

森林经营措施对土壤的扰动和压实影响

邱仁辉, 杨玉盛, 陈光水, 谢锦升
(福建林学院, 福建南平 353001)

摘 要: 根据森林经营措施对林地土壤的扰动和压实及其对树木生长和森林生产力的影响, 指出森林经营措施对土壤造成的干扰是长期存在的, 干扰强度越大, 对林地生产力的影响越严重。从伐区作业、林地清理、整地、幼林抚育等方面提出减少土壤受扰动和压实的具体措施, 为减少经营措施对林地生态系统的影响, 从而改进传统的森林经营措施, 实现森林可持续经营提供借鉴。

关键词: 经营措施; 土壤; 扰动; 压实

中图分类号: S782; S752; S714

文献标识码: A

森林经营措施是由一系列单个措施如采伐、集材、林地清理、整地、幼林抚育等组成。森林经营措施会导致土壤的扰动, 从而可能影响土壤水——气系统以及水分和养分的供应。其程度随经营措施采用的时间、土壤物理性质、坡度、采用的机械类型、行走次数等的不同而变化^[1]。土壤受到严重干扰和压实后, 对伐区中保留林木会造成损害, 影响更新苗木的生长, 导致林分生产力下降。在国外, 由于近 20 年来森林经营过程中机械应用急剧增加, 如大型的采集联合机、集材归堆机; 结合火烧广泛使用机械整地, 各种推土机、切割机、根耙机、切碎机、滚压机等的使用造成林地土壤的扰动与压实问题已引起人们的广泛重视^[1~9]。在我国, 由于人工林面积不断增加, 轮伐期缩短, 人为措施对林地干扰强度和频率加大, 土壤的扰动与压实问题亦受到关注。众多的研究表明, 在我国南方杉木人工林经营过程中, 由于不合理经营措施(如大面积皆伐、全面炼山整地、全锄抚育等)的反复使用所引起的对林地土壤干扰的累积效应, 是导致杉木人工林连栽地力衰退的重要原因^[7~9]。

1 森林经营措施对土壤的扰动

林地土壤的受干扰开始于采伐阶段, 其范围和强度主要随采伐、集材方式不同而异, 并受土壤类型、地形和环境条件影响。采伐对土壤的扰动包括表土的移动、碾压、土壤结构的破坏、孔隙度的减少, 大量有机质的重新分配和搅和等^[9]。集材对土壤的干扰程度主要随集材方式、集材机械类型而变化。作者在福建建瓯的试验研究表明: 常绿阔叶林皆伐作业采用 5 种不同的集材方式(全悬索道、半悬索道、手板车、手扶拖拉机和土滑道)和 30% 强度的择伐作业, 林地 0 cm~40 cm 土层的土壤理化性质各指标都有不同程度的变化, 而 30% 的择伐作业除容重略有增加外, 其余指标变化不大。综合土壤 15 项理化性质指标的变化后认为, 对林地土壤的扰动程度以 30% 的择伐作业为最小, 皆伐作业全悬索道集材次之, 手扶拖拉机集材为最大^[10]。另据苏益报道, 不同集材方式对林地的干扰程度为: 畜力 3%~5%; 拖拉机 5%~10%; 架空索道 10%~15%; 绞盘机 20%~60%^[11]。杨玉坡等^[12] (1990) 在川西亚高山林区定位观测表明: 皆伐作业串坡集材后, 50% 的迹地表土减薄 1 cm~2 cm, 受到严重破坏的则完全露出 B 层或 C 层。在坡度 25°~40° 的伐区, 3~6 年后迹地表土层比原始林覆盖下的土壤要减薄 5 cm~10 cm。

收稿日期: 1999-08-30; 改回日期: 2000-01-15。

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(编号 F991)。

作者简介: 邱仁辉(1968-), 男(汉族), 福建省连江县人, 讲师, 1990 年毕业于福建林学院, 1997 年毕业于南京林业大学获硕士学位, 现为东北林业大学在读博士研究生。主要从事南方山地森林作业与环境以及作业技术等方面的教学与研究工作。

