标准化和普及化,将以市场为环节建立起森林可持续经营与人们消费之间的有机联系,使森林可持续经营通过相关的林产品走进大众的生活。但对包括广大林业工作者在内的中国人来讲,这一切并不一定能说明我们对森林可持续经营本身已经有了清醒的认识。因为这一概念及其相关理论对中国林业来讲是舶来品,它原创于国外,并在我们的本土之外得到了先行发展。除此之外,从中国林业的历史进程中,也很难

找到已经经历了永续收获林业和多用途林业发展阶段的判据,这不仅使中国林业缺少发展阶段的历史参照,也增添了对森林可持续经营认识的难度。因此,对森林可持续经营的理论,我们仍需要有一个不断学习和认识的过程。

与此同时,自 20 世纪 80 年代末随着可持续发展战略的确立,森林的可持续经营成为国际林业发展的主流,有关森林经营的理论得到了很大的发展,尤其以北美为标志,形成了与此相关的许多新概念和经营理论,其中有些已引起了我国相关领域科技工作者的极大关注,并为我们所熟悉,如新林业、生态系统经营等。在这一国际潮流的推动下,中国的科技工作者针对“森林可持续经营”这一主题也进行了许多相关研究。但仔细审视这些研究就会发现,我们

收稿日期:2005-10-10

<http://journal.bjfu.edu.cn>

基金项目:国家自然科学基金项目(30560124、30360087)、教育部优秀青年教师资助计划项目。

第一作者:潘存德,博士。主要研究方向:生态恢复、森林生态与经营。电话:0991-8763728 Email: pancunde@163.com 地址:830052 新疆乌鲁木齐木齐市南昌路 42 号新疆农业大学林学院。

的绝大多数研究仅仅停留在做表面文章,如对概念的讨论等. 不仅未形成属于自己的理论,甚至于在对森林可持续经营的认识上也没有得到完全统一. 显然,这些情况既不利于森林可持续经营在中国的实践,也不利于新世纪中国森林经营理论的创新与发展. 从学习和借鉴的角度出发,究竟从以“森林永续收获”为主导的传统林业到以“森林可持续经营”为核心的可持续林业,在森林经营的目标上产生了什么样的本质改变? 沿着经营目标的本质改变,又形成了什么样的森林经营理论? 这些仍然是需要我们在学习中回答的问题. 对上述两个问题的回答,正是本文的出发点和目的所在.

1 森林经营的发展历程与森林经营的目标

1.1 森林经营的发展历程

作为对木材需求增加和森林资源贫乏的响应,以森林经营为主要活动的林业生产实践开始于全球不同的时间和地点. 虽然对森林经营的发展历程有着不同声音的存在,但一种较为普遍的观点认为:从总体上看,人类森林经营活动的发展历程可以划分为无序攫取(unmanaged extraction)、产品收获、综合资源经营和生态系统经营 4 个阶段. 与此同时,从作为一门科学的角度来讲,森林的经营起源于 18 世纪后期至 19 世纪早期的欧洲^[1]. 因此,除了“无序攫取”之外,以森林经营为主要活动的林业生产实践都有其自身的科学范式(paradigm)和森林经营理论做指导,即:基于永续收获理论的永续收获林业、基于多用途永续收获理论的多用途林业和基于森林可持续经营理论的可持续林业. 对于不同发展阶段指导森林经营实践的科学范式及其变迁过程,可以从 Davis 等^[2]著的《森林经理学》(第四版)中找到可供参考的答案.

1.2 森林经营的目标

基于对森林木质资源利用的目的,永续收获林业的森林经营以木材生产为目标. 尽管人们很早就已经认识到森林提供的不仅仅是木材,但多用途永续收获森林经营理论的得以确认是以美国 1960 年通过的“多用途永续收获法案”为标志. 该法案中明确指定了在公共土地所要永续的 5 类事物:木材、鱼和野生动物、户外游憩、牧场和饲草及流域^[3]. 就是在这种情况下,美国的大多数森林经营者不顾这样一个显而易见,旨在最大化市场和非市场两方面社会价值的法令^[4],仍倾向保持森林经营中木材生产的优先支配地位,其他的价值并不是与木材生产同日而语的森林经营目标^[5],只被看成是对木材生

