

森林采伐对林地表层土壤主要特征及其生态过程的影响

胡小飞, 陈伏生*, 葛刚

(南昌大学 生命科学学院生物学基础实验中心, 江西 南昌 330031)

摘要:森林采伐是森林经营过程中的一类常见作业,而森林重要生态过程都离不开林地表层(土壤及覆盖物),为此,理解和把握森林采伐对林地表层的影响对于合理经营和管理森林生态系统,实现生态系统的可持续发展等具有重要意义。本文在简单回顾了采伐对森林组成、结构及其功能的影响基础上;介绍了森林采伐对林地表层温度、湿度、土壤结构、pH值、养分(C、N、P、S)等理化特性的影响;分析了土壤生物对森林采伐的反馈过程;阐述了森林采伐对林地水文、C、N转化等生态过程的作用。最后,从研究方法、研究目标和研究内容三个方面提出森林采伐影响林地表层研究的发展趋势,指出森林采伐的边缘效应和空间异质性;森林采伐后土壤生物的反应;森林采伐后的水、C、N转化和循环等生态过程及其耦合作用是目前及今后研究的三大热点。

关键词:森林采伐;林地表层;土壤理化特性;土壤生物;生态过程

中图分类号: S752 文献标识码: A 文章编号: 0564-3945(2007)06-1213-06

森林采伐是森林景观中的常见特征。国内外关于森林采伐如何影响森林组成、结构、功能及其过程的研究已有大量报道^[1-7]。不过,到目前为止,关于森林采伐的研究主要集中在以下几个方面:(1)对森林景观组成、结构变化的评价及其可持续管理^[1,2,6,7];(2)对种群动态和群落演替的影响^[3-5];(3)对环境因子如水质、小气候等的影响^[8-10]。而关于森林采伐对生态系统的林地表层及其土壤生态过程的研究近期才受到足够重视^[11-15]。林地表层物质(土壤和覆盖物)是生态系统最基本的资源,是植物营养重要的库,是不可再生的物理组分,各类经营活动必须以维护林地表层物质的持续利用为前提。森林采伐通过减少和再分配有机质,改变植物盖度和小气候,导致林地环境发生明显的变化而直接影响水文、C、N和P的转化与循环等生态过程。此外,森林采伐还会影响到生物多样性、观赏和休闲娱乐的价值^[16]。因此,弄清楚森林采伐对林地表层物质的影响,了解其土壤理化及生物学特性的变化,理解林地养分状况及其循环过程^[17],有利于从机制上搞清楚森林采伐对种群动态、群落演替和生态系统发展的影响,真正实现森林生态系统的可持续管理。为此,本文从林地表层土壤和覆盖物的理化特征、土壤生物反馈和土壤主要生态过程等3方面进行归纳,为国内深入开展森林采伐如何影响林地表层物质主要特征及其生态过程的研究提供借鉴,更好地为森林生态系统的经营、管理和可持续发展提供科学依据。

1 森林采伐对林地表层物质主要特征的影响

1.1 林地表层物质的物理环境因子

1.1.1 温度 采伐移走了森林的冠层,林地表层物质直接暴露于表面,从而增加了对太阳辐射的吸收,地表温度将有所提高^[18]。Smethurst & Nambiar(1990a)发现皆伐地同临近未采伐林地相比,表层土壤温度高出1°到2°^[19],而且林地表层将会有更多极端温度的出现^[19]。不过,温度变化还受到林地表层物质的物理特性、微地形及采伐方式等的影响^[20]。大量的研究表明,采伐后林地表层土壤温度的增幅与未采伐森林类型具有密切相关性^[17,19,21]。此外,林地表层温度的变化会直接地影响土壤水分、养分及微生物活动,从而对整个生态系统产生影响。

1.1.2 湿度 采伐对林地表层湿度的影响要比对温度的影响更加复杂。一般来说,采伐能够通过减少林冠对降水的阻截和植物蒸腾来增加土壤湿度^[16,21,22]。Smethurst & Nambiar(1990a)发现皆伐后到达林地表层的降水能增加146%;同时,皆伐后温度的增加,林地表层的蒸散增加,从而又会引起地表湿度的下降^[19]。目前,大部分研究是从水文角度来考虑采伐对土壤湿度变化的影响,例如:比较未伐与皆伐林地水分的流失,而通常不考虑地表蓄水量。近些年的研究发现未伐林地地表蓄水量比采伐林地要高^[23]。这可能是由于