国外对采伐、集材作业引起的林地土壤干扰有较多的研究。Rab^[13] 等报道, 山槭林皆伐后大约有 73 % 的迹地面积 (其中大约有 25 % 作为集材道、防火路和楞场等) 受到一定程度的干扰。Swanston 等^[14] 报道, 皆伐作业 4 种集材方式中导致土壤裸露面积最大的为拖拉机集材 (35.1 %), 其次为架空索道集材 (14.8 %)、绞盘机集材 (12.1 %), 气球集材最低 (6.0 %)。Kimmins^[15] 指出, 美国西北部的天然林皆伐作业中各种集材方式造成的土壤受干扰面积比例为: 畜力 12 %, 拖拉机 21 % ~ 87 %, 集材装车机 15 %, 半悬式钢索 11 % ~ 90 %, 架空索道 6 %, 直升飞机 6 %; 而矿质土壤暴露程度则分别为: 畜力 12 %, 拖拉机 12 % ~ 69 %, 集材装车机 15 %, 半悬式钢索 5 % ~ 56 %, 架空索道 6 %, 直升飞机 5 %。采用绞盘机或集材机等拖曳集材时, 土壤表面留下拖拉原木的划痕, 形成水道后会发展成侵蚀沟^[1]。据 Haines 等^[16] (1975) 报道, 用推土机开设集材道时, 有 5 cm 表土被刮走, 并堆积在采伐剩余物中。在阴雨天气集材时, 由于原木拖刮地表, 集材道深切和装车场作业, 使用重型机械等造成严重的土壤扰动, 土壤水分渗透性降低而产生水道, 造成坡地沟状侵蚀。

尽管各地报道的集材方式对土壤扰动程度有所不同, 但总的趋势是地面集材较空中集材, 集材道及楞场较其他处土壤受干扰严重。

南方山地林区经营人工林时普遍应用火烧清理迹地 (炼山)。众多的研究表明, 炼山对迹地土壤造成严重的干扰, 炼山时迹地上有机质几乎全部遭焚毁, 矿质土壤裸露 80 % ~ 90 %, 土壤胶体团聚能力减弱, 水稳性团聚体含量下降, 非毛管大孔隙常被灰分或炭粒所堵塞, 土壤通气性下降, 渗透能力减弱, 易发生水土流失^[17]。

整地对土壤造成的干扰主要随整地方式不同而异。杨玉盛等对采用全垦 (翻土深度在 30 cm ~ 40 cm) 营造混交林和纯林试验的调查表明: 16 年后表层 (0 cm ~ 20 cm) 和底层 (20 cm ~ 40 cm) 土壤各项物理性质指标均很接近, 而邻近未进行全垦的土壤表层容重比底层的小得多, 说明采用全垦整地对土壤扰动影响持续时间相当长 (未刊资料)。Gent 等^[18] 报道, 22 年生火炬松林皆伐后, 采用带圆盘耙的拖拉机清林整地, 土壤 A、B 层容重、通气孔隙度和饱和水传率可恢复到伐前的水平, 但采集作业与清林整地的综合效应导致了土壤 C 层容重、通气孔隙度和饱和水传率的明显下降。马祥庆^[19] 研究表明, 不同整地方式林地破土面积为: 全垦 > 带垦 > 穴垦, 其中穴状整地比全垦、带垦整地减少的固体径流量为 40.33 % 和 25.48 %。杉木幼林地不同抚育方式对土壤造成不同程度干扰, 不同抚育方式林地 5 年的土壤侵蚀量表现为: 扩穴连带抚育 (98.695 t/hm²) > 块状抚育 (92.587 t/hm²) > 不抚育 (4.066 t/hm²)。

