

干扰生态学：一门必须重视的学科

魏晓华^{1,2}

(1. 江西农业大学 园林与艺术学院, 江西 南昌 330045; 2. 加拿大不列颠哥伦比亚大学(UBC) 地球与环境科学系, 基隆纳市, 加拿大 V1V 1V7)

摘要: 干扰可区分为自然干扰与人为干扰。干扰以不同的方式可发生在任何时间、任何地点。干扰对任何生态系统的影响可以是轻微的, 也可以是深刻的甚至毁灭性的。干扰(例如森林大火、洪水)因其对生命财产带来损失而往往被称为灾害。然而, 干扰的生态意义则往往被忽视。在全球气候变化及人类干扰不断加剧的情景下, 研究干扰生态学具有重要的科学意义及广泛的应用前景。本文介绍干扰的定义与概念, 重点比较人为干扰与自然干扰的区别及干扰的生态意义。在此基础上, 论述生态系统对干扰的弹性, 讨论干扰的模仿及定量估算。

关键词: 干扰; 自然干扰; 人为干扰; 生态学

中图分类号: Q14 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000 - 2286(2010)05 - 1032 - 08

Disturbance Ecology: A Science Needing Attention

WEI Xiao-hua

(University of British Columbia (Okanagan) 3333 University Way, Kelowna, BC, Canada, V1V 1V7)

Abstract: Disturbance can be divided into natural and human disturbances. Disturbance can occur anywhere and anytime by any ways. Effects of disturbance ranges from minor to catastrophic. From a social and economic perspective, disturbance is always viewed as disaster. However, its ecological significance is often ignored. It is important to study disturbance ecology, particularly under the climate change impact and intensification of human intervention. In this paper, the concept and key characteristics of disturbance are introduced and detailed discussion on difference between human disturbance and natural disturbance, and the ecological role of disturbance are presented. In addition, the paper describes how we can emulate natural disturbance and how we quantify disturbance.

Key words: disturbance; natural disturbance; human disturbance; ecological role

由于全球气候变化的影响及人类对自然系统破坏的不断加剧, 许多灾害式干扰(例如泥石流、洪水、森林大火、干旱等)变得更加频繁且具有毁灭性。例如近期在中国发生的 2008 年的大冰雪灾害及 2010 年发生的许多洪水与泥石流就是典型的案例。从社会经济角度来讲, 这些干扰常被称为灾害。但

收稿日期: 2010 - 09 - 16

基金项目: 加拿大不列颠哥伦比亚省与中国国家科技部联合资助项目(ICSD - 2007 - Wei - Kimmins)和江西农业大学梅岭学者启动资金资助项目

作者简介: 魏晓华(1963—), 男, 江西南昌人。1983 年 7 月本科毕业于江西农业大学林学系; 1990 年博士毕业于东北林业大学; 1994—1996 年在加拿大不列颠哥伦比亚大学(UBC)著名的森林生态学教授 J. P. Kimmins 指导下从事博士后研究。现为 UBC 大学的教授、加拿大不列颠哥伦比亚省特聘流域生态研究首席科学家、江西农业大学园林与艺术学院梅岭学者。主要研究流域为生态水文、气候变化影响、碳汇林业及流域生态综合模拟与管理。共发表学术论文 60 余篇。目前是国际刊物《Forest Ecology and Management》编委及中华海外生态学会副主席。E-mail: adam.wei@ubc.ca。

从生态上讲,这些干扰也许是自然生态系统中的一部分或一个重要环节。只是这些看似自然干扰的干扰在人类不断破坏下已不再“自然”了,它们的影响也常超出“自然干扰”所产生的变异范围。如何正确认识干扰(包括自然干扰与人为干扰)及它们的影响对指导我们应对干扰及管理干扰都有十分重要意义。然而,对干扰的研究(特别在自然干扰与人为干扰的区别方面)甚少,对干扰的生态意义认识不足,甚至认为干扰就是破坏或灾害。根据作者的文献检索,至目前为止,中国还未有一部对干扰生态学作过系统研究的论著。在国外也只有 Pickett 和 White 编著的《The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics》^[1]与 Johnson 和 Miyanishi 编著的《Plant Disturbance Ecology: the Process and the Response》^[2]等书籍。鉴于干扰的普遍性及对社会、经济与环境的重要性,发展干扰生态学刻不容缓。