产的某种约束. 与此同时,下一代林务员仍旧在森林经营等于高效木材生产的哲学下接受教育^[6]. 例如,从 20 世纪 80 年代中期至 90 年代末,一本被作者标榜信奉“多用途利用永续收获范式”^[2],并被高等学校广泛采用的森林经理教课书——《森林经理学》(第三版)^[7]涉及“多用途利用”的论述只有一处,而且是出现在一个介绍有关美国林业法律的不起眼的段落中. 由此可见,即使是从法律形式上对“多用途永续收获”做出明确价值规范的美国,多用途利用永续收获林业也并没有从根本上改变森林经营以木材生产为目标的价值取向,获取木材依旧是森林经营的主要目的.

在 20 世纪 90 年代初,当中国林业的“两危”还没有从人们的脑海中完全消失的时候,迎来了“林业可持续发展”的新概念,中国林业再一次接受了原创于本土之外的森林经营理论——森林可持续经营. 在此后的短短几年中,与此相关的文献如雨后春笋出现在有关的各类学术刊物上,甚至于成为一时的一种时尚潮流. 有很多林业工作者投入极大的热情对森林可持续经营的概念和理论进行了大量的讨论. 回顾这些讨论和仔细阅读产生于那个时期的文献,对“什么是森林可持续经营?”和“森林可持续经营的目标是什么?”这两个问题,依然找不到中国林业的明确回答. 不得不时常在浩如烟海而又因资源有限难以全面掌握的英文文献中寻找. 就目前的趋势和主流来看,不论有多少关于对森林可持续经营概念的界定,但原创者及主导这一领域发展方向的主要科学家认为^[6,8],所谓的森林可持续经营是旨在维持生态系统完整性的同时,持续提供木质和非木质价值. 由此可见,森林可持续经营以生态系统完整性为目标,木材生产从属于生态系统完整性的维持.

2 生物多样性和生态完整性的概念及其相互关系

2.1 生物多样性和生态完整性的概念

生物完整性和生物多样性是两个可用于所有生物系统的概念,但从它们的产生和发展来看,或多或少是相互独立的^[9]. 生物完整性来自对水生生态系统的研究,而生物多样性则是来自对陆地生态系统的研究. 生物多样性的定义有很多,比较公认的定义是:“所有时空尺度上基因、生物种类和生态的多样化程度”^[10]. 生物完整性概念的正式确立可追溯到美国环境保护局(USEPA)于 1972 年修改后的“水污染控制法案”(现为“清洁水法案”),法案明确地将“恢复和维持国家水体的化学、物理和生物完整性”写进了文本,并由此建立了以化学完整性、物理完整

性和生物完整性为三大基本要素的“生态完整性”概念模型^[11](见图 1)。

针对构成生态完整性三个基本要素之一的生物完整性,Frey 在 1975 年从概念上进行了界定,所给出的定义被 Karr 等^[12]引用后,现已成为了最有影响并被广泛接受的生物完整性定义,即“生物完整性”所描述的是一个生态系统“在物种组成、多样性和功能组织上支撑和维持一个和谐、完整和适应的生物群落的能力能够比得上同一区域自然状态的生境”。以此“生物完整性”的定义为基础,Karr 等^[13]进一步发展提出了生物完整性的量化指数——生物完整性指数(index of biotic integrity,简称 IBI)。这一指数在具体测度指标的不断发展和完善过程中得到了广泛的应用^[14-18]。

