

# 干扰的类型、特征及其生态学意义

陈利顶 傅伯杰

(中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

**摘要** 干扰是自然界中无时无处不在的一种现象,是在不同时空尺度上偶然发生的不可预知的事件,直接影响着生态系统的结构和功能演替。根据不同分类原则,干扰可以分为自然干扰和人为干扰,内部干扰和外部干扰,物理干扰、化学干扰和生物干扰,局部干扰和跨边界干扰。常见的干扰类型包括火干扰、放牧、土壤物理干扰、土壤化学干扰、践踏、外来种入侵、洪水泛滥、森林采伐、矿山开发、道路建设和旅游等。干扰主要具有以下一些特点:①多重性;②生态影响的相对性;③明显的尺度性;④是对生态演替过程的再调节;⑤是自然生态系统中不协调的现象;⑥时空尺度的广泛性。干扰的一个突出作用是导致生态系统中各类资源的改变和生态系统结构的重组。干扰的生态环境影响有利有弊,不仅取决于干扰本身性质,还取决于干扰作用的客体。适度的干扰可以促进生物多样性和生物资源的保护。因此研究干扰的性质、生态效应、有利的适度规模以及与人类活动的关系具有重要意义。

**关键词** 干扰;类型;景观异质性;生物多样性;生态学意义

## Ecological significance, characteristics and types of disturbance

CHEN Li-Ding, FU Bo-Jie (Research Center For Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

**Abstract** Disturbance as a widespread natural phenomenon is considered as a discrete event occurred in natural ecosystems at various spatial and temporal scales. The occurrence of disturbance directly influence the structure, function and dynamics of ecosystem. The following characteristics are considered as the common nature of disturbance: ① Ecological impacts of disturbance is relative for different ecosystems; ② The impacts of disturbance is changeable at different spatial scales; ③ Disturbance can regulate the ecological processes and functions of ecosystem; ④ Disturbance is always a disorder phenomenon for the normal ecosystem processes; ⑤ Disturbance is a widespread in various spatial scales and temporal scales. The most important result of disturbance is the change of ecosystem structures and regulation of resource patches in the landscape. Many results show that disturbance is sometimes helpful for increasing bio-diversity and conservation. It is significant to study the nature, types, ecological effects, certain-size disturbance and relationship with human activities.

**Key words** disturbance, types, landscape heterogeneity, bio-diversity, ecological significance

文章编号: 1000-093X(2000)04-0000-00 中图分类号: Q149 文献标识码: A

干扰是自然界中无时无处不在的一种现象<sup>[1~6]</sup>,直接影响着生态系统的演变过程。Pickett 认为干扰是一个偶然发生的不可预知的事件,是在不同空间和时间尺度上发生的自然现象<sup>[1]</sup>。由于干扰存在于自然界的各个方面,研究不同尺度干扰所产生的生态效应十分重要。目前已有许多生态学家认识到,各种类型的干扰是自然生态系统演替过程中一个重要的组成部分,许多植物群体和物种与干扰具有密切关系,尤其在自然更新方面具有不可替代的作用。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G2000046807)和国家杰出青年科学基金(49725101)资助项目

收稿日期: 1999-02-26; 修订日期: 1999-11-12

作者简介: 陈利顶(1965~),男,河南人,副研究员。主要从事景观生态、土地利用评价和区域可持续发展方面的数据

## 1 生态干扰的类型

**1.1 干扰类型的分类方法** 根据不同原则,干扰可以分为不同类型,一般有4种分类方法:①按干扰产生的来源可以分为自然干扰和人为干扰。自然干扰指无人活动介入的在自然环境条件下发生的干扰,如火、风暴、火山爆发、地壳运动、洪水泛滥、病虫害等;人为干扰是在人类有目的行为指导下,对自然进行的改造或生态建设,如烧荒种地、森林砍伐、放牧、农田施肥、修建大坝、道路、土地利用结构改变等<sup>[7-10]</sup>。从人类角度出发,人类活动是一种生产活动,一般不称为干扰,但对于自然生态系统来说,人类的所作所为均是一种干扰。②依据干扰的功能可以分为内部干扰和外部干扰。内部干扰是在相对静止的长时间内发生的小规模干扰,对生态系统演替起到重要作用。对此许多学者认为是自然过程的一部分,而不是干扰;外部干扰(如火灾、风暴、砍伐等)是短期内的大规模干扰,打破了自然生态系统的演替过程。③依据干扰的机制可以分为物理干扰、化学干扰和生物干扰。物理干扰,如森林退化引起的局部气候变化、土地覆被减少引起的土壤侵蚀、土地沙漠化等;化学干扰,如土地污染、水体污染以及大气污染引起的酸雨等。生物干扰主要为病虫害爆发、外来种入侵等引起的生态平衡失调和破坏<sup>[5]</sup>。④根据干扰传播特征,可以将干扰分为局部干扰和跨边界干扰。前者指干扰仅在同一生态系统内部扩散,后者可以跨越生态系统边界扩散到其他类型的斑块。