生态系统的定义是指在一个特定系统中生物(树、林下植物、微生物等)与生物,生物与其物理环境的相互作用。尽管有不同的定义,但生态系统的核心在于生物与环境的相互作用,包括各种能量与物质的交换,且这些相互作用随着生物的演替或环境变化而改变。简之,生态系统是一个动态的系统,从来不是一个静止的系统,它所具有的平衡也是动态平衡。在自然的森林生态系统中,森林植物作为重要的生物群体是不断发生演替变化的,这种演替过程不仅使森林物种发生变化,也改变其物理环境。在演替的最后阶段,森林植被成为顶极群落,这种顶极群落往往是与一个地区的气候特征(水、热)一致的。由于顶极群落的主要树种具有自我更新的能力,从而使处于顶极群落演替阶段的生态系统可维持较长一段时间。但最终该系统的生物群体会被干扰(火灾、病虫害、龙卷风等生物或非生物的干扰)所毁灭,物理环境也因干扰发生明显的改变。这种被改变的物理环境又为演替之最初阶段的先锋物种创造了条件而得到发展、演替。系统的生物与其环境也因这种演替过程而得到恢复。因此,可以看出,自然森林生态系统是在这种干扰—恢复—再干扰—再恢复的循环中所维持与发展的。也可以进一步得出,干扰是自然森林生态系统过程中不可缺少的一部分,对一个特定的系统的结构与功能有其重要的生态学意义。

生态系统除了发生自然干扰外,还经历人类的干扰,例如森林采伐、城市化、采矿、污染等。由于全球人口的不断增加,对自然资源需求的增长,导致人类对自然生态系统更大的干扰与破坏,进而引发一系列的生态问题,例如物种消失与生物多样性的减少,水土流失加重,流域系统功能的退化,洪涝与旱灾频繁等等。在森林生态系统中,由于不断的毁林开荒,林地农业化与城市化,使得全球森林面积正以较快的速度减少。有些森林生态系统在未发生毁灭性的自然干扰之前,就被人类所干扰。事实上,人类干扰正在逐步取代自然干扰而成为更重要的系统干扰过程。既然自然生态系统是需要自然干扰的,为什么人类干扰就会产生一系列的生态问题呢?既然森林树木最终会被火烧掉或被病虫害所毁灭,为什么不能大面积砍伐它而将其为人类所用?要回答这一问题就必须理解自然干扰与人类干扰及其它们的影响的区别。一般来讲,人类干扰所产生的影响范围往往超出由自然干扰所产生的变化范围,而这种超出就可能引起生态问题。在实际应用上,不少研究者提出应模拟自然干扰来设计林业的经营管理措施。目前,这方面的研究已是森林生态研究的前沿课题之一,并得到广泛的重视,特别是在火灾频繁的高纬度的北方针叶林地区。

在森林为主的流域系统中,干扰(自然或人为)既改变或重组陆地生物群落,影响陆地的物理环境,同时,也改变水生系统(河流、沼泽、湿地或湖泊等)的生物群落与物理环境。例如森林火灾后,陆地上的树木被烧死,地面上的枯林落叶也被烧掉,土壤表面也变得具有隔水作用。这些影响使水土流失加大,地表与洪峰径流增加,从而使水生系统中的水文与水质,泥沙输入及河流形态都发生变化。由于水生系统中的物质与能量的改变,进而导致水生生物类型的改变。因此流域中自然干扰不仅循环(干扰—恢复)陆地生态系统,也循环水生生态系统,且陆地与水生生态系统是相互联结的。认识这一点对研究干扰对流域生态系统是十分必要的。

1 干扰的概念与特点

Pickett 和 White^[1]提出干扰的概念是指在时间序列上一个中断系统与生物群落,并改变资源与物理环境的间断的事件。此概念清楚地表明下面两点:第一,干扰是一个间断的事件,相对于一个森林生态系统的慢长发展来讲,干扰(例如火灾)持续的时间很短;第二,只有那些能够明显改变系统的生物及非生物的事件才称得上干扰,这也意味着一些事件可能因其对生物与环境的影响较小而不应称为干扰。

比如,一个强度很低且范围较小的地面林火,或病虫害事件,因它们不能够把一定数量的树木杀死,且不能明显改变生态环境,这样的小规模、小强度事件就不应被称为自然干扰。又例如,从森林中采伐或疏伐几株树,也称不上人为干扰。

在研究干扰时,一般用下列特征来描述干扰:类型、频率、被干扰度(severity)、干扰强度、分布和面积(表1)。

表 1 描述干扰的参数(引用和补充文献 Pickett and White,1987 和 Agee,1993)

Tab.1 Commonly-used parameters for describing disturbance (modified from Pickett and White,1987 and Agee,1993)

