

南方林业经营措施与土壤侵蚀

杨玉盛, 陈光水, 谢锦升

(福建农林大学 南平校区, 福建 南平 353001)

摘要: 讨论了采伐、林地清理、整地、幼林抚育、林农复合经营、间伐等森林经营措施对林地土壤侵蚀的影响, 指出凡是能降低林地覆盖和对土壤性状发生负面影响的森林经营措施, 均会增加土壤侵蚀, 且干扰程度越大, 土壤侵蚀越严重, 特别是在土壤抗蚀性弱和降雨侵蚀力大的地段更为明显。不合理的林木采集和林地清理方式会增加土壤侵蚀, 而整地、幼林抚育、林农复合经营措施采用不当, 亦会加剧幼林地土壤侵蚀。为此, 应加强传统森林经营措施对林地生态系统影响的全面研究, 在土壤侵蚀潜在危险性大的地段, 应尽量降低经营措施对林地干扰强度, 以达到保持水土, 维持林地长期生产力的目的。

关键词: 森林经营措施; 土壤侵蚀; 地力衰退; 可持续经营

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2000)06-0055-05

中图分类号: S714.7

Effects of Forest Management Practices on Soil Erosion in South China

YANG Yu-sheng, CHEN Guang-shui, XIE Jing-sheng

(Fujian Agricultural and Forestry College, Nanping 353001, Fujian Province, PRC)

Abstract Through overall discussing the effect of forest management practices such as harvesting, site preparing, soil preparing, tending and agroforestry managing, it indicated that any forest management practice influencing on land covering and soil properties can increase soil erosion. Further, the more the management practice disturbed the forest land, the more soil erosion was, this is especially obvious on the area that erosion durability of soil was low and rainfall erosivity high. Improper cut and site preparation may increase soil erosion; If site preparing, tending, agroforestry management were inappropriately employed, erosion may increase sharply, young stand soil, thus may directly affect the long-term maintenance of stand fertility. In order to attain soil and water conservation and maintenance of stand long-term productivity, the overall study on effect of traditional forest management practices on forest ecosystem should be strengthened and the disturbance intensity of management practices on stand be decreased to the full.

Keywords forest management practices; soil erosion; soil fertility degradation; sustainable management

1 林木采集方式

1.1 土壤扰动

采伐林木、修筑集材道及集材过程中均会对土壤产生不同程度干扰,使表层土壤裸露,土壤变紧实,降低土壤稳定性,并在迹地上产生明显的排水沟,使土壤侵蚀呈增加趋势。不同采集方式和采伐周期对地表产生不同程度的扰动(地被物受轻微扰动或完全丧失表土层)^[2,5,10]。

据报道,北美西部几种集材方式(畜力、拖拉机、集材装车机、半悬式钢索、架空索道、直升机集材)对土壤扰动程度最小的是直升机和全悬索道集材,矿质

土壤暴露 5%~6%,畜力集材对土壤扰动程度亦较小;其次为半悬式钢索集材;拖拉机和集材装车机集材对土壤扰动程度最大,矿质土壤暴露达 21%~6%^[4]。

对常绿阔叶林皆伐作业不同集材方式对林地土壤干扰程度大小顺序为:土滑道集材>手扶拖拉机集材>半悬索道集材>手拉板车集材>全悬索道集材^[10]。修筑集材道时,堆积在集材道边坡上疏松的土体抗蚀和抗冲性能均降低,从而成为伐区土壤侵蚀量增加的主要来源^[2]。

1.2 土体的稳定性

一般认为植被覆盖的面积和密度是控制坡面稳

收稿日期: 2000-08-23

资助项目: 福建省科委重大基础研究项目“闽江流域常绿阔叶林理水保土与培肥地力作用机制”(2000-F-004)

作者简介: 杨玉盛(1964-),男(汉族),教授,博士,厦门大学博士后。从事侵蚀退化系统生态重建、森林理水与保土功能等研究。电话(0599) 8504990, E-mail ffcyys@public.np.pptt.fj.cn

定及泥沙产生的主要因素^[11]。皆伐对土壤的破坏并不只限于表层扰动,在陡坡上可导致土体稳定性降低,以致产生重力侵蚀(mass wasting),如滑坡、崩塌和岩屑崩落等。土体稳定性除与皆伐有关外,还与母岩、坡度等因素有关。在俄勒冈喀斯喀特山脉对安德鲁氏森林研究的结果表明,在所发生的重力侵蚀中,83%发生于坡度大于24°的地方。母岩为熔岩时,皆伐时不易引起滑坡;母岩为火山碎屑岩时,皆伐使崩塌侵蚀达到皆伐前的2.8倍^[12]。