## 1.2 常见的干扰类型

(1)火干扰(Fire) 火是一种自然界中最常见干扰类型,它对生态环境的影响早已为人们所关注<sup>[16,41-43]</sup>。一些研究表明火(草原火、森林火)可以促进或保持较高的第一生产力。北美的研究发现火干扰可以提高生物生产力的机制在于消除了地表积聚的枯枝落叶层,改变了区域小气候、土壤结构与养分。同时火干扰在一定程度上可以影响物种的结构和多样性,主要取决于不同物种对火干扰的敏感程度。

(2)放牧(Grazing) 有人类历史以来,放牧就成为一种重要的人为干扰。不仅可以直接改变草地的形态特征,而且还可以改变草地的生产力和草种结构<sup>[3]</sup>。Milchunas 研究发现,放牧对于那些放牧历史较短的草原来说是一种严重干扰,这是因为原来的草种组成尚未适应放牧这种过程<sup>[14]</sup>。而对于已有较长放牧历史的草原,放牧已经不再成为干扰,因为这种草地的物种已经适应了放牧行为,对放牧这种干扰具有较强的适应能力,进一步的放牧不会对草原生态系统造成影响。相反那种缺少放牧历史的草场经常为一些适应放牧能力较差的草种所控制,对放牧过程反映比较敏感。一些研究发现适度的放牧可以使草场保持较高的物种多样性,促进草地景观物质和养分的良性循环,因此放牧也可以作为一种管理草场、提高物种多样性和草场生产力的有效手段<sup>[15]</sup>。然而放牧具有一定的针对性,对于某种物种适宜的,对于其他物种也许不适宜。如何掌握放牧的规模和尺度成为生态学家研究的焦点。

(3)土壤物理干扰(Soil Disturbance) 土壤物理干扰包括土地的翻耕、平整等。一般为物种的生长提供了空地 and 场所,改变了土壤的结构和养分状况,对于具有长期农业种植历史的地区,大多物种已经适应了这种干扰,其影响往往较小,对于初次受到土壤物理干扰的地区,自然生态系统往往受到的影响较大。一些研究发现土壤物理干扰可以导致地表粗糙度增加,为外来物种提供一个安全的场所<sup>[2]</sup>。土地翻耕有利于外来物种的入侵,可以减少物种的丰富度<sup>[4]</sup>。

(4)土壤施肥(Nutrient input) 另外一种重要的干扰是对土壤中养分或化学成分的改变,如化肥和农药的施用。化肥和农药施用除了在一定程度上可以导致淡水水体的富营养化外,结果是促进了某些物种的快速生长,而导致其他物种的灭绝,往往造成物种丰富度的急剧减少。土壤施肥对于本身养分比较贫缺的地区而言影响尤为突出,更为有利于外来物种的入侵<sup>[4]</sup>。这种干扰与放牧、火烧、割草相反,可以增加土壤中的养分,而放牧、火烧和割草常常是带走土壤中的养分,导致土壤养分匮乏。如何将上述几种干扰有机地结合起来,研究土壤中养分的循环与平衡,对于土地管理和物种多样性保护具有重要意义。

(5)践踏(Trampling) 与前面几种干扰相似,践踏的结果是造成在现有的生态系统中产生空地,为外来物种的侵入提供有利场所。与此同时也可以阻碍原来优势种的生长。适度的践踏,减缓优势种的生长可以促进自然生态系统保持较高的物种丰富度。然而践踏的季节和时机对物种结构的恢复、生长的影响具有显著差别,并具有针对性,践踏对于大多数物种来说具有负面的影响,但对于个别物种影响甚微。

(6)外来物种入侵 外来物种入侵是一种严重的干扰类型,它往往是由于人类活动或其它一些自然过程而有目的或无意识的将一种物种带到一个新的地方。人类主导下的农作物品种引进就是一种有目的的外来