收稿日期:2006-09-01;修订日期:2007-02-02

基金项目:国家自然科学基金项目(30600473)和国家科技攻关计划项目(2005BA517A)资助

作者简介:胡小飞(1974-),女,湖南浏阳人,讲师,硕士,主要从事生态系统管理方面的研究。E-mail: huxiaofei1974@hotmail.com

*通讯作者: E-mail: chenfush@yahoo.com

未伐林地比采伐林地树木水分蒸腾低的结果。此外,采伐方式对林地表层湿度的影响也存在显著差异。渐伐迹地比皆伐迹地具有更高的土壤湿度^[19]。Entry et al(1986)也发现在择伐林地地表蓄水量最高,未伐林地次之,皆伐地最低^[20]。另外,林地表层湿度的变化与立地条件等具有较高的相关性^[16]。总而言之,由于地表湿度除了与温度、养分等因子及其生态过程密切相关外,还是构成森林水文过程的重要组成部分。

1.1.3 土壤结构 森林采伐能够通过压紧、混合和破坏等明显地影响林地表层土壤物理结构^[11,24-25]。一方面,采伐作业过程将直接而迅速地破坏土壤结构;另一方面,采伐引起地表温度和湿度的变化,从而影响土壤生物活动特别是微生物的分解过程等,而使土壤矿质及养分循环发生变化,最终引起土壤结构发生演变^[22]。当然,土壤结构的改变也将反作用于地表温度、湿度、养分和生物等。不过,目前来看,森林采伐对土壤结构的破坏,主要集中在采伐后土壤侵蚀程度等方面的报道。

林地表层物质的物理环境因子包括温度、湿度和土壤结构等。森林采伐对地表温度、湿度和土壤结构的影响具有明显的交互作用,它们之间本身就是互相影响、互相反馈的过程。它们影响着林地表层的化学特性及其整个的林地物质的生态过程,也是采伐对森林地表影响最为直接和最易观测的因子。

1.2 林地表层物质的化学特性

1.2.1 pH 值 通常森林采伐后林地表层 pH 值趋向减小,这是因为采伐后硝化作用增强,同时,酸性有机物质易从枝条上淋洗下来,从而有利于 pH 值的降低^[26,29]。pH 值的变化还受到采伐方式、森林类型、立地条件和环境因子等的影响^[16]。Entry et al(1986)发现在择伐迹地 pH 值较高,未伐林地 pH 中等,皆择迹地 pH 较低^[20]。Brais et al(1995)发现在采伐林地 pH 的减小,仅发生在潮湿的地方,在干燥的地点并不发生^[30]。而满秀玲等(1998)在小兴安岭林区的研究,发现采伐后土壤 pH 值反而增加^[12]。

1.2.2 C 库 森林采伐以植物生物量的形式进行 C 的迁移。采伐方式将直接影响残留在采伐迹地上植物生物量^[16]。一般来说,采伐后能够留下大量的采伐残留物,树木地上部分枝条和叶子中包含了许多不稳定的 C^[22],树叶和树枝以腐烂的形式将不稳定的 C 留下来^[21]。此外,采伐后地下部分也可以补充大量的 C 库。采伐过程本身并不会导致森林地表有机物质的重大损失,而是伴随凋落物补充的减少,C 的损失将作为持续分解的结果而发生。传统的采伐方式(只要木材)

将导致林地表层 C 含量的中度增加^[31]。不过,只是一个时间段的输入,随着采伐后时间的推移,输入量减少,分解和呼吸作用不断损失,林地表层 C 含量会减少^[28-32]。此外,采伐后林地表层 C 库的变化还与树种、立地条件和环境因子密切相关。Brais et al(1995)发现有机物在采伐后只会从干燥地点流失,而在潮湿点不易发生;采伐后有机物质的分解和呼吸损失会在新生林分凋落物输入的平衡过程中达到一个新的平衡点^[30]。Prescott(1997)对范库佛峰岛的研究表明,新生林分在没有有机物质输入的情况下,皆伐林地需要花 20 年的时间才能达到平衡^[23]。Krause(1998)对 New Brunswick 地区新生雄性松(*Pinus spp.*)和黑云杉(*Picea spp.*)采伐更新时的研究,发现 6 年后松林就能达到新的平衡,而云杉林地大约要 10 年才能达到平衡^[28]。总之,采伐后林地表层 C 库的变化作为评价森林采伐对全球 C 循环影响中一个不容忽视的问题而日益受到重视^[22]。