2 森林经营措施对土壤的压实

森林经营过程中, 人、畜、机械、木材在林地内运行, 使土壤紧实度增加, 土壤发生一定程度的塑性变形。引起土壤压实的经营措施包括: 湿地排水、垦耕、采伐、集材及修建道路、采伐剩余物处理等。大型机械的运用会搅拌和压实矿质土壤, 伴随着水分渗透性质的降低, 局部侵蚀会增加。另外, 森林游憩时的践踏也能导致局部的土壤压实。Sands 等^[20] (1979) 研究表明, 使用轮式集材机的集材道表层 (15 cm) 土壤强度增加了 2 倍; 压实这种影响经常集中在部分林地上, 以集材道楞场处尤为明显。辙沟是集材时林地土壤受压实最严重的部分, Gent^[18] 报道辙沟处土壤非毛管孔隙度下降 40 %; Rab^[21] 报道, 山槭林皆伐后未受干扰处、受干扰处、集材道的土壤孔隙度分别 23 %、4 % 和 5.5 % ~ 7.3 %; Aust^[22] 报道, 辙沟处土壤容重增大 15 %, 压实使渗透速度从 18.8 cm/h 下降到 2.3 cm/h, 从而影响伐区的排水性能, 与非集材道相比, 集材道处地下水位升高 0.43 m ~ 0.64 m。

手工机械采伐比用重型机械采伐引起的土壤压实小, 接地压力高的机械对土壤的压实较严重。赵秀海等^[23] (1994) 对轮式和履带式拖拉机原条集材的采伐迹地进行研究后认为: 集材对土壤硬度变化影响很大, 当拖拉机行走次数在 400 ~ 500 时, 集材道 10 cm ~ 15 cm 深处土壤硬度最大, 是迹地土壤硬度的 1.9 ~ 2.5 倍, 45 cm 处的土壤硬度比没有拖拉机经过的迹地增加 20 %。同时, 车辆行走使土壤孔隙度减小, 影响土壤通透性。拖拉机运行时的横向滑移导致土壤剪应力增加, 引起土粒子重新排列使孔隙进一步减小。

林地清理和整地使地被物遭破坏, 矿质土壤受压实及直接暴露, 在雨水击溅作用下, 表层土壤结构

遭破坏, 土壤板结, 影响水分入渗的速度, 加大了地表径流和侵蚀发生的可能性。杨玉盛等(1995)研究表明, 皆伐炼山后, 土壤有机质受火灼烧而损失, 容重增大, 土壤团聚能力减弱, 土壤渗透性能和结构状况明显恶化, 土壤抗蚀性能降低^[17]。作者等在福建南平的研究表明, 由于不同经营措施如皆伐、火烧、整地、抚育等反复使用, 随杉木连栽代数增加, 土壤容重增加, 大孔隙减少, 土壤变得紧实, 土壤结构产生明显的退化^[24]。

张先仪报道^[25], 杉木林 3 种整地方式土壤(0 cm ~ 20 cm)容重(g/cm^3)为: 全垦 0.78, 穴垦 0.928, 水平带垦 0.869; 总孔隙度(%)为: 全垦 76.654, 穴垦 71.582, 水平带垦 66.446; 透水速度(cm/min): 全垦 17.08, 穴垦 13.27, 水平带垦 13.85。马祥庆^[19]研究指出, 杉木林不同整地方式(带垦、全垦、穴垦)林地表层土壤容重和孔隙状况有一定差异, 但幅度不大, 全垦、带垦及穴垦整地由于松动了土壤, 在一定程度上改善了林地土壤孔隙与持水状况, 但由于整地引起水土流失, 又导致了土壤这些状况的恶化, 这两方面的综合影响, 使得不同整地方式对林地土壤孔隙与水分状况的影响差异不明显。杉木幼林地不同抚育方式对土壤造成不同程度干扰, 不同抚育方式林地 5 年的土壤侵蚀量表现为: 扩穴连带抚育($98.695 \text{ t}/\text{hm}^2$) > 块状抚育($92.587 \text{ t}/\text{hm}^2$) > 不抚育($4.066 \text{ t}/\text{hm}^2$)。不同抚育方式林地表层土壤容重表现为: 块状抚育 > 扩穴连带抚育 > 不抚育; 总孔隙度则表现为: 不抚育 > 扩穴连带抚育 > 块状抚育。可见, 不同抚育方式对土壤的压实程度也不同。