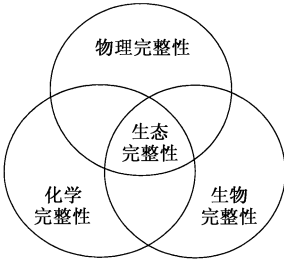


图 1 生态完整性及其三要素

FIGURE 1 Ecological integrity and its three elements

对图 1 所示的 USEPA 生态完整性概念模型,Karr^[16]认为由于其没有反映出三个要素之间的动态相互作用,所以是不充分的。之后,Yoder^[19]提出了一个修正的完整性概念模型,不仅增加了要素之间的动态相互作用,更是强调了生物完整性是生态完整性的基础和关键。同时也有许多学者把 Frey (1975)的生物完整性定义等同于生态完整性的定义^[20]。在生物完整性指数成功应用于水生生态系统的启发下,这一科学概念和方法也被应用到了陆地生态系统^[20],如 Bradford 等^[21]和 O’Connell 等^[22]的研究。在诸多此类研究中,以 Andreasen 等^[23]的创造性研究成果最具代表性。他们认为,生态完整性包含生态系统健康、生物多样性、稳定性、可持续性、天然、原始和美。同时也认为,USEPA 提出的生态完整性三要素概念是最具可测性的,并尝试建立了一个根深于自然历史,综合水体和陆地生态学知识,集生态系统完整性评价与监测于一身,准确、全面、灵活、可测,并能应用于多尺度的“陆地生态系统完整性指数”(terrestrial index of ecosystem integrity,简称 TIEI)及其相应的测度指标体系。

随着完整性概念的普遍接受和广泛应用,Karr^[24]也给出了对生物完整性概念更全面的综合。认为生物完整性可定义为“在全部要素(基因、物种和聚集)和过程(变异、种群统计、生物相互作用、营

养和能量动态、复合种群过程)方面支撑和维持一个和谐、完整和适应的生物系统的能力与相同区域自然状态的生境一样”。当然这一定义是以下面 3 个假设为前提:①生物系统的行为跨越从个体到景观的所有尺度;②一个完整功能的生物系统有可测的项目(生物多样性要素)及其创造和维持它的过程;③生物系统置身于与物理和化学环境相互影响的动态进化的生物地理范围内。

2.2 生物多样性与生态完整性的相互关系

生物多样性、生物完整性和生态系统完整性是三个既相互关联但又不完全相同的概念。一般认为,生物多样性与生物完整性的差别在后者明确包括生物过程,而前者在这一点上则是隐含的。生物完整性与生态系统完整性相比,后者因包含物理环境而比前者更为宽广^[25]。由此可见,从概念上来讲,生物多样性与生态系统完整性是紧密相关的。另外,任何生态完整性的评价都离不开对生物多样性的评价,同时生物多样性与生态系统功能之间关系的研究已成为最近几年生态学科发展最快的领域之一^[17]。

到目前为止,虽然已有的知识还无法准确描述生物多样性与生态系统功能之间的关系^[17,26-27],但已有的许多证据已显示,生物多样性是地球生态系统生产力和可持续性的核心,并在维持生态系统基本生态过程、抵抗外来干扰和提高恢复力以及适应长期环境变化方面的重要作用得到了广泛的认可^[28-30]。生态系统的生物、物理结构和过程是生态系统完整性评价的着眼点,其中生物多样性又是关键^[25]。

对于森林的经营来讲,维持生态系统的完整性意味着用正常的干扰体制维持森林结构、物种组成、生态过程和功能^[8],并因生物多样性与生态系统功能和过程之间的关系而使维持生物多样性成为森林经营的内在价值规范。因此,从永续收获林业到可持续林业,森林经营目标从木材永续收获向生态完整性维持的转变,本质上讲是森林经营的内在价值规范从木材的永续利用转向了生物多样性的维持。

3 森林经营的理论与模型

3.1 永续收获林业的森林经营理论与模型

自从“林学”作为一门科学在欧洲诞生以来,虽然普遍认为林业的发展已经历了基于永续收获理论的永续收获林业和基于多用途永续收获理论的多用途林业,但仔细研究后就会发现,从永续收获到多用途利用并没有森林经营理论上的实质创新。对中国受过中、高等林业教育的每一位森林经营工作者来讲,很少有人不知道指导森林永续收获经营的“法正

林”理论和“法正林模型”.可是又有多少人能像知道“法正林”一样说出指导森林多用途永续收获经营的理论及其相应的模型呢?恐怕就连我们的森林经营专家也很难能够说得清楚.从本质上讲,“多用途永续收获”只是木材永续收获的延续,它将“多用途的思想”嫁接到了传统“永续收获范式”,增加了一些木材收获的外在限制因素.