种入侵,其结果是外来物种对本地种的干扰。如澳洲对家兔的引入,起初并未想到它们会很快适应新的生存环境,并在短时间内大面积扩散,最终成为对当地生物造成危害的一个物种,其形成的生态环境影响是深远的,在较大程度上改变了原来的景观面貌和景观生态过程。

(7)其它干扰类型 洪水泛滥、森林采伐、城市建设、矿山开发和旅游等也是人们比较熟悉的人为干扰,它们对生态系统、景观格局和过程的影响具有较大的人为性。

## 2 干扰的性质

(1)干扰具有多重性,对生态系统的影响表现为多方面。干扰的分布、频率、尺度、强度和出现的周期成为影响景观格局和生态过程的重要方面。干扰的一般性质可以概括为表 1。

(2)干扰具有较大的相对性。自然界中发生的同样事件,在某种条件下可能对生态系统形成干扰,在另外一种环境条件下可能是生态系统的正常波动。是否对生态系统形成干扰不仅仅取决于干扰的本身,同时还取决于干扰发生的客体。对干扰事件反映不敏感的自然体,或抗干扰能力较强的生态系统,往往在干扰发生时,不会受到较大影响,这种干扰行为只能成为系统演变的自然过程。

(3)干扰具有明显的尺度性。由于研究尺度的差异,对干扰的定义也有较大差异。如生态系统内部病虫害的发生,可能会影响到物种结构的变异,导致某些物种的消失或泛滥,对于种群来说,是一种严重的干扰行为,但由于对整个群落的生态特征没有产生影响,从生态系统的尺度,病虫害则不是干扰而是一种正常的生态行为。同理,对于生态系统成为干扰的事件,在景观尺度上可能是一种正常的扰动。

干扰(Disturbance)往往与生态系统的正常扰动(Perturbation)相混淆。其实,干扰与扰动在空间尺度和对生态系统的影响程度上均有较大差异。扰动一般是指系统在正常范围内的波动,这种波动只会暂时改变景观的面貌,但不会从根本上改变景观的性质<sup>[10]</sup>。干扰是指系统中一些发生的不可预知的突发事件,它对生态系统的影响可能是大范围的或局部的,但这种影响均超出了系统正常波动的范围,干扰过后,自身无法恢复到原有的景观面貌,系统的性质将或多或少地发生变化<sup>[11]</sup>。扰动往往具有一定的规律可循,具有可预测性;而干扰是不可预测的。Neilson 将二者归为一类,认为二者的区别在于前者为破坏性的,后者为一般意义上的环境波动行为<sup>[11]</sup>。

在自然界,干扰的规模、频率、强度和季节性与时空尺度高度相关<sup>[11]</sup>。通常,规模较小、强度较低的干扰发生频率较高,而规模较大、强度较高的干扰发生的周期较长。前者对生态系统的影响较小,而后者所产生的生态环境影响较大。

(4)干扰又可以看作是对生态演替过程的再调节<sup>[1]</sup>。通常情况下,生态系统沿着自然的演替轨道发展。在干扰的作用下,生态系统的演替过程发生加速或倒退,干扰成为生态系统演替过程中的一个不协调的小插曲。最常见的例子如森林火灾,若没有火灾的发生,各种森林从发育、生长、成熟一直到老化,经历不同的阶段,这个过程要经过几年或几十年的发展,一旦森林火灾发生,大片林地被毁灭,火灾过后,森林发育不得不从头开始,可以说火灾使森林的演替发生了倒退。但从另一层含义上,又可以说火灾促进了森林系统的演替,使一些本该淘汰的树种加速退化,促进新的树种发育。干扰的这种属性具有较大的主观性,主要取决于人类如何认识森林的发育过程。另一个例子是土地沙化过程,在自然环境影响下,如全球变暖、地下水位下降、气候干旱化等,地球表面许多草地、林地将不可避免地发生退化,但在人为干扰下,如过度放牧、过度森林砍伐,将会加速这种退化过程,可以说干扰促进了生态演替的过程。然而通过合理的生态建设,如植树造林、封山育林、退耕还林、引水灌溉等,可以使其向反方向逆转。