3 土壤干扰和压实对林木生长的影响

土壤被压实后, 孔隙减小, 容重增加, 土壤透气性、水分渗透性及饱和导水率减小, 土壤强度相应增加, 树木根系的穿透性阻力增大; 压实也导致了土壤中矿物质与水的接触面积减小, O_2 和 CO_2 的扩散变慢, 影响土壤无机物质的矿化作用, 养分离子的团流和扩散运动减弱; 土壤压实也会减少植物细根数量, 使菌根菌丝的存在和分解者的有益活动受抑制, 从而影响了养分循环的速率, 造成土壤有效水分、养分供应能力减弱。这些变化会严重地影响现存林分或更新幼苗、幼树的生长, 导致林分生产力下降^[1]。

Greacen^[26]等总结了 142 个土壤压实的研究, 表明有 82% 的土壤压实处树木生长量降低。Foil 等^[29] (1967) 发现, 土壤容重为 $0.8 \text{ g}/\text{cm}^3 \sim 1.4 \text{ g}/\text{cm}^3$ 时, 在温室中生长的火炬松实生苗, 其根重与土壤容重成反比, 被压实土壤上火炬松苗木成活率低于非压实土壤, 干茎重亦大大降低。赵秀海等研究表明, 拖拉机集材道土壤受压实后, 更新苗木成活率不到 70%, 且其生长状况也不好。当履带式拖拉机行走次数达到 500 时, 集材道苗木增长率(2 年内)只有集材道外采伐迹地的 50%, 而轮式拖拉机集材对更新苗木生长的不利影响更大^[23]。Pyatt 等^[28]报道, 沙质土壤受压实后影响了西加云杉的生长, 树高生长下降了 11% ~ 31%。Froelich (1980)^[29]预测拖拉机集材使林分蓄积量生长降低 15%, 土壤密度每增加 10%, 树木生长就降低 6%。Helms 等^[30]报道集材道上压实土壤的树木树高生长减少了 13% ~ 50%, 早期蓄积量降低了 10% ~ 20%。

据盛伟彤研究, 杉木人工林由于不合理的营林措施(炼山、全垦、多代连栽等), 往往造严重的水土流失, 不仅土壤有机质、养分含量下降, 而且使土壤腐殖质层变薄, 结构变紧而板结, 容重增大, 影响土壤孔隙度、透水性及杉木根系分布与发育, 从而明显影响杉木生长, 杉木高生长随容重增大而下降, 容重小于 $1.10 \text{ g}/\text{cm}^3$ 时最适于杉木生长, 年高生长量 > 1 m; $1.10 \text{ g}/\text{cm}^3 \sim 1.25 \text{ g}/\text{cm}^3$ 生长尚可, $1.30 \text{ g}/\text{cm}^3$ 生长较差。结合各地报道, 当容重达 $1.50 \text{ g}/\text{cm}^3$ 时, 植物根系已难伸入, 而 $1.60 \text{ g}/\text{cm}^3 \sim 1.70 \text{ g}/\text{cm}^3$ 的土壤容重, 已是根系穿插的临界点, 有的粘土容重甚至在 $1.55 \text{ g}/\text{cm}^3$ 时就不能穿入任何植物的根系了^[17]。

不同整地与抚育措施对土壤造成的干扰程度不同, 导致幼林生长有所差异。马祥庆报道^[19], 5 年生杉木生长表现为: 全垦 > 带垦 > 穴垦, 5 年生全垦杉木树高分别比带垦、穴垦的高 3.18% 和 5.34%, 胸径分别大 4.83% 和 12.63%, 5 年生杉木树高、胸径带垦比穴垦的分别大 2.09% 和 7.44%。抚育对 5 年生杉木幼林的生长影响表现为: 扩穴连带树高生长比块状抚育的高 3.16%, 而胸径生长提高了 7.98%。

4 土壤受干扰和压实后的恢复

土壤压实的恢复取决于土壤类型、压实的程度。Dikerson 等^[31]认为,恢复时间从集材后0.5 a~1.5 a开始,装载集材的集材道土壤恢复需18 a左右,拖拉机道和林道下需40年或更长的时间。Greacan 等^[26]研究指出,有机质低的沙质土壤,一旦压紧,若不实施重要的物理干扰和施有机质,很难回到它们的初始状态,其恢复时间一般为5 a~20 a,集材道和装卸地会更长。例如,在南澳大利亚的辐射松人工林的沙质土壤上的集材道50 a后仍然比周围的土壤更紧实。