1.2.3 N 库 N 对采伐迹地的反应是一个极为复杂的过程。N 被认为是许多森林生态系统植物生长的限制性元素^[18,22]。采伐带走的树干和树叶等生物量而使 N 损失^[22]。采伐对 N 的影响可以从对地表 N 库和植物可获得的有效 N 来评价。林地表层总 N 库包括林地表层物质中的无机、微生物、有机和植物等所有的 N 库。在美国 Alberta, Schmidt et al(1996)发现采伐 20 个月,林地表层物质中 N 浓度有所下降^[27]。Olsson et al(1996)对瑞典针叶林的研究表明,皆伐后 15~16 年北坡的挪威云杉林(*Picea abies*)林地表层物质总 N 库下降 22%,南坡的挪威云杉林总 N 库下降 13%;南坡欧洲赤松林(*Pinus sylvestris*)总 N 库没有变化^[33]。这说明森林采伐对于 N 库的影响受到由于地点、树种等的差异而不同。此外,林地表层 N 的含量还与采伐方式有关^[32]。另外,土壤反硝化过程和有效 N 淋溶也会造成 N 的减少。尽管如此,许多研究表明,采伐后短期内植物有效 N 将有所提高^[19,21,23,34]。Schmidt et al(1996)在 Alberta 发现,采伐 20 个月,地表有效 N 下降^[27]。通过比较皆伐迹地和未伐林地,发现硝态 N 和铵态 N 浓度均有所下降,这可能与大量 C 输入而使微生物固持 N 增加和 N 淋溶加剧有关。

1.2.4 P 库 P 对生态系统的限制作用,不仅限于对植物生长的限制,还可能对系统内其它组分和生态过程起限制作用。P 已成为许多陆地生态系统生物生长和重要生态过程的限制因子^[18,35]。在特定的生态系统中,不同的物种和生态过程可能受到不同养分的限制。在许多海岸湿地系统中,不是植物生长受到 P 的限制而是微生物的生长和活动受 P 的限制,从

而使 P 成为整个系统的限制因子^[18,36]。在一些系统内某些植物受 N 的限制,而另一些受 P 限制^[18]。森林采伐对 P 影响的研究较少,但随着对 P 在森林生态系统中作用认识的深入以及与 P 相关环境问题的日益突出,P 形态及其含量的研究也不断深入。Keenan et al (1994) 对北美洲范库弗峰岛南部的雪松-铁杉混交林的研究表明,在短期内采伐对可溶性 P 含量没有明显影响^[37]。Cade-Menun et al (2000) 的研究表明,采伐后火烧,可获得 P 浓度增加,10 年后可获得 P 浓度又恢复到采伐前的水平^[38]。

1.2.5 S 库 采伐对林地表层 S 含量的影响报道较少。在 Alberta, Schmidt et al (1996) 发现采伐 20 个月后 S 的浓度有所下降^[27]。而 Zhang et al (1999) 在 Hubbard Brook 的研究表明,采伐后林地表层 S 浓度有所提高,而林分总 S 含量基本不变,但是其组成有所变化^[29]。

此外,采伐对森林土壤其它矿质元素如 K、Ca、Mg、Fe、Mn 等也有一些报道^[39],这里不详述。总的来看,采伐对林地表层物质化学特性的影响是一个长期的过程。

2 土壤生物对森林采伐的反馈过程

2.1 土壤微生物

土壤微生物本身既是土壤养分的贮备库,也作为养分循环的重要参与者发挥着极为重要的作用。在凋落物的粉碎,植物重要养分的矿化及维持等生物过程方面,土壤微生物与土壤动物互为补充^[40]。森林采伐后,通过减少和重新分配有机物、压紧、植物盖度及微生物环境的改变而影响其生物过程。采伐后土壤微生物类群及其生物量可反映林地表层环境的变化。细菌的体积微小,但其是土壤微生物中数量最多的 1 个类群,每克高质量的土壤中所含的细菌数可达几亿至几十亿,是土壤有机质转化的重要参与者。细菌对森林采伐的反应是迅速的。采伐后生境的改变,通常导致细菌数量和多样性的增加。不过,采伐后,一些共生种如费兰克菌和根瘤菌的丢失可能导致大量固 N 菌的丧失^[40]。此外,采伐后可以提高硝化细菌的活性而反硝化细菌活性降低。为此,在森林中可以发现,采伐后氨化过程提供的 N 源超过植物的吸收量,大多数 N 以铵态 N 存在,同时,硝化细菌可利用铵态 N 作为能量而氧化成硝态 N,易移动的硝态 N 容易淋溶而丢失,故经常引起硝态 N 淋溶的提高^[18]。Liu 等(2001) 对福建的马尾松(*Pinus massoniana*)人工林的研究表明,森林采伐后的 6 个月内异养和硝化细菌有所增加,而在 18 个月内土壤中的细菌和放线菌明显减少^[41]。