皆伐地滑坡频率的增加,是伐桩和大根腐烂使根的固土作用丧失的结果。据报道,皆伐后36个月,表土层50 cm的土壤内聚力由6.6 kPa减少到3.3 kPa。皆伐后滑坡的发生一般有3~10 a的发动前期,这正好与根强度丧失的时间相吻合,此后将有几十年的土体不稳定期,直至新根能固定土坡为止^[13]。

据Rice和Figgin(1971)报道,皆伐迹地火烧后9 a,被火烧毁的植物根系开始腐烂,这时山崩的危险性比皆伐迹地火烧后初期更大,泥石流中固体容重增加,泥石流容重比皆伐火烧前增加2~15倍^[13]。目前我国南方林区常绿阔叶林已为数不多,应采用择伐方式经营常绿阔叶林。皆伐区应控制一定面积,条件允许时应尽量采用全悬索道集材,以降低对林地干扰。

2 清理林地

用火来清理迹地上的采伐剩余物被我国南方林区和其它一些地区如美国西南部、澳大利亚等经常使用,我国称为炼山;东南亚及热带雨林地区刀耕火种亦曾经较为盛行^[14-16]。由于彻底使矿质土壤裸露,受火烧后土壤有机质受损,胶体团聚能力减弱,水稳性团聚体含量下降,土壤大孔隙常被灰分或炭粒所阻塞,土壤通气性能减弱,渗透能力和抗蚀性能下降。用火清理林地后,土壤侵蚀量的大小与降雨侵蚀力、土壤抗蚀性、坡度、火烧强度及火后所采取的林业或农业耕作措施有关^[14]。

2.1 炼山后不同母岩幼林地的水土流失

阳含熙(1958)对南方炼山后营造杉木林的林地水土流失进行调查后认为:炼山会引起严重的水土流失,坡度愈陡愈严重,有时冲刷量会比不炼山的增加1000倍以上^[17]。

细粒黑云母花岗岩发育的山地红壤,炼山、穴垦后第1 a,幼林地泥沙冲刷量和径流量分别为2.18 t/hm²和165 t/hm²,是不炼山的4.6倍和1.4倍,但第2 a时则较为相近^[18]。紫色页岩发育的红壤杉木林采伐迹地,炼山后穴垦和全垦平均每年泥沙量分别为

0.023 t/hm²和3.144 t/hm²,径流量分别为9.2 t/hm²和96.8 t/hm²^[19]。

板岩发育的黄壤杂木林采伐迹地,炼山后穴垦每年的泥沙量和径流量分别为0.093 t/hm²和20.575 t/hm²^[20]。而由页岩风化发育的立地条件较差的山地红壤,炼山后第1 a土壤年侵蚀量和径流量分别高达72.6 t/hm²和344.49 m³/hm²^[21]。

千枚岩发育的红壤上,炼山后第1 a穴垦径流量为182.6 t/hm²,土壤侵蚀量为0.613 t/hm²;而在湘西南绥宁县,炼山后穴垦径流量为0.993 t/hm²^[22]。

粉砂岩发育的山地红壤,炼山后第1 a穴垦的径流量和泥沙量达2743.3 m³/hm²和24.8 t/hm²,分别是不炼山的11和88倍,伴随的有机质流失量达489.39 t/hm²,但随着杉木的生长,其幼林地水土流失逐年减轻,第4 a后基本上得到控制^[23]。粗晶花岗岩发育的山地红壤,炼山后第1 a穴垦的径流量和泥沙量分别为2113 t/hm²和43.9 t/hm²^[24]。

国外众多学者还对强度火烧造成的水土流失做过报道^[16]。Perira(1973)研究发现,迹地火烧后土壤侵蚀量是火前的100倍。采伐后侵蚀量40%是由全面燃烧采伐剩余物造成的(Clayton, 1981)。坡度<30°迹地上燃烧采伐剩余物的侵蚀量比无火烧迹地的增加70%,而坡度>30°的则增加1200%以上(Reim, 1982)。华盛顿西部火前无沉积物的3个流域,强度火烧后发现沉积物介于41~127 m³之间。