描述干扰的参数 Disturbance parameters	解释 Interpretation
类型(Type)	指干扰的原因。例如火灾、病虫害、风倒等。
频率(Frequency)	干扰事件再发生的机会或概率或发生周期。例如一特定森林类型中,火灾发生的概率是 0.01 或用发生周期来表达为 100 年一遇(发生周期(年)=1/概率 P),即平均每隔 100 年就会有一次火灾。
被干扰度(Severity)	指被干扰所影响的程度。例如森林火灾后,多少生物量或树木被火烧掉了。
干扰强度(Intensity)	干扰事件的强度。例如表达风暴干扰的风速,火烧的温度等。应当注意干扰强度有别于被干扰度,前者指干扰事件的强弱而后者是指系统被干扰后所受到的影响。
分布(Distribution)	指干扰事件在空间上与时间上的分布。例如火烧常在一个景观或流域尺度上形成不规则的空间格局。在时间上火灾常发生在早期,且成熟林中较易发生。
范围(Area)	系统被干扰后所受影响面积。面积较小的属小规模干扰而面积较大的常被称为大规模的干扰。

尽管用特定的参数来表达干扰,但这些参数常常代表着该参数的平均值。应该特别强调的是自然干扰及其所产生的影响呈现巨大的变异性(variability)。例如我们在描述加拿大 BC 省小杆松的火烧频率时,一般用每 100 年就会发生一次火灾来表达,但这只是一个平均数,而实际上出现火灾的发生周期的范围是 40 ~ 250 年左右。干扰的巨大变异性也就意味着干扰的影响也具有巨大的变异性。干扰的变异性除了体现在不同干扰事件之间外,还可呈现在同一干扰事件之内。任一干扰事件其发生由于空间异质性,其作用与影响不会一致。例如森林火烧时,由于地形及森林内的燃料不一致,火灾所产生的影响会出现很大的空间变异性。认识干扰及其影响的变异性是正确理解与应用干扰生态学的前提。

2 自然干扰与人为干扰

2.1 自然干扰

在自然生态系统中,自然干扰常包括森林火灾、病虫害、风倒等。所有森林系统都会经历自然干扰。

林火是森林系统中最常见的一种自然干扰。对于大多数世界森林流域系统来讲,过去发生的森林火干扰的周期是 50 ~ 350 年(有时可高达 500 年)。一般来讲,一种类型的森林有与气候相一致的林火发生周期。比如,中国广东省鼎湖山的亚热带常绿森林的林火周期约为 400 年,加拿大 BC 省中部半干旱的小杆松森林的林火周期为 100 ~ 125

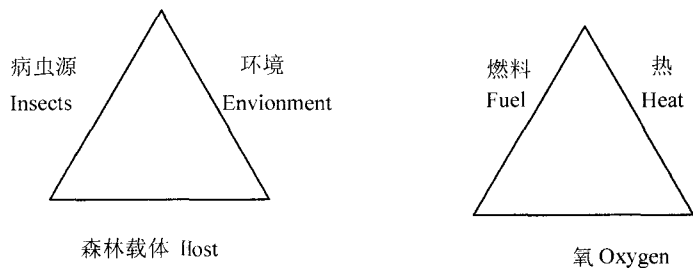


图 1 病虫与火干扰的三角形

Fig.1 Triangulars of insect and wildfire disturbances

年,而其南部干旱的 ponderosa 森林则是 25 ~ 50 年。一个典型的林火燃烧包括 4 个主要阶段,即预热、火焰燃烧、炭燃烧和冷却阶段。每个阶段都取决于燃料、热度与氧三个因素的配合(这三个因素常被称作火的三角形,图 1)。

由于林火的变异很大,对林火系统的分类一直是一个重要的研究与应用的课题。例如 Hardy 等^[3]根据林火的干扰度与频度的结合将美国西部地区林火划分为五类(0~35年/低度至混合度燃烧,0~35年/高度,35~100年/混合度,35~100年/高度,100年/高度)。Agee^[4]则利用火的干扰度将林火划分为三个类别:低度燃烧林火,混合度与高度燃烧的林火,并进一步指出以混合度燃烧的林火比较普遍,应受到更多的重视。林火特别是毁灭性高度燃烧的林火对生态系统影响十分深刻。

当森林成为成熟或过熟林时,它们常易遭受各种病虫害的侵害或干扰。这些干扰可能是小范围、局部的,也可能是大范围的、毁灭性的。病虫害既有当地的,也可能是外来入侵的。随着人口的流动及国家与地区之间日益增长的贸易,外来入侵病虫害种源已经成为目前一个重要研究课题。病虫害干扰的发生取决于三个因素的配合(又称:病虫害干扰的三角形,即:病虫害源、环境与森林载体(host))(图1)。毫无疑问,发生病虫害干扰首先是有病源或能产生灾害的昆虫,其次是适合的物理环境有助于病虫害种源的发生与蔓延,而树木作为病虫害发生的载体(host)。这三个因素,缺一不可。例如,松天牛干扰是加拿大BC省中部地区小杆松林的最主要的虫害,它常发生于成熟的松林中,幼林内很少发生。每年的冬天持续低温常把天牛产生在树干内的卵杀死,从而控制一定的天牛数目,但如果冬天的低温不至于控制或大范围内杀死天牛的卵,则来年就意味着有更多的天牛侵害树木,甚至造成大面积的虫害。值得一提的是,森林病虫害的干扰常与火灾干扰连在一起或者它们共同干扰于森林。再以加拿大BC省小杆松林为例来说明,天牛杀死松树后,森林里便有大量的燃料,这就为火干扰创造了条件。