2.2 土壤动物

土壤动物经常被看作生态系统的“工程师”,对林地的养分循环、群落演替和生态系统稳定性等具有重要的影响。因此,一直以来就受到广大学者的重视,关于采伐对森林地表土壤动物的影响已有大量的报道^[42-45]。采伐通常能够减少土壤动物的数量,如线虫、飞虫、蚯蚓^[42]、蜘蛛^[42-43]、环节动物^[43-44]等类群会减少,而一些其它的类群可能不变,也可能增加,如节肢动物增加^[44],而步甲虫通常不受影响。采伐后引起土壤动物减少的因素可能不同。蜘蛛的减少可能与植被的破坏和凋落物的减少有关,蚯蚓的移动可能受坚硬根系及其腐败物的阻碍^[42]。采伐后土壤动物的增加也可能受不同因素的影响。采伐后较好的水分条件有利飞蛾的生存,而藻类的生长可能吸引隐翅目甲虫^[42]。跳虫和一些单性生殖物种由于采伐留下来的死根和其它残留物使得可获得食物增加而快速增加。尽管采伐后大的类群可能不受影响,有些也可能观察不出来,但是物种的丰富度、多样性和每个物种在各群落中的比例可能发生改变。偏爱新环境的物种可能较快的增加,比如,节肢动物在采伐地明显的增加^[44]。采伐对土壤生物的影响程度随着强度的加强而加大,一般表现为皆伐>带伐>轮伐。关于采伐对土壤生物过程的长期影响的报道很少,但是能够从长期种群发生变化过程来判断其潜在的影响。从英格兰哥伦比亚森林景观来看,被火烧后的皆伐迹地,大多数的生物均恢复到最初轮伐期的状况,包括蜘蛛、大的节足动物、步甲虫等^[45],不同的物种的反映是不同的,但是只有极少数种不能从成熟林中找到。

总的来看,采伐对林地表层物质理化特性的影响,将明显的影响到林地表层的土壤生物群^[20]。而土壤生物对林地表层的养分循环、能量流动将起到极为重要的作用。因此,采伐后,土壤生物的反应是非常重要的,理应受到关注。

3 森林采伐对林地表层主要生态过程的影响

3.1 水文生态过程

森林具有涵养水源,净化水质等功能。森林采伐后对其水文过程的作用最为迅速和明显。皆伐后的林地,没有林冠的截留,水分到达采伐迹地表层的多了,而土壤结构变紧,蓄水能力可能有所下降,不过由于采伐所留枝叶等凋落物的增加,水文过程变得也复杂起来。Cosandey(1992)对 Mont Lozere 山脉南坡的采伐林地的分析,结果表明森林采伐将增加溪流水 130-150mm^[46]。美国东南部的研究表明,采伐后能够使

集水区的径流增加两倍,并且不同树种增加径流的效果不同^[18]。朱道光等(2005)对小兴安岭林区森林采伐后河川径流发生的一系列变化进行了全面系统的研究,结果表明,森林采伐后营造落叶松人工林的初期 10 年内,河川径流量表现为增加趋势;而后采伐流域的径流量逐渐减少,并趋于采伐前水平或低于采伐前水平^[9]。不过研究水分生态过程最多的还是与其它生态过程的结合,如冠层淋洗和干流对未受干扰的森林提供营养物质的潜在性^[47]。