每年有均衡的木材产出是永续收获森林经营的理想目标.以森林成熟年龄为轮伐期,并在轮伐期内形成相等面积的年龄结构,从而支持木材均衡生产的森林经营目标,是构成森林永续收获经营“法正林模型”的核心.从木材生产来讲,这一指导森林经营的理论和模型没有什么不对,它仍然适用于今天以木材生产为目标的森林经营,尤其是人工集约经营的商品林.因为木材均衡生产的森林经营目标内在地规定了森林应具备“法正”的结构状态.因而,就抽象的森林经营来讲,抛开森林经营的目标来指责“法正林理论”的做法显然是错误的.

3.2 可持续林业的森林经营理论与模型

永续收获林业以木材生产为目标,法正林理论为其森林经营提供了模型.森林可持续经营的目标转向了以生物多样性保护为核心的生态系统完整性维持,必须创新并发展形成适应于这一目标的森林经营模型.基于自然干扰并适应于生物多样性和生态完整性的森林经营可持续性理论和“自然干扰模型”就是近年创新并得到不断发展的森林经营理论和模型.

3.2.1 自然干扰与自然干扰体制

在传统的以“平衡、均质性”为理念的生态学范式中,自然干扰被看成是引起自然群落结构突然改变,并使其离开静态的近平衡状态的罕见、无规律的事件^[31].但随着以“非平衡、异质性”为理念的现代生态学范式的建立和发展,自然干扰被看成是所有生态系统的重要特征^[32],是自然群落结构、动态时空异质性的主要源泉和生活史进化自然选择的动力^[33],并因其在不同空间尺度上创造生境多样性的作用而在生物多样性的维持中扮演着重要的作用^[34].White等^[35]将干扰定义为:“任何扰乱种群、群落或生态系统结构,改变资源、基底可获性或物理环境,并在时间上相对分散的事件”.

就自然干扰来讲,可分为非生物和生物两类;非生物干扰是指来自诸如火、风、山崩、雪崩、火山、洪水泛滥和其它天气现象等非生命因素引起的干扰;生物干扰则主要来自昆虫、动物、病原菌等的干扰^[36].不论是生物引起的还是非生物引起的,自然干扰的特征是可以通过“自然干扰体制”进行描述

的.自然干扰体制主要包括:影响的空间尺度、干扰频率及其量级——强度和烈度的分布^[33,35].

3.2.2 自然干扰的研究方法

Rogers将干扰的基本研究方法概况为3类,即:史料、生态学调查方法和模拟^[37-38].史料包括观察记录、书面记载、历史照片和考古学证据等.生态学调查方法是指任何通过直接的野外数据或样本收集对干扰过程做进一步描述的方法.例如树木年轮学方法就是最为常见的生态学调查方法.另外常用的方法还有梯度分析、生态危机评价、密集立地研究和储存于沼泽、湖泊沉积或某些土壤中花粉的长时间系列年代分析等.模拟技术已被广泛地应用于干扰研究,包括理论模拟和仿真模拟两种基本方法.在实际的应用中,上述方法并不是孤立存在的,往往是相互结合起来使用^[37-40].另外,随着现代科学技术的发展,遥感技术也已被广泛应用于干扰研究.如Mollicone等基于遥感技术和均质随机过程特征,在西伯利亚成功地解决了由于中等年龄活立木存在火循环重叠的低频火干扰,森林因难以保存能够记录完整火循环的火致死树木而使火干扰周期无法确定的问题^[40].

3.2.3 森林经营的自然干扰模型

Hunter最先把通过森林经营模仿自然干扰的大小频率分布与维持生物多样性联系在了一起.他注意到:“对于任何特定类型的干扰,往往小尺度的干扰事件在数量上大于大尺度的干扰事件,仿效这一干扰的格局能够在空间上维持多样的森林景观,为具有不同空间要求的很广泛的生物提供适宜的生境”^[34].当然其中存在这样的假设:“森林中的生物是适应于自然干扰的,如果森林中与木材收获关联的生态变化同自然干扰相类似,那么生物将通过仿效很容易跟这种生态变化相适应”^[41].