Rone(1954)指出陡坡地火后第1 a侵蚀率是未烧区的35倍,第2 a以后仍是未烧区的12倍。一些母岩(花岗岩、砂岩等)风化形成的土壤土粒间胶结能力较差,土体深厚、疏松,土壤可蚀性较大,其采伐迹地炼山后杉木幼林地土壤侵蚀比较严重(达中度或轻度侵蚀以上),加上一些不甚合理的营林措施,如挖大穴、扩穴连带、锄草“面面光”,水土流失则更为严重(达中度侵蚀以上),成为南方山区新增水土流失地。而在另一些母岩(千枚岩、板岩、页岩)风化发育的土壤,土粒间胶结较好,土壤抗蚀、抗冲能力较强,或在坡度较小、土壤肥力较高地带,炼山后水土流失较轻(在轻度侵蚀以下)。

同一母岩发育的迹地由于立地条件差异,炼山后杉木幼林生长及植被自然恢复速度(种类、盖度等)不同,幼林地水土流失差异较大。一般而言,同一母岩发育的土壤,不同立地条件水土流失大小顺序依次为:III类地>II类地>I类地^[16]。

2.2 刀耕火种与水土流失

在坡地上游耕种植引起的水土流失引起世界性

关注 Mass(1988)报道,墨西哥 Chamela地区由流纹岩发育的砂壤上坡度 22.5° 的热带雨林皆伐火烧地上种植玉米,当年土壤侵蚀量为 $130\text{ t}/\text{hm}^2$ 。同样种植玉米但用采伐剩余物覆盖 ($0.7\text{ kg}/\text{m}^2$) 的试验区,流失量为 $5.8\text{ t}/\text{hm}^2$ 。而未受干扰的热带雨林区流失量为 $0.19 \pm 0.150\text{ t}/\text{hm}^2$ 。种植玉米的流失量约为雨林区的 650倍^[25]。在西双版纳的热带季雨林皆伐火烧地上种植旱稻,当年径流量和冲刷量为 $226.31\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 和 $48.68\text{ m}^3/\text{hm}^2$,分别为热带干性季雨林的 34.5倍和 778.3倍^[26]。海南岛尖峰岭刀耕火种后头 3 a 的土壤侵蚀量和径流量平均值分别为 $32.076\text{ t}/\text{hm}^2$ 和 $2810.99\text{ m}^3/\text{hm}^2$,分别为林地的 590倍和 26倍^[27]。在我国南方地区,雨量充沛,降雨相对集中且暴雨频繁,加上坡度大,炼山后裸露迹地遭雨水直接打击,幼林地水土肥流失较为严重

鉴于炼山加剧水土流失,应尽量减少或不炼山营造杉木林,而把采伐剩余物散铺或带状堆腐,从而达到保蓄养分,增加幼林地表面覆盖度,提高土壤湿度,达到保持水土目的。Mannering(1986)指出,地表覆盖物达 $2.5\text{ t}/\text{hm}^2$ 时可有效防止水土流失(流失量在 $0.74\text{ t}/\text{hm}^2$ 以下);马尾松采伐迹地带状堆腐采伐剩余物,进行穴状整地时,其水土流失量在 $0.3\text{ t}/\text{hm}^2$ 以下,而进行炼山的则高达 $24.8\text{ t}/\text{hm}^2$ ^[22];杉木林采伐迹地用采伐剩余物带状堆腐处理,可减少 70.33% 的径流量和 99.14% 的土壤侵蚀量^[28]。

3 整地造林

整地能减少杂草竞争,改善土壤物理性质及营养状况,提高造林成活率和改善幼林生长条件,是人工林经营的主要环节之一。但不合理整地方式常导致幼林地发生较为严重的水土流失^[29]。沙县径流场上进行整地与不整地的对比研究表明,整地后第 1 a 的年径流量比对照(不整地)的少 $10.82\text{ m}^3/\text{hm}^2$,年泥沙流失量少 $0.77\text{ t}/\text{hm}^2$,有机质流失量少 14%;第 2 a 造林小穴被泥沙淤平后,整地的的径流量、泥沙量和有机质流失量分别比对照的增加 52%, 13% 和 111%。第 3 a 整地的仍比对照大^[18]。

张先仪(1986)在株州坡度 $13^{\circ} \sim 14^{\circ}$ 紫色页岩发育的红壤上连续 5 a 对不同整地方式进行观测,结果表明全面整地的幼林地每年径流量与泥沙量均最大,第 4 a 时径流量和泥沙量仍分别是水平带垦和穴状整地的 22倍和 16倍,泥沙流失量分别是其 12.8倍和 57倍,表明全面整地导致较为严重的水土流失。而穴状整地的 5 a 径流量分别是全垦和撩壕的 9.03%