3.2 C 转化过程

近期,关于采伐后对 C 转化过程的研究越来越热,一方面源于 C 转化过程本身与森林生态系统的生产力和稳定性关系密切,另一方面来自于 C 转化是全球变化、温室效应等环境问题的重要组成部分。尽管不同采伐方式对凋落物减少的影响程度有所差异,可以肯定地是采伐后林分冠层的减少,树木凋落物将急剧的减少^[16]。森林采伐引起环境因子及凋落物的质量发生变化,从而影响有机物质的分解速率。土壤生物的活动也因为采伐而引起的气象因子的变化而发生^[48],从而最终影响凋落物的分解及 C 转化。Zogget al(1997)发现采伐后,土壤温度的变化能引起土壤生物群的变化,不同的土壤温度和不同的基底层上,凋落物分解速度存在明显差异^[49]。通常来说,采伐迹地有更适宜于凋落物分解的土壤温度和湿度条件^[16,22]。为此,大多数学者认为分解速率在采伐迹地比未伐林地更快。Concannon(1995)在阿拉斯加州海岸线的研究,结果表明采伐迹地比林地有更高的分解速率,且采伐后短时间内(1 年)比较长时间(5 年)的迹地上有更快的分解速率^[2]。不过,Prescott(1997)在英国哥伦比亚的研究中发现与此矛盾的结论,即年龄较大的林地凋落物分解速率高于新的采伐迹地^[23]。此外,N 和 P 也能影响林地表层物质的分解速率,N 和 P 是微生物的主要营养来源,因而 N 和 P 浓度低的林地表层物质中,微生物因得不到充足的养分而使得林地表层物质 C 的降解速率减慢,从而导致 C 的转化过程变缓^[18]。

3.3 N 转化与循环过程

许多研究表明^[19,50],采伐将提高森林生态系统的土壤 N 的矿化速率,这主要是因为采伐后提高了土壤温度和湿度,减少了植物对 N 的吸收^[18,21,50-51]。Bates 等(2002)的研究表明,采伐后 1 年中可溶性 N 含量提高,而第 2 年后,同未伐林地相比差异不显著,缘于与采伐后土壤—硝态 N 的流失加剧。同时,N 矿化速率的变化还与林下物种的改变以及 C 的提高导致微生物固持 N 增加有关^[52]。Liu 等(2001)对福建马尾松

(*Pinus massoniana*)林的研究,结果表明采伐后 6 个月内,N 的矿化速率有较大的提高,而微生物 N 量在砍伐后 18 个月内一直是减少的^[41]。皆伐迹地与未干扰林分相比,为什么可提取的 N 增加,一直是争论的焦点。传统的观点认为,未干扰森林产生的硝态 N 很少,异养微生物的氨化过程占主导成分,产生的硝态 N 很快会被植物吸收。森林采伐后,植物的吸收量减少,而分解和微生物活动加强,从而矿化和硝化过程加速,导致没有植物吸收的无机 N 在土壤中积累。不过,近期的研究表明,未干扰的林地也会产生大量的硝态 N,但很快就被微生物固持了^[51,53-54]。成熟林地的硝化速度是幼龄林地(10a)的 2~3 倍^[51]。此外,有机 C 对调节森林生态系统 N 有效性具有重要的意义,为此,也尤其受到关注^[22,53-54]。皆伐林地中微生物对铵态 N 和硝态 N 的固持可能受到易分解 C 源有效性的限制,而在成熟林分中,微生物的固持不会受到 C 有效性的限制,而是 N 有效性的限制^[18]。为此,皆伐林地中硝态 N 和铵态 N 的增加,并不是因为矿化和硝化速率的提高,而是微生物的固持降低所致^[54]。可见,采伐后有机物的保存对维护采伐迹地 N 库具有极其重要的作用。

4 研究展望

4.1 研究目标

正如人类对森林的认识过程一样,林业的发展已从传统的法正林经营木材,走向森林生态系统的可持续管理,再到强调森林为人类的可持续发展服务。研究采伐对森林林地表层物质理化特性和生态过程的影响同样发生的类似的转变,即不再仅仅是评价采伐对森林产量的可持续性的影响,而是强调整个森林生态系统的可持续性,同时关注采伐后对环境问题如生物多样性、温室气体、富营养化等的影响。研究采伐对林地表层的影响,目标就是从机理上弄清森林采伐对森林生态系统可持续和人类可持续发展的影响,更好地发挥森林生态系统的经济、生态和社会三大效益,围绕全球变化、生物多样性和可持续发展等热点生态学问题进一步开展研究。

4.2 研究方法

从静态发展到格局与过程的动态研究。采伐对森林林地表层的影响已从传统的简单对比研究,发展到长期的、动态观测。从经典统计的分析,发展到考虑林地表层空间异质性的地统计学和小波分析。此外,研究者越来越重视森林采伐产生边缘效应和空间异质性的影响。这将有利于从机制上解释采伐对森林主要生态过程的影响,从而更好的解决一些森林采伐经营