重型机械的应用会引起敏感地区(如潮湿地区)土壤的压实破坏,使第二代的树木生长受到影响。如果在一个轮伐期内土壤压实能得到全面的恢复,那么对树木生长就没有长期的影响。如果一个轮伐期里破坏依然存在,那么对立地的长期生产力影响就会被积累,直到土壤到达一个新的稳定状态为止。对于使用重型机械采伐的、轮伐期较短的湿润土壤上的集材道、临时道路和楞场,这种情况更有可能发生^[15]。

人工林土壤比天然林土壤更有可能发生压实。Sands^[20]发现,辐射松人工林下的土壤容重比野生植被下的或牧场的高得多,二代人工林比一代的土壤密度更高。我国南方林区杉木人工林取代杂木林后及随连栽代数的增加,土壤容重亦有不断增加的趋势^[24]。林光耀等对南平溪后杉木速生丰产林(72 a生)土壤结构性能研究指出,杉木人工林营造72 a后,由于一系列经营措施的采用,导致土壤容重增加,大孔隙减少,土壤团聚体稳定性下降等还未能得到完全恢复^[23]。

5 减小对土壤压实和扰动的措施

森林经营措施对土壤的干扰和压实是长期存在的,降低这种负面影响是维持林地长期生产力的关键。因此,笔者认为,应加强对传统森林经营措施对林地生态系统影响的全面研究,为经营措施的改进提供科学依据。减少经营措施对土壤的干扰和压实,其实质和目的是减少经营活动(尤其是人工林经营)对森林生态系统的干扰,充分利用自然力来恢复森林。对于集约经营的人工林,土壤所受的干扰和压实是不可避免的,依靠自然恢复是难以现实的。如工业人工林,可以按照林业分类经营的原则,采取人为措施,加速土壤干扰和压实的恢复,高强度的土壤干扰也可通过施肥等手段解决。笔者针对我国的具体状况,从森林经营的各个环节提出减少土壤压实和扰动的措施。

5.1 代区作业

采伐作为森林经营的一个重要环节,其对土壤的干扰和压实是较为严重的。因此,伐区作业不能单纯地从作业经济性出发,应充分考虑减少对林地土壤乃至整个森林生态系统的干扰来重新组织伐区木材生产工艺、选择作业方式及相应的机械设备,力求两者获得最佳的耦合。要正确确定采伐、集材方式,对天然林尽量采用低强度择伐作业。在山地林区,集材方式宜选择全悬索道集材或畜力集材。索道集材能跨越沟谷,对土壤破坏小,畜力集材对土壤压实程度轻微,对幼树幼苗的破坏小,无污染,在发展中国家为一经济可行且满足林地生境保护的一种集材方法。在坡度小的伐区,由于传统上仍以拖拉机集材为主,可以通过合理规划集材道以减少拖拉机在集材道上的通过次数;采用宽轮胎集材机械,增加悬浮性,减少接地压力,降低对土壤的压实程度。认真进行伐区作业的规划设计,使集材道分布合理。完善作业方法如拖拉机不越出集材道,装车场铺设灌木和枝桠。在寒冷地区,伐区作业尽量安排在冬季,充分利用冰雪道集材。南方山地伐区作业尽量避开雨季,推广使用轻便灵活的轻型伐区作业机械。

道路修建比采伐对林地的干扰更大,且其修建与维护费用也很高。采用一些专用设备,可以不修建林道或在低等级道路上集运材,如采用中央轮胎气压系统的运材车。在集运材道上铺设特制垫子,也有助于设备通过困难地段并可减少因道路修建引起的土壤扰动。

5.2 林业清理

林地清理,要尽量把采伐剩余物留在迹地上,依靠留下的大量有机物为下一代的森林更新创造良好的物质基础,这是维持和恢复森林生态系统的重要途径^[33]。在南方山地林区,天然林采伐后尽量采用