基于上述假设,Hunter^[41]提出了模仿自然干扰,以生物多样性为内在价值规范的森林经营理论,即森林经营的“自然干扰”理论和“自然干扰模型”.并指出可以通过以下3种基本方式将自然干扰体制作为森林可持续经营的收获模型:①在收获频率上与周期性的自然干扰体制相匹配;②收获面积及其在景观上的分布与火、风和枯死木、倒木等制造的干扰格局相匹配;③使收获土地上遗弃的剩余有机类物质类似于自然干扰后留下的残余物.在以上3个方面,都已有大量的相关报导,如Hunter^[41]、Lee等^[42]、Armstrong^[39]和Frelich^[38]的研究.这一基于“自然过程可被近似模仿来足以维持生物物种在自然或近自然种群水平”的自然干扰森林经营模型也被称为生态系统经营的“粗过滤”途径(方法)^[43-44].当然,与此

相对应的还有以特定目标种或关键种为对象的“过滤”方法^[34, 45-46]。

看到这里也许有人会说,这和森林永续利用有什么区别,不是还离不开对森林的采伐吗?是的,在可以预见的未来,人类肯定不可能完全摆脱对森林的木材需求。关键是满足这样需求的森林经营理论是以什么为价值规范。历史已证明,基于“法正林”理论和模型的森林经营,是以木材的永续收获为内在的价值规范。在这一价值规范下,人类的森林经营活动是围绕木材的生产而展开的,并因此规定了森林经营所采用的理论、方法和相对应的森林结构。而基于“自然干扰”体制理论和模型的森林经营,是以生物多样性的维持为内在的价值规范,使得森林经营所采用的理论、方法和相对应的森林结构发生了根本性的改变。如图 2 所示,在具有相同立地条件的森林经营面积上,以 100 年为轮伐期的法正林年龄结构与 100 年为周期的随机自然干扰产生的年龄结构是完全不同的^[2, 6, 8]。

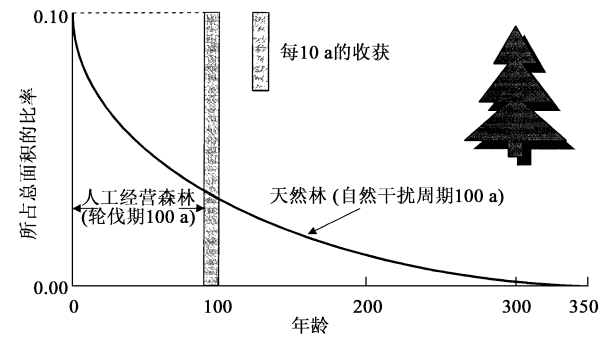


图 2 法正林与随机干扰森林年龄结构的比较
FIGURE 2 Comparison of age structures resulting from a regulated forest versus the natural distribution produced by random disturbances

当然这并不是说基于“自然干扰模型”的森林经营没有问题。首先,这一理论物种生存适应的前提假设是否成立和具有普适性,需要检验;其二,人为的采伐干扰不可能完全模仿自然干扰的物理和化学过程;其三,人类的价值观和伦理不可能完全容忍对自然干扰的效仿;其四,当然还会有森林经营的成本和效益问题。因此,以“自然干扰模型”作为森林经营的理论模型,并不意味着森林经营是“惟”自然干扰,其核心思想是通过森林自然干扰体制的认识,从中获取相关信息,以指导森林经理实践。

4 结束语

自“林学”作为一门科学产生以来的约两个世纪中,虽然普遍认为经过了永续收获林业、多用途林业,但从指导森林经营的理论来看,并没有产生像“法正林”理论和模型一样真正属于多用途林业的森

林经营理论。因而森林经营的永续利用理论和法正林模型代表了包括多用途永续收获在内的以木材永续收获为目标的森林经营理论,这一森林经营的理论和模型仍旧适合商品林的经营,特别是人工集约经营的商品林。

随着人类可持续发展观的确立,也带来了森林经营和林业发展观的转变。从永续收获林业到可持续林业的转变,首先是森林经营的目标从木材收获转向了以生物多样性为本质体现的生态系统完整性的维持,并进一步发展形成了与目标价值取向内在相统一的森林经营理论和模型,即森林经营的可持续性理论和自然干扰模型。

参 考 文 献

[1] PERRY D A. The scientific basis of forestry[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1998, 29: 435-466.