过程中的问题。

4.3 研究内容

从一些静态因子如土壤结构的观测到动态因素,如 N 矿化-固持过程的研究。从可见性评价指标(如有机质等)发展到重视和关注不可见性评价指标(如土壤微生物),从单因素为研究内容到多因素,并强调各因子之间的相互作用和耦合,例如水、C、N、P 的相互作用。其中 N 与 C 生态过程的耦合得到前所未有的重视,土壤 N 生物有效性的增加,是否一定导致植物对 C 吸收的增加成为争论的焦点。P 有效性的缺乏是否引起 N 饱和等也成为科学家讨论的重点。此外,不断挖掘和重视森林土壤 N 转化过程中起作用的生态因素的影响。如土壤生物(土壤动物和微生物)的角色,尤其是微生物对土壤 N 的固持和释放过程。这既有利于完善森林生态系统主要生态过程的研究,又有利于实现森林生态系统和人类的可持续发展。

总的来看,森林采伐的边缘效应和由此产生的空间异质性;森林采伐后土壤微生物的响应;森林采伐后水、C、N 等生态过程及其耦合作用是采伐对森林表层作用过程研究的三大研究热点。

参考文献:

- [1] FRANKLIN J F, FORMAN R T T. Creating landscape patterns by forest cutting: Ecological consequences and principles [J]. *Landsc. Ecol.*, 1987, 1(1): 5-18.
- [2] CONCANNON J A. Characterizing Structure, Microclimate and Decomposition of Peatland, Beachfront, and Newly Logged Forest Edges in Southeastern Alaska [M]. Seattle, WA: College of Forest Resources, University of Washington, 1995.
- [3] 任立忠, 罗菊春, 李新彬. 抚育采伐对山杨次生林植物多样性影响的研究[J]. *北京林业大学学报*, 2000, 22(4): 14-17.
- [4] 董希斌. 森林择伐对林分的影响 [J]. *东北林业大学学报*, 2002, 30(5): 15-18.
- [5] 董希斌, 王立海. 采伐强度对林分蓄积生长量与更新影响的研究 [J]. *林业科学*, 2003, 39(6): 122-125.
- [6] SHAO G F, WANG H, DAI L M. Integrating stand and landscape decisions for multi-purposes of forest harvesting [J]. *For. Ecol. Manag.*, 2005, 207: 233-243.
- [7] MCDONALD R I, MOTZKIN G, BANK M S, et al. Forest harvesting and land-use conversion over two decades in Massachusetts [J]. *For. Ecol. Manag.*, 2006, 227: 31-41
- [8] MATLACK G R. Microenvironment variation within and among forest edge sites in the eastern United States [J]. *Biol. Conserv.*, 1993, 66: 185-194.
- [9] 朱道光, 蔡体久, 姚月峰, 等. 小兴安岭森林采伐对河川径流的影响 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16(12): 2259-2262.
- [10] WANG X, BURNS D A, YANAI R D, et al. Changes in stream chemistry and nutrient export following a partial harvest in the Catskill Mountains, New York, USA [J]. *For. Ecol. Manag.*, 2006, 223: 103-112.
- [11] 赵 康, 孙长仁. 论森林采伐作业对土壤理化性质的影响[J]. *内蒙古林业学报(自然科学版)*, 1997, 19(4):101-107.
- [12] 满秀玲, 屈宜春, 蔡体久. 森林采伐与造林对土壤化学性质的影响 [J]. *东北林业大学学报*, 1998, 26(4):14-16.
- [13] TAYLOR L A, ARTHUR M A, YANAI R D. Forest floor microbial biomass across a northern hardwood successional sequence [J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1999, 31(3): 431-439.
- [14] MARSHALL V G. Impacts of forest harvesting on biological processes in northern forest soils[J]. *For. Ecol. Manag.*, 2000, 133: 43-60.
- [15] 王立海. 森林采伐迹地清理方式对迹地土壤理化性质的影响[J]. *林业科学*, 2002, 38(6): 87-92.
- [16] KEENAN R J, KIMMINS J P. The ecological effects of clear-cutting [J]. *Environ. Rev.*, 1993, 1: 121-144.