不炼山方法清理林地, 把剩余物散铺或带状堆腐, 从而达到减少土壤干扰, 保蓄养分之目的。以全面劈杂, 带状清理林地代替全面炼山。采用化学灭草代替人工劈草炼山, 可降低成本, 且枯死杂草覆盖林地, 可保持水土, 提高土壤肥力。

5.3 整地

土壤深厚肥沃、自然条件好的山区, 应避免采用规格较高的整地方式(如全垦等)。有关研究表明^[19], 全垦对幼林生长的促进作用与水平带垦与穴垦相比差别不明显, 但全垦对土壤的干扰最大, 造成土壤抗蚀性能差, 侵蚀量多, 不利于维持土壤肥力, 且投工量大。特别在坡度较大的地区, 宜用小穴整地。小穴整地经济, 在劳动力充足且土壤紧实的丘陵区可以广泛推广, 可减少采伐迹地的破土面积, 以促进幼林生长。

5.4 幼林抚育

改全面除草松土或扩穴连带为全面劈草抚育幼林, 只在人工林种植穴周围除去对林木生长有负面影响的杂草、灌木, 对幼林生长无影响的杂灌应予以保留。采用农林复合经营技术, 林地间种套种, 以耕代抚也可收到良好的效果。

参考文献:

- [1] [美] W. L. 普里切特(程伯容, 许广山, 庄季屏, 等译). 森林土壤性质及管理[M]. 北京: 中国林业出版社, 1987.
- [2] Worrell R, Hampson A. The influence of some forest operations on the sustainable management of forest soils—a review [J]. *Forestry*, 1997, 70(1): 61 ~ 85.
- [3] Evans J. Long terms productivity of forest plantations—status in 1990[A]. In: Proceedings of 19th World Congress International Union of Forestry Research Organizations[Z]. Montreal, Canada. 1990. 165 ~ 180.
- [4] Evans J. The sustainability of wood production from plantations: evidence over three successive rotations in the Usitu Forest[J]. *Switzerland Commonwealth Forest Review*, 1996, 75(3): 234 ~ 239.
- [5] Nambiar, E K S. Sustained productivity of forests is a continuing challenge to soil science[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1996, 60: 1629 ~ 1964.
- [6] Kimmins J P. Importance of soil and role of ecosystem disturbance for sustained productivity of cool temperate and forests[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1996, 60: 1643 ~ 1654.
- [7] 盛炜彤. 人工林地力衰退研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
- [8] 杨玉盛, 邱仁辉, 俞新妥. 影响杉木人工林可持续经营因素的探讨[J]. 自然资源学报, 1998, 13(1): 34 ~ 39.
- [9] 俞新妥. 杉木林地地力衰退问题研究及对策[J]. 林业科技通讯, 1990, 9: 1 ~ 2.
- [10] 邱仁辉. 闽北常绿阔叶林生态型伐区作业研究[D]. 南京林业大学硕士论文, 1997.
- [11] 苏益. 论森林采运作业对森林生态环境的影响[J]. 中南林学院学报, 1986, 6(1): 52 ~ 60.
- [12] 李承彪. 四川森林生态研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1990.
- [13] Rab. Changes in physical properties of soil associated with logging of *Eucalyptus regnans* forest in southeastern Australia[J]. *Forest Ecology and Management*, 1994, 104: 215 ~ 219.
- [14] Swanson D N and C T Dyrness. Stability of steep land[J]. *Journal of Forestry*, 1973, 71: 264 ~ 269.
- [15] [加] JP Kimmins (文剑平, 等译). 森林生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992. 246 ~ 247.
- [16] Haines, LW, TEMaki, and SG Sanderfold. The effects of mechanical site preparation treatments on soil productivity and tree growth[A]. In: BBemier and CWinget(ed). *Forest Soils and Forest Land Management*[M]. Laval University. Press, Quebec. 1975. 379 ~ 395.
- [17] 杨玉盛, 何宗明, 马祥庆等. 论炼山对杉木人工林生态系统影响的利弊及对策[J]. 自然资源学报, 1997, 12(2): 153 ~ 159.
- [18] Gent JA Jr., Ballard R, and Hassan AE. The impact of harvesting and site preparation on the physical properties of lower coastal plains soils[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1983, 47(3): 595 ~ 598.
- [19] 马祥庆. 杉木人工林长期生产力维持研究[D]. 南京林业大学博士论文, 1998.
- [20] Sands R, Greacen EL and Gerard CJ. Compaction of sandy soils in radiata pine forests: A penetrometer study[J]. *Aust. Journal of Soil Research*, 1979, 17: 101 ~ 113.