和 19.56%,泥沙冲刷量分别是 0.76% 和 5.06%。虽然穴状整地早期杉木生长较慢,但穴状整地水土保持效果最好^[19]。

另据马祥庆报道,砂岩发育的红壤上全面整地的当年土壤侵蚀量达 $24.49\text{ t}/\text{hm}^2$,分别是带垦和穴垦的 1.23倍和 1.61倍^[24]。江西省林业科学研究所 在页岩发育的山地红壤上试验结果表明:整地后 3 a 穴垦、条垦和全垦的土壤侵蚀量分别是对照(炼山后未整地)的 3.45倍、3.92倍和 4.28倍^[36]。这表明不同母岩发育的土壤水土流失差异较大,而抗蚀性差的土壤若进行高规格整地将导致严重的水土流失。综合英国有关报道,采用犁耕整地造林,其附近河流或渠道每年的淤积量为 $0.2 \sim 1.3\text{ t}/\text{hm}^2$,比对照的(未整地)高 1.2~4倍^[4],在犁耕地直接测量的侵蚀值则更高,如 Caring(1993)记录犁耕后每 200 m 犁沟产生 $1.4 \sim 6.4\text{ t}$ 的泥沙^[30]。人们期望通过强度整地以获得促进林木生长的效果(大多数是暂时的),但这不利于林地有机物的保存,假如应用不当,则适得其反。因此,从经济效益、水保效果及林木生长发育规律来看,我国南方以穴状整地效果最佳。

4 幼林抚育

南方林区在杉木郁闭之前可安排 2~3 次幼林抚育,第 1 次在 4 月底至 5 月初,第 2 次在 8 月底至 9 月初^[29]。由于杉木幼树根系生长能力十分有限,全面除草松土对杉木幼林生长促进作用不大,而抚育季节又恰逢南方雨季,若遇暴雨或大雨,则必然产生超渗径流,从而造成严重的水土流失。

在尤溪径流小区,1987年 5 月 2 日对小区内的幼林按常规方法进行了全面除草松土,5 月 4 日和 11 日两场大雨引起的侵蚀量分别为 $11.764\text{ t}/\text{hm}^2$ 和 $8.286\text{ t}/\text{hm}^2$,分别占炼山当年土壤侵蚀量的 37.67% 和 26.52%。导致的泥沙冲刷量占当年冲刷量的 64.19%,而不炼山的径流小区采伐剩余物带状堆积,虽然与炼山一样进行幼林抚育,但径流冲刷量仅分别为 $0.036\text{ t}/\text{hm}^2$ 和 $0.020\text{ t}/\text{hm}^2$ 。炼山后第 2 a 第一次抚育后虽然短期内未遇大雨,但随后(3周后)两场大雨导致土壤侵蚀量占当年侵蚀量的 21.3%^[23]。

阳含熙(1958)调查湖南江华一片坡长 200 m,坡度 52° 的 2 a 生杉木幼林地发现,当年第 2 次幼林抚育(8月份除草松土)后不久,连下 3 日大雨,山坡中部每 100 m^2 冲走表土约为 0.370 m^3 ,而该坡下部冲刷更为严重,每 100 m^2 冲走 2.39 m^3 表土^[17]。另据马祥庆报道,不同抚育方式的土壤侵蚀量为扩穴连带抚

育 > 块状抚育 > 不抚育^[24]。张先仪指出,造林后第 1a 对杉木幼林地进行全面除草松土,水土流失量分别是刀抚和刀抚配合局部除草松土的 1.43 倍和 1.38 倍^[37]。不同抚育方式水土流失的差异与其林下植被保留的盖度大小有关。

为了减少幼林地水土流失(特别是炼山后第 1a),各地应根据具体情况,结合杉木年生长发育规律,适当调整抚育时间,借鉴农业上的“少耕法”,改变幼林抚育时间、方式和强度等。如幼林第 1 次抚育时只在杉苗基部培土压萌及拔除对幼林生长有威胁的杂草,最大限度降低幼林地的破土面,增加其盖度。若幼林地杂草丛生,严重威胁杉木幼苗的生长,则应采取相应的除草措施,如化学除草或除草不松土,并把杂草适当堆积成带和撒铺在幼林地,使幼林地表土保持相对稳定状态,以减少幼林地水土流失。