(5)干扰经常是不协调的,常常是在一个较大的景观中形成一个不协调的异质斑块,新形成的斑块往往具有一定的大小、形状。干扰扩散的结果可能导致景观内部异质性提高,未能与原有景观格局形成一个协调的整体。这个过程会影响到干扰景观中各种资源的可获取性和资源结构的重组,其结果是复杂的、多方面的。

(6)干扰在时空尺度上具有广泛性。干扰反映了自然生态演替过程的一种自然现象,对于不同的研究客体,干扰的定义是有区别的,但干扰存在于自然界的各个尺度的各个空间。在景观尺度上,干扰往往是指能对景观格局产生影响的突发事件,而在生态系统尺度上,对种群或群落产生影响的突发事件就可以看作干扰,而从物种的角度,能引起物种变异和灭绝的事件就可以认为是较大的干扰行为。

表 1 干扰的一般性质与特点<sup>[15]</sup>  
Table 1 General characteristics of disturbance

干扰的性质 Characteristics of disturbance	含义 Meaning
分布 Distribution	空间分布包括地理、地形、环境、群落梯度 Including spatial characteristics of disturbance in geographical ,topographical ,eco-environmental distribution and community grads
频率 Frequency	一定时间内干扰发生的次数 The times of disturbance occurrence within a certain period
重复间隔 Return interval	频率的倒数 ,从本次干扰发生到下一次干扰发生的时间长短 The reciprocal of the frequency i. e. ,the time between one disturbance and the next one
周期 Period	与上述类同 Same to above
预测性 Forecastability	由干扰的重复间隔的倒数来测定 Usually determined using the reciprocal of return interval
面积及大小 Area and size	受干扰的面积 ,每次干扰过后一定时间内景观被干扰的面积 The area being disturbed and the area of disturbed landscape after a disturbance
规模和强度 Scale and magnitude	干扰事件对格局与过程 ,或对生态系统结构与功能的影响程度 The degree of impact of disturbance on landscape pattern , ecological processes , or ecosystem structure and function
影响度 Influence	对生物有机体、群落或生态系统的影响程度 The degree of disturbance on organism , community or ecosystem
协同性 Concomitancy	对其他干扰的影响(如火山对干旱 ,虫害对倒木 ) The influence of one disturbance on other disturbances ( for example , volcanon on draught ,insect pest on fell log ,etc. )

3 干扰的生态学意义

长期以来 ,干扰的生态学意义一直未引起生态学家的重视 ,主要是因为以前生态学家更多考虑的是生态系统的平衡和稳定 ,关注生态演替中顶级群落的发展和形成。随着研究深入 ,发现干扰在物种多样性形成和保护中起着重要作用 ,适度的干扰不仅对生态系统无害 ,而且可以促进生态系统的演化和更新 ,有利于生态系统的持续发展。在这种意义上 ,干扰可以看作是生态演变过程中不缺少的自然现象。干扰的生态影响主要反映在景观中各种自然因素的改变 ,例如火灾、森林砍伐等干扰 ,导致景观中局部地区光、水、能量、土壤养分的改变 ,进而导致微生态环境的变化 ,直接影响到地表植物对土壤中各种养分的吸收和利用 ,这样在一定时段内将会影响到土地覆被的变化。其次 ,干扰的结果还可以影响到土壤中的生物循环、水分循环、养分循环 ,进而促进景观格局的改变。

(1) 干扰与景观异质性 景观异质性与干扰具有密切关系。从一定意义上 ,景观异质性可以说是不同时空尺度上频繁发生干扰的结果。每一次干扰都会使原来的景观单元发生某种程度的变化 ,在复杂多样、规模不一的干扰作用下 ,异质性的景观逐渐形成。Forman 和 Gordon 认为 ,干扰增强 ,景观异质性将增加 ,但在极强干扰下 ,将会导致更高或更低的景观异质性<sup>[12]</sup>。而一般认为 ,低强度的干扰可以增加景观的异质性 ,而中高强度的干扰则会降低景观的异质性<sup>[16]</sup>。例如山区的小规模森林火灾 ,可以形成一些新的小斑块 ,增加了山地景观的异质性 ,若森林火灾较大时 ,可能烧掉山区的森林、灌丛和草地 ,将大片山地变为均质的荒凉景观。干扰对景观的影响不仅仅决定于干扰的性质 ,在较大程度上还与景观性质有关 ,对干扰敏感的景观结构 ,在受到干扰时 ,受到的影响较大 ,而对干扰不敏感的景观结构 ,可能受到的影响较小。干扰可能导致景观异质性的增加或降低 ,反过来 ,景观异质性的变化同样会增强或减弱干扰在空间上的扩散与传播<sup>[16]</sup>。景观的异质性是否会促进或延缓干扰在空间的扩散 ,将决定于下列因素 :①干扰的类型和尺度 ;②景观中各种斑