2.2 人为干扰

人为干扰是指人类为了满足对自然资源的需求与利用而对自然系统作出的改变。例如森林采伐、采矿、道路修建、水资源不合理利用及排污等等。人类干扰随着人口的不断增加而增强。例如世界森林资源由于采伐及林地农田化,正以较快的速度减少。而森林的减少及不断增加的CO₂的排放,造成空气中CO₂等增温气体在过去几十年内增加几十倍,使得全球面临气候变暖的巨大威胁。

理解人为干扰对自然系统的影响是十分重要的。由于工业化的不断推进,大量的污染物通过水或气等作为载体而进入并污染自然生态系统。这些污染物不仅对许多生物造成十分严重的破坏,对人类的健康也是十分危害的。在森林流域中,森林采伐可以说是最重要的人类干扰。森林采伐特别是大面积的皆伐对流域系统的各个过程都有一定的影响,且这种影响直接取决于采伐的面积、强度及采伐的方式。采伐面积越大,其影响也越大。生态过程往往存在临界值,这个临界值是指只有当干扰(例如采伐)的影响达到一定强度时,这些生态过程便可发生统计学上的明显改变。例如,许多研究表明,在一个森林流域中,当采伐面积达到或超过30%时,流域中的径流(特别是洪峰值)就会发生明显的变化,而当采伐强度低于这个临界值时,径流的变化在统计指标上变化不明显。当然,此临界值还取决于其它因素(流域的特征、气候等)。

在森林采伐方面,根据采伐利用水平可区分为:树干采伐、整株采伐和全树采伐。树干采伐是将树干拿走,但枝条和叶子留在林地上。整株采伐是将所有的树干、枝条和叶子全部拿走,而全树采伐还另外包括根的生物量的拿走。不同的采伐利用强度,其对环境的影响是不同的。例如树干采伐留下的枝条因含有大量的养分,对土壤生产力就有较重要的作用,且这些枝叶对保持土壤下渗能力,控制水土流失及为一些小型动物提供生境都有生态上的意义。然而这些枝叶也可能在一些系统中诱发或传播病虫害或为火灾提供了燃料。全树采伐不仅影响地上部分,也直接影响地下部分的生物量及土壤理化特性,对系统的影响最大。

森林采伐不仅仅是将树木拿走,还包括修路及采伐后的炼山过程。为了采伐,修路与维持是必须的,特别在北美,机器采伐是最主要的采伐工具,而要使采伐机器到达采伐地及采伐后的木头能运出,就必须筑路。可以讲,筑路是采伐的一个重要部分。许多研究表明,筑路对流域的水文有重要的影响^[5]。修筑的道路可将坡面上的地表径流或一部分壤中流拦截,而被拦截的径流汇入路旁的沟中。所以,筑路具有明显的汇流作用,其结果是使径流峰值发生的时间提早、峰值加大。此外,筑路还可诱发坡面的泥石流,增加水中的泥沙含量等。森林被伐后,剩下的林叶被烧掉,其目的是为了减少火灾或病虫害的作用,但这种“炼山”也可减少大量的地面覆盖,增加地面径流与水土流失,也可因为土壤中养分的减少而影响土壤长期生产力。从上面的分析可看出,森林采伐不仅仅是一个将树拿走的过程,它是一个包括筑路,采伐和伐后处理的一个干扰系统。每个环节都可对系统产生影响。研究人类干扰对流域的影响,必须把干扰作为一个系统来看待。

由于自然生态系统本身的可持续性,人们往往把自然生态系统作为设计经营管理措施的重要参照。在北美,有一个较时尚的说法:“如果不知道如何经营与维持生态系统,问自然”。然而,这一思路也引起不少的争论与误导。一部分人以自然干扰为由而争辩人类干扰的正当性,认为既然森林肯定会遭受自然干扰(例如火烧),为何不能采伐而利用。也有人认为人类干扰可以模仿自然干扰,这样既可以利用自然资源为人类提供物品,又不致于破坏自然系统过程。也有的认为人类是不可能模仿自然干扰的。造成这些争论的关键是对自然干扰与人为干扰的差别没有较全面的认识。