[2] DAVIS L S, JOHNSON K N, BETTINGER P S, et al. *Forest management* [M]. 4th ed. New York: MacGraw-Hill, 2001.

[3] WIERSUM K F. 200 years of sustainability in forestry: lessons from history[J]. *Environmental Management*, 1995, 19: 321-329.

[4] KRUTILLA J V, HAIGH J A. An integrated approach to national forest management[J]. *Environmental Law*, 1978, 8: 57-68.

[5] SAF (Society of American Foresters). *Task force report on sustaining long-term forest health and productivity* [M]. Bethesda, MD: SAF Publ, 1993.

[6] SEYMOUR R S, HUNTER M L, Jr. Principles of ecological forestry [M]//HUNTER M L, Jr. *Maintaining biodiversity in forest ecosystems*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999: 22-61.

[7] DAVIS L S, JOHNSON K N. *Forest management* [M]. 3rd ed. New York: MacGraw-Hill, 1986.

[8] LINDENMAYER D B, FRANKLIN J F. *Conserving forest biodiversity: a comprehensive multiscaled approach* [M]. Washington D C: Island Press, 2002.

[9] ANGERMEIER P L, KARR J R. Biological integrity versus biological diversity as policy directives[J]. *Bio Science*, 1994, 44: 690-697.

[10] HARPER J L, HAWKSWORTH D L. Biodiversity measurement and estimation[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 1994, 345: 5-12.

[11] BARBOUR M T, SWIETLIK W F, JACKSON S K, et al. Measuring the attainment of biological integrity in the USA: a critical element of ecological integrity [J]. *Hydrobiologia*, 2000, 422: 453-464.

[12] KARR J R, DUDLEY D R. Ecological perspective on water quality goals[J]. *Environmental Management*, 1981, 5: 55-68.

[13] KARR J R. Assessment of biotic integrity using fish communities [J]. *Fisheries*, 1981, 6: 21-27.

[14] GAMMON J R, SIMON T P. Variation in a great river index of biotic integrity over a 20-year period [J]. *Hydrobiologia*, 2000, 422: 291-304.

[15] HARIG A L, BAIN M B. Defining and restoring biological integrity in wilderness lakes[J]. *Ecological Applications*, 1998, 8: 71-87.