- [21] Rab. Soilphysical and hydrological Properties following logging and dash burning in the Eucalyptus regnans forest of south eastern Australia.[J] . *Forest Ecology and Management*, 1996, 84; 159 ~ 176.
- [22] Aust W. M. and Lea R. Comparative effects of aerial and ground logging on properties in a trpeol—cypress wetland [J] . *Forest Ecology and Management*, 1992, 50; 57 ~ 73.
- [23] 赵秀海, 范秀华, 张伟森. 拖拉机对集材道土壤及苗木生长影响的研究[J] . 林业科学, 1994, 30(2); 159 ~ 1950.
- [24] 邱仁辉, 杨玉盛, 俞新妥. 不同栽植代数杉木林土壤结构特性的研究[J] . 北京林业大学学报, 1998, 20(4); 6 ~ 11.
- [25] 张先仪, 盛炜彤, 等. 整地方式对水土保持及杉木幼林生长的影响研究[J] . 林业科学, 1986, 22(3); 225 ~ 231.
- [26] Greacan E L and Sands R. Compaction of forest soils—a review[J] . *Aust. J. Soil Res.* 1980, 18; 163 ~ 198.
- [27] Foil R R and C W Ralston. The establishment and growth of blblolly pine seedlings on compacted soil[J] . *Soil Science Society of America Journal*. 1967, 31(4); 565 ~ 568.
- [28] Pyatt D G and Anderson A R. Damage to soil caused by harvesting[J] . *For. Comm. Res.* 1986, 2; 29 ~ 30.
- [29] Forelich H A and McNabb D H. Minimissing soil compaction in northwest forest[A] . In: *Forest soils and Treatment Impacts*. E L Stone(Ed), *Proceedings 6th North Ame. Forest soils Conf.* Univ. of Tennessee[C] . Knoxville, TN. 1984. 152 ~ 192.
- [30] Helms J A Hipkin C and Alexander E B. Effects of soil compaction on height growth of a California ponderosa pine plantation Westsouthern [J] . *Journal of Applied Forestry*. 1986, 1; 104 ~ 108.
- [31] Dickerson, B P. Soil compaction after tree—length skidding in northern Mississippi[J] . *Soil Science Society of America Journal*. 1976, 40(6); 965 ~ 966.
- [32] 林光耀, 杨玉盛, 杨伦增, 等. 杉木林取代杂木林后土壤结构特性变化的研究[J] . 福建林学院学报, 1995, 15 (4); 298 ~ 292.
- [33] 赵士洞, 陈华. 新林业——美国林业一场潜在的革命[J] . 世界林业研究, 1991, (1); 35 ~ 39.

THE EFFECT OF FOREST MANAGEMENT PRACTICES ON SOIL DISTURBANCE AND COMPACTION

QIU Ren-hui, YANG Yu-sheng, CHEN Guang-shui, XIE Jing-sheng
(*Fujian Forestry College, Nanping Fujian 353001 PRC*)

Abstract: This paper discusses the effect of forest management practices on soil disturbance and compaction which caused tree growth and forest productivity decreasing. It is pointed out that the disturbance and compaction on soil might be long standing. Therefore, it is necessary to have a comprehensive study on the effect on forest ecosystem impacted by traditional forest management practices. From the consequences of forest management practices which includes cutting, skidding, site preparing, soil preparing and tending, the countermeasures to reduce the disturbance and compaction were put forward. The author also suggested that in order to achieve a sustainable management of forest, the traditional practices should be improved to the full.

Key words: forest management practices; disturbance of soil; compaction of soil; tree growth; forest productivity; countermeasures