认识自然干扰与人为干扰的差别对于人类能否模仿自然干扰便可作出一个明智的判断,也有助于在设计人类经营管理措施时尽可能考虑一些自然过程。人类干扰与自然干扰的差别主要表现在干扰本身及干扰的影响两大方面。下面主要比较一下自然干扰与人为干扰本身的区别,至于它们干扰所产生的影响方面的区别,参见 Wei 和 Sun 的著作:《流域生态系统过程与管理》^[6]。自然干扰与人类干扰的区别主要体现在下面几个方面。

①干扰的间隔或周期。人类干扰的发生周期或间隔通常是一个特定值。例如森林经营管理中的轮伐期。而自然干扰的发生周期常常有较大的变异范围(尽管平均值也常用)。例如发生在加拿大 BC 省中间小杆松流域中的火的间隔或发生周期的平均值约在 100~120 年,但其变动范围可以是 40~250 年。

②干扰的发生过程。自然干扰的发生过程常常是随机的,取决于许多因素,而人类干扰的发生过程是确定性的,取决于人类的需求与决策。

③干扰的强度。人类常用一特定的强度作用于自然系统。例如,人类利用与开发森林时,常采用皆伐方式,而自然干扰就具有非常大的变异。例如,即使是一场毁灭性的森林火灾,但由于地形等因素,也会产生不同强度的火烧,甚至有一部分树木完全未遭到任何火烧而幸存下来。

④干扰的空间格局。自然干扰作用所产生的空间大小、形状、分布与格局常是不规则的,而人类干扰(例如森林采伐)常会形成较一致的干扰形状、大小与空间分布格局。总的来讲,自然干扰常常是随机、不规则的,具有很大的变异性。而人类干扰常常是确定性的,一致性的且变异较小。那么这些不同在生态上有什么意义呢?对于我们模仿自然干扰又有什么指导价值呢?

3 干扰的生态意义

自然干扰(火、风倒、病虫害等)既然是自然生态系统中不可缺少的一部分或一个过程,它就有它的生态意义。在一个森林流域中,自然干扰不仅影响或循环陆地森林植被系统,也影响或循环与陆地系统相结合的水生系统(溪流、湿地、湖等)。干扰对陆地系统的主要生态意义表现在下面几个方面。

①增加林分尺度上的物种组成的多样性。林分被干扰后,不同的物种得以侵入,这些侵入的物种随着演替的进行,其所占的比例会不断发生变化。这种由干扰所产生的物种构成多样性以及它们的动态变化对于生物多样性来讲是非常重要的(图 2 林分物种构成在干扰后的动态变化^[7]图 3 林分物种数量与干扰强度的关系)。

②增加景观尺度上森林年龄结构的多样性与生境的异质性。由于自然干扰(频度与强度)的巨大变异性,这就产生了在景观尺度上森林年龄结构的多样性。在一个很长时间未受干扰的流域系统中,其年龄结构往往单一(以过熟林为主)。当此流域遭受自然干扰后,更多的幼龄林由于自然更新而产生了。又由于不同的年龄结构的森林有其独特的物种构成或生境条件,这就使得整个流域的生境的异质性得到增加。此外,自然干扰后,大部分树木死亡并变成枯立木或倒木。这些枯立木或倒木都是森林中重要的结构,它们既可为一部分动物提供栖息地,又是养分循环或微生物固 N 的重要场所。

③增加系统的弹性(resilience)。自然生态系统经历不断的自然干扰或“锻炼”,使其对未来干扰的

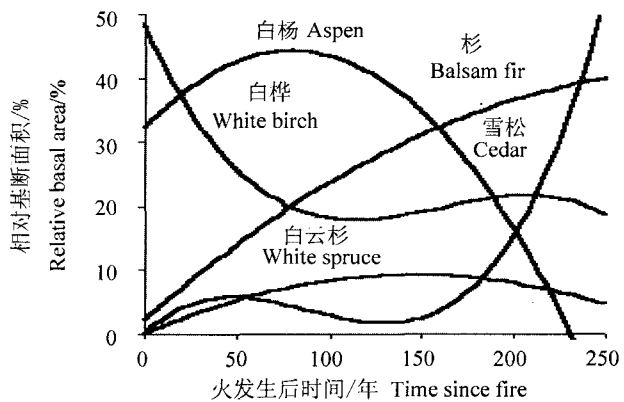


图 2 林分物种构成在火干扰后的动态变化^[7]

Fig. 2 Dynamics of forest species composition following wildfire disturbance^[7]