块的空间分布格局 ;③各种景观元素的性质和对干扰的传播能力 ;④相邻斑块的相似程度<sup>[16]</sup>。徐化成等在研究中国大兴安岭的火干扰时 ,发现林地中一个微小的溪沟对火在空间上的扩散均将起到显著的阻滞作用<sup>[17]</sup>。

(2)干扰与景观破碎化 干扰对景观破碎化的影响比较复杂。主要有两种情况 :其一是一些规模较小的干扰可以导致景观破碎化 ,象上述所举的山区森林火灾 ,强度较小时将在基质中形成小的斑块 ,导致景观结构的破碎化。当火灾足够强大时 ,将导致景观的均质化而不是景观的进一步破碎化。这是因为在较大干扰条件下 ,景观中现存的各种异质性斑块将会遭到毁灭 ,整个区域形成一片荒芜 ,火灾过后的景观会成为一个较大的均匀基质。但这种干扰同时也破坏了原来所有景观系统的特征和生态功能。往往是人们所不希望发生的。干扰所形成的景观破碎化将直接影响到物种在生态系统中的生存和生物多样性保护<sup>[8,9,18]</sup>。景观对干扰的反应存在一个阈值 ,只有在干扰规模和强度高于这个阈值时 ,景观格局才会发生质的变化 ,而在较小干扰作用下 ,干扰不会对景观稳定性产生影响。Tang 研究了林地砍伐的物理特征与景观稳定性的关系 ,发现林地砍伐的位置在影响景观的稳定性上比砍伐林地斑块的形状更为重要 ,坡地上的林地砍伐常常会导致大面积坡面的不稳定性 ,如滑坡、泥石流、塌方等<sup>[19]</sup>。

(3)干扰与物种多样性 干扰对物种的影响有利有弊 ,在研究干扰对物种多样性影响时 ,除了考虑干扰本身的性质外 ,还必须研究不同物种对各种干扰的反应 ,即物种对干扰的敏感性。同样干扰条件下 ,反应敏感的物种在较小的干扰时 ,即会发生明显变化 ,而反应不敏感的物种可能受到较小影响 ,只有在较强的干扰下 ,反应不敏感的生物群落才会受到影响。许多研究表明 ,适度干扰下生态系统具有较高的物种多样性 ,在较低和较高频率的干扰作用下 ,生态系统中的物种多样性均趋于下降。这是因为在适度干扰作用下 ,生境受到不断的干扰 ,一些新的物种或外来物种 ,尚未完成发育就又受到干扰 ,这样在群落中新的优势种始终不能形成 ,从而保持了较高的物种多样性。在频率较低的干扰条件下 ,由于生态系统的长期稳定发展 ,某些优势种会逐渐形成 ,而导致一些劣势种逐渐淘汰 ,从而造成物种多样性下降。例如草地上的人蓄践踏 ,就存在这种特征。

干扰的影响是复杂的 ,因而要求在研究干扰时 ,必须从综合角度和更高层次出发 ,研究各种干扰事件的不同影响。研究表明 ,对自然干扰的人为干涉的结果往往是适得其反 ,产生较多负面影响<sup>[10,20]</sup>。例如适度的火灾和洪水 ,在较大程度上可以促进生物多样性保护 ,但由于火灾和洪水常常会对人类活动造成巨大经济损失 ,因此 ,常常受到人类的直接干涉。这种行为可以说是人类对自然干扰的人为再干扰 ,其结果不仅仅是导致生物多样性减少 ,同样会导致经济、社会、文化等人文景观多样性的减少<sup>[21]</sup>。

#### 4 结语

通过以上分析 ,干扰的性质和特征可以总结如下 :①干扰对于许多生态系统来说是一种常见的现象 ;②干扰的一个突出作用是导致景观中各类资源的改变和景观结构的重组 ;③干扰对生态环境的影响有利有弊 ,一方面决定于干扰本身的性质 ,另一方面取决于干扰作用的客体 ;④无论如何 ,干扰对于人类活动来说 ,是一种不希望发生的事件 ,但由于适度的干扰具有较高的生态学价值 ,因而要求在进行人类干涉时 ,必须从多方面考虑。