- [17] CHEN J, FRANKLIN J F, SPIES T A. Contrasting microclimates among clearcut, edge and interior of Douglas-fir forest [J]. *Agric. For. Meteorol.*, 1993, 63: 219-237.
- [18] CHAPIN F S III, MATSON P A, MOONEY H A. Principles of terrestrial ecosystem ecology [M]. New York: Springer-Verlag, 2002, 97-223.
- [19] SMETHURST P J, NAMBIAR E K S. Distribution of carbon and nutrients and fluxes of mineral nitrogen after clear-felling a Pinus radiata plantation[J]. *Can. J. For. Res.*, 1990a, 20: 1490-1497.
- [20] ENTRY J A, STARK N M, LOEWENSTEIN H. Effect of timber harvesting on microbial biomass fluxes in a northern Rocky Mountain forest soil[J]. *Can. J. For. Res.*, 1986, 16: 1076-1081.
- [21] FRAZER D W, MCCOLL G, POWERS R F. Soil nitrogen mineralization in a clearcutting chronosequence in a northern California conifer forest[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1990, 54: 1145-1152.
- [22] FISHER R F, BINKLEY D. Ecology and Management of Forest Soils, 3rd Edition[M]. Toronto: John Wiley and Sons. 2000.
- [23] PRESCOTT C E. Effects of clearcutting and alternative silvicultural systems on rates of decomposition and nitrogen mineralization in a coastal montane coniferous forest [J]. *For. Ecol. Manag.*, 1997, 95: 253-260.
- [24] JOHNSON C E, JOHNSON A H, HUNTINGTON T G, et al. Whole-tree clear-cutting effects on soil horizons and organic matter pools[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1991a, 55: 497-502.
- [25] 邱仁辉, 周新年, 杨玉盛. 森林采伐作业环境保护技术 [J]. *林业科学*, 2002, 38(2): 144-151.
- [26] JOHNSON C E, JOHNSON A H, SICCAMA T G. Whole-tree clear-cutting effects on exchangeable cations and soil acidity[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1991, 55: 502-508.
- [27] SCHMIDT M G, MACDONALD S E, ROTHWELL R L. Impacts of harvesting and mechanical site preparation on soil chemical properties of mixed-wood boreal forest sites in Alberta [J]. *Can. J. Soil Sci.*, 1996, 76: 531-540.
- [28] KRAUSE H. Forest floor mass and nutrients in two chronosequences of plantations: Jack pine vs. black spruce [J]. *Can. J. Soil Sci.*, 1998, 78: 77-83.
- [29] ZHANG Y, MITCHELL M J, DRISCOLL C T, et al. Changes in sulphur constituents in a forested watershed 8 years after whole-tree harvesting[J]. *Can. J. For. Res.*, 1999, 29: 356-364.
- [30] BRAIS S, CAMIRE C, PARE D. Impacts of whole-tree harvesting and winter windthrowing on soil pH and base status of clayey sites of northwestern Quebec[J]. *Can. J. For. Res.*, 1995, 25: 997-1007.
- [31] JOHNSON D W. Effects of forest management on soil carbon storage [J]. *Water, Air Soil Poll.*, 1992, 64: 83-120.