5 林农复合经营

上述分析表明,采伐迹地火烧清理后幼林地面裸露,往往导致侵蚀和土壤肥力下降,而增加地面覆盖则是控制侵蚀的主要措施之一。合适的林农复合经营在控制土壤侵蚀,改善土壤肥力,提高土地生产力等方面起着重要的作用^[31]。

杉木幼林间作黄豆和花生,前期林地土壤流失量比对照(未间作)的大,但后者的年总侵蚀量达 72.6 t/hm²,分别是间作的 3.1 倍和 2.1 倍,间作黄豆和花生的养分流失量(速效 N, P, K 和有机质)亦分别比对照的少 50%~70.6%^[21]。炼山后杉木幼林地及时间作绿肥覆盖地表,可减少杉木幼林地 17%~53% 的土壤流失量^[28]。

对天然林皆伐后单种木薯、黑胡椒和咖啡混作及第 1 层为槟榔、椰子,第 2 层为咖啡、木薯、黑胡椒、小豆冠的复合经营系统进行的土壤侵蚀研究,结果表明,单作(木薯)的年土壤侵蚀量高达 120 t/hm²,农作物混作年侵蚀量为 3~8 t/hm²,而农林复合系统年侵蚀量仅为 0.2~2 t/hm²,与当地天然林群落的侵蚀量相近,而且该系统对土壤肥力恢复十分有利^[32];用周围林地修剪物覆盖的玉米地水土保持效果最好,其侵蚀量不到单种玉米处理的 10%,所有重要养分损失量也相应地减少;草层的控制侵蚀作用远不如林木枯枝落叶的覆盖^[25];常规耕作下的 2a 土壤侵蚀量平均为 8.75 t/hm²,绿篱间作下为 0.95 t/hm²,免耕为 0.02 t/hm²,径流量和养分损失呈现同样的特点^[33];未间作绿篱的玉米地的年土壤侵蚀量为 23~28 t/hm²,而间植墨西哥丁香绿篱后降到 13 t/hm²^[34]。

但不合理的林地间作亦会加剧幼林地的水土流失,从而导致幼林地地力下降。据安徽省黄山茶林场调查,在坡度 30° 的杉木幼林地连续套种玉米 3a 后,每 1 hm² 冲走土壤 111 m³^[29]。我国的林农复合经营模式繁多,但人们对其水土保持和土壤肥力保持等方面的研究则较为薄弱,因此应加大对这方面研究力度,以期筛选出结构合理、效益优良,特别是水土保持作用效果较好,适合各地推广的林农复合经营的优化模式。

6 间 伐

有关间伐对水土流失影响的报道较少。由于间伐降低林分的郁闭度,减少林冠层对降水截持,使进入林地的降水一定程度上增加了林地的径流量和林内光照,改变了温湿度,促进林下植被的生长,使林下植被覆盖度增加,使土壤性状得到改良,从而增强林地涵养水源和保持水土的功能。据张先仪研究,对杉木林进行间伐后 3a 中,每年的径流量为 10~30 t/hm²,土壤侵蚀量为 0.015~0.035 t/hm²,水土流失轻微表明适度的间伐措施对林地水土流失影响很小^[35]。

从以上林木采集、林地清理、整地、幼林抚育、林农复合经营、间伐等角度探讨森林经营措施对土壤侵蚀影响中可以看出,采集方式、林地清理、整地和幼林抚育等对林地土壤侵蚀影响较大,而且对立地干扰强度越大,水土流失越严重,特别是土壤抗蚀性弱和降雨侵蚀力大的地段尤为明显。由于严重水土流失直接导致土壤肥力下降,林地生产力衰退,从而对立地长期生产力的维持构成严重威胁,因此,如何降低森林经营措施对林地土壤侵蚀的影响已成为林学界当务之急^[38]。

笔者认为首先应降低经营措施对林地的干扰,如采用择伐方式经营常绿阔叶林,皆伐区应控制一定面积并尽量采用全悬索道集材;采伐迹地采用带状堆积采伐剩余物(不采用炼山方式);穴状整地按品字形排列;选择合适的林农复合经营模式及低强度的幼林抚育措施等。其次应在土壤抗蚀性较弱,降雨侵蚀力较大即土壤侵蚀潜在危险性大的地段(如我国南方林区花岗岩、砂岩分布区),对传统森林经营措施的主要环节,如林木采集、林地清理、整地、幼林抚育对土壤侵蚀的影响及不同防治措施的水土保持效果进行定位研究,从生态学和经济学相结合的角度,筛选出适宜的、配套的林业经营技术措施,以实现林地的可持续发展。