反应具有足够的弹性。只要未来干扰的强度不会超过某一临界值,系统在干扰后就会得到恢复。

干扰对水生系统的主要生态意义表现在以下几个方面:

①干扰可产生大量的溪流倒木(Large Woody debris or in-stream wood)。流域系统经自然干扰(特别是强度干扰)后,河岸植被也不能幸免而变成枯死木。这些枯死木会不断输入溪流而构成河流系统中重要的结构。这些溪流倒木还可由于河流运输而在整个河流网络中得到重新分布。大量的研究表明,溪流倒木对河流形态、养分循环、水生生境及河流基质等具有重要作用^[9-10]。

②干扰使河岸植被得到重组和更替,进而增加物种组成成分的多样性。河岸植被被干扰后,所产生的新的物理环境使其它不同的物种得以侵入而发展。从而增加河岸林分尺度上的物种多样性以及景观尺度上的生态系统的多样性。

③干扰还可改变河道基质的构成。在流域被干扰以后,由于水文的改变,泥石流的增加以及河岸冲刷的加强,不同直径的基质成分(石头、砾石等)也大量输入河道,从而改变河道基质构成。这种改变既有消极的一面,也有积极的一面。例如,大量的鹅卵石的增加,可提供大马哈鱼产卵所需的基质。然而大量的细泥沙的输入有可能在短时间内对水生生物产生许多负面影响,也可降低水质。

Attiwill^[11]作了一个较全面的综述,其中心的结论是,系统是需要干扰的。在认识自然干扰的生态作用的同时,我们必须充分认识干扰(包括自然干扰)对许多生态过程的负面作用,至少是在短期内的负面作用。有些负面作用还不一定能够被社会所接受。一般来讲,只要干扰的强度及其影响未能超出足以使系统崩溃的临界值,系统的各种过程就应该可以得到恢复而持续,但恢复的时间取决于干扰的影响程度。

4 自然干扰的模仿

为了满足人类发展的需要,人类就得不断开发与利用自然资源。既然人类对自然资源或系统的干扰是不可避免的,那么如何适当地利用与管理自然资源(干扰)既可满足人类发展的需要,又可维持自然系统的持续便是一个我们必须面对的选择与挑战。目前,通过模仿自然干扰过程及其影响来设计人类的经营管理措施已得到越来越多的重视。事实上,不少研究者已把模仿自然干扰作为一种新型的林业管理模式而应用^[12]。那么,什么是自然干扰的模仿呢?根据Perera和Buse^[12]的定义,自然干扰的模仿是指人类尽可能根据自然干扰在时间、空间尺度及随机过程而综合产生的结构与功能的特点而设计与应用的特定的管理措施。

尽管此概念并不复杂,但人类能否真正模仿自然干扰过程以及如何模仿却是一个极富有挑战性的、有争论性的难题。因为自然干扰具有非常大的变异性及随机性,再加上人类干扰的目的性,许多研究者认为人类不可能完全模仿自然干扰。现今所发生的许许多多的人为干扰已远远超出自然干扰及其影响^[13]。例如森林自然火烧与人类的森林采伐就难以等同。尽管二者都导致植被死亡,但前者往往消耗枝叶及小部分树干,而后者则正好相反(即搬走树干而留下大部分的枝叶)。另外,有些高强度的、毁灭性的自然干扰,人类也不会去模仿。例如毁灭性的火烧或极端的洪峰,人类出乎考虑社会经济及人类生命财产保护的需要,不但不会去模仿而且是尽可能防范与避免它们的发生。从这一点也可说明,人类不可能也无法完全模仿自然干扰及其所产生的影响。

尽管人类无法完全模仿自然干扰,但在设计和实施具体经营管理措施时,尽可能考虑一些重要的自然或自然干扰过程及其影响,对保护系统的结构与功能的持续性与完整性是可行的,也是十分重要的。

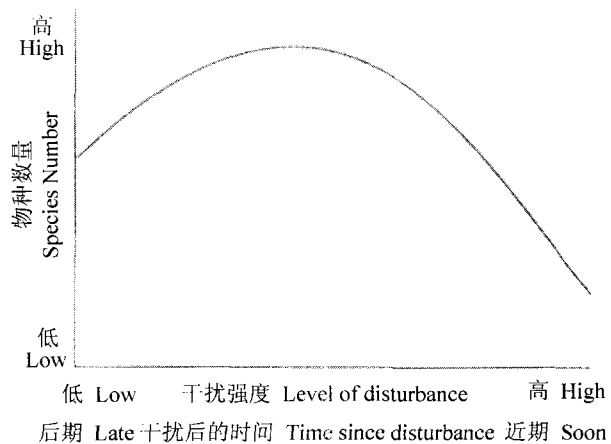


图3 林分物种数量与干扰强度的关系^[8]