- [32] SMETHURST P J, NAMBIAR E K S. Effects of slash and litter management on fluxes of nitrogen and tree growth in a young *Pinus radiata* plantation[J]. *Can. J. For. Res.*, 1990, 20: 1498-1507.
- [33] OLSSON B A, STAAF H, LUNDKVIST H, et al. Carbon and nitrogen in coniferous forest soils after clear-felling and harvests of different intensity[J]. *For. Ecol. Manag.*, 1996, 82: 19-32.
- [34] TITUS B D, ROBERTS B A, DEERING K W. Nutrient removals with harvesting and by deep percolation from white birch (*Betula papyrifera*) sites in central Newfoundland[J]. *Can. J. Soil Sci.*, 1998, 78: 127-137.
- [35] KELLOGG L E, BRIDGHAM S D. Phosphorus retention and movement across an ombrotrophic-minerotrophic peatland gradient [J]. *Biogeochemistry*, 2003, 63: 299-315.
- [36] SUNDARESHWAR P V, MORRIS J T, KOEPLER E K, et al. Phosphorus limitation of coastal ecosystem processes [J]. *Science*, 2003, 299: 563-565.
- [37] KEENAN R J, MESSIER C, KIMMINS J P. Effects of clearcutting and soil mixing on soil properties and understory biomass in western red cedar and western hemlock forests of northern Vancouver Island, Canada[J]. *For. Ecol. Manag.*, 1994, 68: 251-261.
- [38] CADE-MENUN B J, BERCH S M, PRESTON C M, et al. Phosphorus forms and related soil chemistry of Podzolic soils on northern Vancouver Island. II. The effects of clear-cutting and burning[J]. *Can. J. For. Res.*, 2000, 30: 1726-1741.
- [39] KNOEPP J D, SWANK W T. Long-term effects of commercial sawlog harvest on soil cation concentrations[J]. *For. Ecol. Manag.*, 1997, 93: 1-7.
- [40] JURGENSEN M F, GRAHAM R T, LARSEN M J, et al. Clear-cutting, woody residue removal, and nonsymbiotic nitrogen fixation in forest soils of the Inland Pacific Northwest[J]. *Can. J. For. Res.*, 1992, 22: 1172-1178.
- [41] LIU F M, HIROTO T, KIKUO H. Effects of clear-cutting and burning on characteristics of nitrogen mineralization and microbes in the forest soil of a *Pinus massoniana* plantation, in Southern China[J]. *Ecol. Res.*, 2001, 16: 531-542.
- [42] HUHTA V, KARPINEN E, NURMINEN M, et al. Effects of silvicultural practices upon arthropod, annelid and nematode populations in coniferous forest soil[J]. *Ann. Zool. Fennici*, 1967, 4: 87-145.
- [43] BENGTTSSON J, LUNDKVIST H, SAETRE P, et al. Effects of organic matter removal on the soil food web: Forestry practices meet ecological theory[J]. *Appl. Soil Ecol.*, 1998, 9: 137-143.
- [44] UHIA E, BRIONES J I. Population dynamics and vertical distribution of enchytraeids and tardigrades in response to deforestation [J]. *Acta Oecol.*, 2002, 23(6): 349-359.
- [45] BRUMWELL L J, CRAIG K G, SCUDDER G G E. Litter spiders and carabid beetles in a successional Douglas-fir forest in British Columbia (special issue) [J]. *Northwest Sci.*, 1998, 72 (2): 94-95.
- [46] COSANDEY C. Influence of forest on the water cycle: Effect of timber cutting on annual runoff[J]. *Hydrol. Cont.*, 1992, 7(1): 13-22.
- [47] MAHENDRAPP A M K, FOSTER N W, WEETMAN G F, et al. Nutrient cycling and availability in forest soils[J]. *Can. J. Soil Sci.*, 1986, 66: 547-562.
- [48] COUTEAUX M M, BOTTNER P, BERG B. Litter decomposition, climate and litter quality[J]. *Trends Ecol. Evol.*, 1995, 10(2): 63-66.
- [49] ZOGG G P, ZAK D R, RINGELBER D B, et al. Compositional and functional shifts in microbial communities due to soil warming[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1997, 61: 475-481.
- [50] CHEN C X, YU K W, LIAO L P, et al. Effect of human activities on forest ecosystems: N cycle and soil fertility [J]. *Nutr. Cycl. Agroeco.*, 2000, 57(1): 47-54.
- [51] DAVIDSON E A, HART S C, FIRESTONE M K. Internal cycling of nitrate in soils of a mature coniferous forest [J]. *Ecology*, 1992, 73(4): 1148-1156.
- [52] BATES J D, SVEJCAR T J, MILLER R F. Effects of juniper cutting on nitrogen mineralization[J]. *J. Arid Environ.*, 2002, 51: 221-234.
- [53] HART S C, NASON G E, MYROLD D D, et al. Dynamics of gross nitrogen transformations in an old-growth forest: the carbon connection[J]. *Ecology*, 1994, 75(4): 880-891.
- [54] STARK J M., HART S C. High rates of nitrification and nitrate turnover in undisturbed coniferous forests [J]. *Nature*, 1997, 385: 61-64.

Effects of Forest Harvesting on Forest Soil and Floor Properties and Its Ecological Processes

HU Xiao-fei, CHEN Fu-sheng*, GE Gang

(Laboratory of Basic Biology, College of Life Sciences, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: Forest harvesting is a common feature of forest landscape during management practices, and the key ecological process cannot be apart from forest soil and floor. Therefore, it is very necessary to understand the effects of forest harvesting on forest soil and floor, which was very important to manage forest ecosystem and implement ecosystem sustainability. This paper simply reviewed the influences of harvesting on forest components, structures and functions, introduced the effects of forest harvesting on forest soil and floor physical and chemical properties, i.e., temperature, moisture, soil structure, pH, carbon, nitrogen, phosphorus and sulfur, described the feedbacks of soil organism to forest harvesting, and expatiated the influences of harvesting on key ecological processes, including hydrology, carbon cycling and nitrogen transformation. At last, the research tendencies of method, objective and content was provided. And the edge effect and spatial heterogeneity, response of soil organism to forest harvesting, hydrogen, carbon cycling and nitrogen transformation processes and their interactions would be hotspots in the future.

Key words: Forest harvesting; Forest floor; Soil physical and chemical characteristics; Soil organism; Ecological process