[参 考 文 献]

- [1] Pritchee W L. Properties and management of forest soils[M]. John Wiley & Sons(eds). 1979.
- [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[J]. Proc. 19th. World Congress International Union of Forestry Research Organizations. Montreal, Canada. 1999, 1: 165- 180.
- [4] Evans J. The sustainability of wood production from plantations- evidence over three successive rotations in the Usutu Forest[J], Swaziland 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 Sci. Soc. Am. J. 1996, 60 1629- 1642.
- [6] Kimmins J P. Importance of soil and role of ecosystem disturbance for sustained productivity of cool temperate and boreal forest[J]. Soil Sic. Soc. Am. J. 1996, 60 1643- 1654
- [7] 盛炜彤主编. 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, 等. 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):
- [9] 俞新妥. 杉木林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] 赵秀海著. 森林生态采伐研究 [M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1995.
- [12] Dyrness C T. Soil surface condition following tractor and high-head logging in the Oregon Cascade [J]. J. For. 1965. 63 272- 275.
- [13] Rice R M, Foggin G T. Effect of high intensity storms on soil slippage on mountainous watersheds in Southern California [J]. Wat. Resour. Res. 1971, 7: 1485- 1496.
- [14] Chander C et al. Forest fire behavior and effect [M]. John Wiley & Sons(eds). New York, 1983.
- [15] Carl F. Jordan nutrient cycling in tropical forest ecosystem [M]. John Wiley & Sons(eds). New York, 1985.
- [16] 杨玉盛, 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.
- [17] 阳含熙. 杉木造林 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1958.
- [18] 李荫森, 等. 挖掘马尾松树根对水土流失影响的试验报告 [Z]. 1987.
- [19] 张先仪, 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.
- [20] 张先仪, 等. 山区不同整地方式水土保持效益与杉木幼林生长效果 [M]. 人工林地力衰退研究. 1992.
- [21] 张先仪, 等. 林粮间作与水土流失 [J]. 林业科技通讯, 1981(5): 9- 12
- [22] 江西林科所, 等. 赣南、湘西山区不同整地方式水土流失对比试验 [M]. 人工林地力衰退研究, 1992.
- [23] 杨玉盛, 等. 杉木幼林地水土肥流失的研究 [J]. 水土保持学报, 1993, 7(3): 32- 36.
- [24] 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.
- [25] Mass J M, Jordan C F, Sarakhan J. Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystems under various management techniques [J]. Journal of Applied Ecology. 1988, 25 295- 607.
- [26] 汪汇海, 等. 滇南热带雨林开发利用与水土保持的相互关系 [J]. 林业科学, 1982, 18(3):
- [27] 卢俊培. 海南岛尖峰岭游耕农业及热带林采伐的生态后果 [J]. 北京林业大学学报, 1987, 9(4):
- [28] 何英智, 等. 杉木幼林地水土流失及其防治研究 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(1): 85- 90.
- [29] 吴中伦. 杉木 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1984.
- [30] Carling P A, Glaister, M, S, Flincham T P. Soil erosion and conservation on land cultivated and drained for afforestation [J]. Hydrol. Processes, 1993, 7 317- 335
- [31] Anthony Yoamg (刘兆普译). 复合农林业与土壤保持 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [32] Moench M. Soil erosion under a successional agroforestry sequence a case study from Idukki. District, Kerala, India [J], Agroforestry Systems. 1991. 15 31- 50.
- [33] Lal R, Sanchez P A, Cummings R W. Land clearing and development in the tropics [M]. Rotterdam, Netherland Balkma, 1986 462.
- [34] Van Uexkull H R. Efficient fertilizer use in acid upland soils of the humid tropics [J]. Fao Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin Rome FAO, 1986. 69.
- [35] 张先仪, 等. 间伐杉木林下植被演替和水土保持影响的研究 [M]. 见: 盛炜彤主编: 人工林地力衰退研究, 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 161- 180.
- [36] 江西省林科所杉木研究室. 杉木造林整地方式效果分析. 世界林业研究, 1996, 9 270- 275.
- [37] 张先仪, 盛炜彤, 等. 杉木幼林不同抚育方法的效果评价 [J]. 世界林业研究, 1996, 9 86- 89.
- [38] 杨玉盛, 等著. 杉木人工林可持续经营的研究 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1998.