- [16] KARR J R. Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management [J]. *Ecological Applications*, 1991, 1, 66-84.
- [17] LOREAU M, NAEEM S, INCHAUSTI P. Biodiversity and ecosystem functioning: the emergence of a synthetic ecological framework [M]// LOREAU M, NAEEM S, INCHAUSTI P. *Biodiversity and ecosystem functioning: synthesis and perspectives*. Oxford: Oxford University Press, 2002; 3-11.
- [18] STEVENSON R J, HAUSER F R. Integrating hydrogeomorphic and index of biotic integrity approaches for environmental assessment of wetlands[J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 2002, 21, 502-513.
- [19] YODER C O. Policy issues and management applications for biological criteria [M]// DAVIS W S, SIMON T P. *Biological assessment and criteria: tools for water resources planning and decision making*. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995; 327-343.
- [20] CARIGNAN V, VILLARD M. Selecting indicator species to monitor ecological integrity: a review [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2002, 78, 45-61.
- [21] BRADFORD D F, FRANSON S E, NEALE A C, et al. Bird species assemblages as indicators of biological integrity in Great Basin Rangeland [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1998, 49, 1-22.
- [22] O'CONNELL T J, JACKSON L E, BROOKS R P. A bird community index of biotic integrity for the Mid-Atlantic Highlands [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1998, 51, 145-156.
- [23] ANDREASEN J K, O'NEILL R V, NOSS R, et al. Considerations for the development of a terrestrial index of ecological integrity [J]. *Ecological Indicators*, 2001, 1, 21-35.
- [24] KARR J R. Ecological integrity and ecological health are not the same [M]// SCHULZE P C. *Engineering within ecological constraints*. Washington DC: National Academy Press, 1996; 97-109.
- [25] HUNTER M L, Jr. Biological diversity [M]// HUNTER M L, Jr. *Maintaining biodiversity in forest ecosystems*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999; 3-21.
- [26] LOREAU M, NAEEM S, INCHAUSTI P, et al. Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges[J]. *Science*, 2001, 294, 804-808.
- [27] PFISTERER A B, SCHMID B. Diversity-dependent production can decrease the stability of ecosystem functioning[J]. *Nature*, 2002, 416, 84-86.
- [28] CARDINALE B J, PALMER M A, COLLINS S L. Species diversity enhances ecosystem functioning through interspecific facilitation[J]. *Nature*, 2002, 415, 426-429.
- [29] CHRISTENSEN N L, BARTUSKA A M, BROWN J H, et al. The report of the Ecological Society of America Committee on the scientific basis for ecosystem management [J]. *Ecological Applications*, 1996, 6, 665-691.
- [30] LOREAU M, NAEEM S, INCHAUSTI P. Perspectives and challenges [M]// LOREAU M, NAEEM S, INCHAUSTI P. *Biodiversity and ecosystem functioning: synthesis and perspectives*. Oxford: Oxford University Press, 2002; 237-242.
- [31] WHITE P S. Pattern, process, and natural disturbance in vegetation [J]. *Botanical Review*, 1979, 45, 229-299.
- [32] AGEE J K. *Fire ecology of pacific northwest forests* [M]. Washington DC: Island Press, 1993.
- [33] SOUSA W P. The role of disturbance in natural communities [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1984, 15, 353-391.
- [34] HUNTER M L. *Wildlife, forests, and forestry: principles of managing forests for biological diversity* [M]. New Jersey: Prentice Hall, 1990.
- [35] WHITE P S, PICKETT S T A. Natural disturbance and patch dynamics: an introduction [M]// PICKETT S T A, WHITE P S. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Orlando: Academic Press, 1985; 3-13.
- [36] PARMINTER J. Natural disturbance ecology [M]// VOLLER J, HARRISON S. *Conservation biology principles for forested landscapes*. Vancouver: University of British Columbia Press, 1998; 3-41.
- [37] ROGERS P. Disturbance ecology and forest management: a review of the literature [M]// USDA, Forest Service, Intermountain Research Station. *General Technical Report INT-GTR-336*. USDA, 1996.
- [38] FRELICH L E. *Forest dynamics and disturbance regimes* [M]. New York: Cambridge University Press, 2002.
- [39] ARMSTRONG G W. A stochastic characterisation of the natural disturbance regime of the boreal mixedwood forest with implications for sustainable forest management [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1999, 29, 424-433.
- [40] MOLLICONE D, ACHARD F, MARCHESINI L B, et al. A remote sensing based approach to determine forest fire cycle: case study of the Yenisei Ridge dark taiga [J]. *Tellus Series B*, 2002, 54, 688-695.
- [41] HUNTER M L. Natural fire regimes as spatial models for managing boreal forests [J]. *Biological Conservation*, 1993, 65, 115-120.
- [42] LEE P C, CRITES S, NIETFIELD M, et al. Characteristics and origins of deadwood material in aspen-dominated boreal forests [J]. *Ecological Applications*, 1997, 7, 691-701.
- [43] ARMSTRONG G W, ADAMOWICZ W L, BECK J A, et al. Coarse filter ecosystem management in a nonequilibrating forest [J]. *Forest Science*, 2003, 49, 209-223.
- [44] HUNTER M L, JACOBSON G L, WEBB T. Paleoeecology and the coarse-filter approach to maintaining biological diversity [J]. *Conservation Biology*, 1988, 2, 375-385.
- [45] NOSS R F. From plant communities to landscapes in conservation inventories: a look at the nature conservancy (USA) [J]. *Biological Conservation*, 1987, 41, 11-37.
- [46] TRACY C R, BRUSSARD P F. Preserving biodiversity—species in landscapes [J]. *Ecological Applications*, 1994, 4, 205-207.

(责任编辑 冯秀兰)