Fig. 3 The relationship between number of species and disturbance intensity^[8]

①枯死木的保留。枯死木(林地上的倒木和溪流中的倒木)对养分循环,栖息地的多样性及生物多样性的维持都具有十分重要的意义。在以前的林业或流域管理措施中,这些物质常被看作是“废物”而被火烧或清除掉。由于自然干扰后,大量的倒木输入林地或河道系统中,它们在漫长的分解过程中,对系统的维持起着十分重要的作用。现代的林业或流域措施是维持一定数量的倒木,以满足生态的需要^[14]。

②不规则的保留(Variable retention)。是指在林分水平上尽可能保留一些具有重要作用的树木(例如野生动物栖息树)或结构(枯立木),而不是将所有林分内的树木砍倒或拿走。但这种策略不一定适合于所有生态系统类型。在有些森林中,采用此策略有可能诱发更多的病虫害或风倒,甚至影响树木的更新过程。此策略不仅适用于陆地上的林分,也适合于河岸植被区。在河岸植被区,应尽可能避免皆伐,应有选择性保留一定的树木,这既有助于维持河岸系统的生物多样性,也可为溪流提供倒木、遮荫及物质和能量的来源。

③流域景观的自然化设计。以往的采伐措施常是同一的林分大小与形态。而自然干扰后所产生的大小与形态都具有不确定性,无规则性的。要模仿自然过程,在景观上就需采取不同的经营措施,产生不同的采伐面积与形态。以使其尽可能接近自然干扰后所形成的景观格局。在 20 世纪 80 年代初,美国在西海岸地区为了避免过大的皆伐林分,采用了由更多小采伐林分的景观布局。实施若干年后,发现这种景观布局使整个景观破碎化,对生物多样性不利,因此放弃了这一策略,取而代之的是一种考虑自然干扰的大小与形状的景观布局(图 4)。

④冲刷水的排放。对于大多数河流来讲,兴建的水库与水坝往往造成下游水量的减少,而减少的水量往往又引发一系列的生态问题,例如泥沙的积累,水温的升高,杂草的侵入等等。为了维持水生生态系统的功能,过去采用的指导性原则是维持河流的最小水流量。但从干扰生态学角度来讲,光最小流量是不够的,应该考虑在适当的时候释放较高的冲刷水。这种流量较大的冲刷水(实际上是模仿水流的高峰值)能够重组河岸植被,冲刷河道内的泥沙及维持更健康的水流的时空变异。

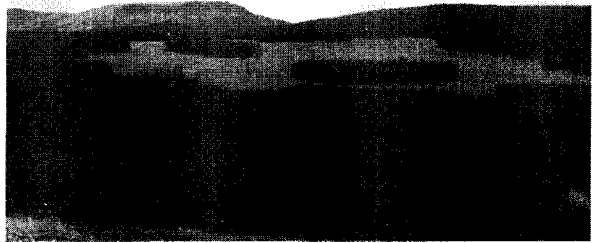


图 4 加拿大 BC 省森林工业为模仿自然干扰的形状而作的采伐空间设计与实施

Fig. 4 Emulation design and operation of natural disturbance by forest industries in British Columbia Canada

5 干扰的定量估算

定量确定自然干扰的特征(频度、强度以及它们的影响)是我们理解与应用自然干扰的前提,对于准确地设计林业与流域管理措施具有十分重要的意义。在估算自然干扰的特征方面,目前常用的概念有:自然变动的范围(range of natural variability or RNV),历史的变异(historical variability)等。这些概念包括生态系统与结构在自然状态下的动态变化与变异,其核心是自然变异性,且这种变异性是由干扰所驱动的。RNV 在世界森林与流域经营管理方面得到越来越多的应用^[15-17]。

由于流域系统具有明显时空异质性,RNV 也就取决于时间与空间的尺度的应用。在一个较大的流域内,我们可以通过分类(植被、地貌、气候或它们的综合)确定某一特定类型,然后在该类型内采取定量的方法来估算 RNV。不同的系统类型会有不同的 RNV。例如,在加拿大 BC 省南部的 Mission 流域,不同的海拔分布着不同的植被类型,而不同的植被类型又有不同的 RNV。

自然干扰的定量估算的方法或途径大致分为两大类。第一类是历史的方法。该方法主要是依据历史数据,自然干扰的历史以及历史文献来推断过去发生的自然干扰特征。研究者通常用下列途径获取干扰的历史数据:树木年龄分析、图片与卫片分析、古生态和同位素分析等。通过这些手段获取的数据可构成时间序列,再找出它们的统计分布(例如负幂或 Weibull 分布),从而对自然干扰的特征(例如频率)作出估算,具体的方法请参见文献[18]和[19]。第二类方法是计算机模拟。随着计算机技术的飞速发展,大量的环境模式已被开发和应用,例如 FIRE - BGC^[20], LANDIS^[21], SEM - LAND^[22]等,请参考 Keane 等^[23]有关此方面的综述。