在研究干扰时 ,应特别关注以下几个问题 :①干扰的性质②干扰的生态影响及利弊③干扰对人类活动的影响的大小 ,干扰造成的社会经济损失与生态价值评价④适度的干扰具有较高的生态学价值 ,干扰的适度规模的确定⑤将各种干扰 (包括人为干扰)有机地结合起来 ,对自然生态系统进行优化管理。

#### 参考文献

- [1] Pickett S T A and P S White. The ecology of natural disturbance and patch dynamics ,Orlando :Academic Press INC. 1985.
- [2] Hobbs R J and L Atkins. The effect of disturbance and nutrient addition on native and introduced annuals in the western Australian wheatbelt. *Australian Journal of Ecology* ,1988 ,13 :171 ~ 179.
- [3] Hobbs R J. Disturbances as a precursor for weed invasion in native vegetation. *Plant Protection Quarterly* ,1991 ,6 :99 ~ 104.
- [4] Hobbs R J, Huennke L F. Disturbance ,diversity and invasion :implications for conservation. *Conservation Biology* ,1992 ,6 (3) :324 ~ 337.

- [ 5 ] 魏 斌,张 霞,吴热风.生态学中的干扰理论与应用实例.生态学杂志,1996,15(6):50~54.
- [ 6 ] Farina A. Principles and Method in Landscape Ecology. London :Chapman and Hall, 1998.
- [ 7 ] Theobald M D ,Miller J R ,Hobbs N T. Estimating the accumulative effects of development on wildlife habitat. *Landscape and urban planning* ,1997,39(1):25~36.
- [ 8 ] Vos C C and Chardon J P. Effect of habitat fragmentation and road density on the distribution pattern of the moor frog *Rana arvalis*. *J. of Applied Ecology* ,1998,35(1):44~46.
- [ 9 ] Fitzgibbon C D. Small mammals in farm woodlands :the effect of habitat isolation and surrounding land-use patterns. *Journal of ecology* ,1997,84(2):530~539.
- [ 10 ] White P S. Pattern ,process ,and natural disturbance in vegetation. *Bot. Rev.* 1979,45:229~299.
- [ 11 ] Neilson R P and Wulstein L H. Bio-geography of two southwest American oaks in relations to maintain diversity. *BioScience* ,1983,33:700~706.
- [ 12 ] Forman R T T & Godron M. Landscape Ecology. John Wiley & Sons. 1986.
- [ 13 ] 周道玮主编.草地火生态学研究进展.长春:吉林科学技术出版社,1995.
- [ 14 ] Milchunas D G ,Sala O E and Lauenroth W K. A generalized model of the effects of grazing by large herbivores on grassland community structure. *American Naturalist* ,1988,132:87~106.
- [ 15 ] Hopkins A and Wainwright J. Change in botanical composition and agricultural management of enclosed grassland in upland areas of England and Wales ,1970~1986 ,and some conservation implications. *Biological Conservation* ,1989,47:219~235.
- [ 16 ] Turner M G. Landscape ecology :the effect of pattern on process. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* , 1998,20:171~197.
- [ 17 ] 徐化成,李湛东,邱 扬.大兴安岭北部地区原始林火干扰历史研究.生态学报,1997,17(4):337~373.
- [ 18 ] Panek M. The effect of agricultural landscape structure on food resource and survival of grey partridge " *Perdix perdix* "Chicks in Poland. *J. Applied Ecology* ,1997,34(3):787~792.
- [ 19 ] Tang S M ,Franklin J F and Montgomery D R. Forest harvest patterns and landscape disturbance processes. *Landscape ecology* . 1997,12:349~363.
- [ 20 ] Odum W E, Smith III T J and Dolan R. Suppression of natural disturbance :long-term ecological change on the outer banks of North Carolina ,in( Turner M G ,ed ),Ecological Studies 64 :Landscape heterogeneity and disturbance. New York :Springer-Verlag ,1987,123~136.
- [ 21 ] Nassauer J I and Westmacott R. Progressiveness among farmers as a factor in heterogeneity of farmed landscapes ,in( Turner M G ,ed ),Ecological Studies 64 :Landscape heterogeneity and disturbance. New York :Springer-Verlag. 1987. 199~212.