选择不同的模型取决于模拟的目的和拥有的数据,但下列主要指标应尽可能考虑:①能够表达干扰的时间与空间变异;②能够表达不同干扰类型的相互作用;③能够模拟自然干扰的随机过程;④能够允许表达估算的误差。

参考文献:

- [1] Pickett S T A, White P S. The ecology of natural disturbance and patch dynamics[M]. Orlando: Academic Press, 1987.
- [2] Johnson E A, Miyanishi K. Plant disturbance ecology: the process and the response[M]. Elsevier, USA, 2007.
- [3] Hardy C C, Schmidt K M, Menakis J M, et al. Spatial data for national fire planning and fuel management[J]. International Journal of Wildland Fire, 2001, 10: 353 - 372.
- [4] Agee J K. Fire ecology of pacific northwest forests[M]. Washington D C, Island Press, 1993.
- [5] Tague C, Band L. Simulating the impact of road construction and forest harvesting on hydrologic response[J]. Earth Surfaces Processes and Landforms, 2000, 26(2): 135 - 151.
- [6] Wei Xiaohua, Sun Ge. Watershed ecosystem processes and management[M]. Beijing: Chinese Higher Education Publication House, 2009: 390.
- [7] Bergeron Y, Richards P J H, Carcaillet C, et al. Variability in fire frequency and forest composition in Canada's southeastern boreal forest: a challenge for sustainable forest management, Conservation Ecology, 1998, 2(2). <http://www.consecol.org/vol2/iss2/art6>.
- [8] Connell J H. Diversity in tropical rainforests and coral reefs[J]. Science, 1978, 199: 1302 - 1310.
- [9] Wei Xiaohua, Dai Limin. Advancement on in-stream wood ecology[J]. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(6): 1018 - 1029.
- [10] Wei Xiaohua, Kimmins J P, Zhou G. Disturbances and sustainability of long-term site productivity in lodgepole pine forests in the central interior of British Columbia—an ecosystem modeling approach[J]. Ecological Modelling, 2003, 164: 239 - 256.
- [11] Attiwill P M. The disturbance of forest ecosystems: the ecological basis for conservative management[J]. Forest Ecology and Management, 1994, 63: 249 - 302.
- [12] Perera A H, Buse L J. Emulating natural disturbance in forest management: an overview[M]. New York: Columbia University Press, 2004: 3 - 8.
- [13] Schindler D W. The cumulative effects of climate warming and other human stresses on Canadian freshwaters in the new millennium[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2001, 58: 18 - 29.
- [14] Wei Xiaohua. Natural disturbance ecology and aquatic habitat[M]. Canadian Water Resource Association Conference proceeding, 2003.
- [15] Landres P B, Morgan P, Swanson F J. Overview of the use of natural variability concepts in managing ecological systems[J]. Ecological Applications, 1999, 9(4): 1179 - 1188.
- [16] Morgan P, Aplet G H, Hauffer J B, et al. Historical range of variability: a useful tool for evaluating ecosystem change[J]. Journal of Sustainable Forestry, 1994, 2: 87 - 111.
- [17] Dorner B. Forest management and natural variability: the dynamics of landscape pattern in mountainous terrain[D]. Ph. D. Burnaby, Simon Fraser University, 2002.
- [18] Egan D, Howell E A. The historical ecology handbook: a restorationist's guide to reference ecosystems[M]. Washington, D C, Island Press, 2001.
- [19] Wong C, Dorner B, Sandmann H. Estimating historical variability of natural disturbances in British Columbia[M]. Ministry of Forests, Forest Science Program, Victoria, British Columbia, Canada, 2003.
- [20] Keane R E, Morgan P, Running S W. FIRE - BGC - a mechanistic ecological process model for simulating fire succession on coniferous forest landscapes of the northern Rocky Mountains[M]. USDA Forest Service, Missoula, Montana, United States, 1996.
- [21] Mladenoff D J, He H S. Design and behavior of LANDIS, an object-oriented model of forest landscape disturbance and succession[M]. Washington, D C, Island Press, 1999: 125 - 162.
- [22] Li C. Reconstruction of natural fire regimes through ecological modeling[J]. Ecological Modelling, 2000, 134: 129 - 144.
- [23] Keane R E, Parsons R E, Rollins M G. Predicting fire regimes at multiple scales[M]. New York, Columbia University Press, 2004.