

林业经营与水土资源保育之互动

黄琼彪¹, 蔡满雄², 黄国祥²

(1 林业试验所研究员, 台湾 台北; 2 林务局)

摘要: 在森林地之地表径流端截留量、蒸发散量及土壤吸收渗透量之多寡而决定, 有剩余量才会产生。根据文献报告指出, 截留量随降雨强度增而增加后, 又随着减少, 同时与树种、林相有关, 针叶树比阔叶树截留量多, 多层树冠之截留量亦多。蒸发散量亦是与树种、林相有关, 郁蔽度大者蒸发散量少, 因为郁蔽度大着通风不良、日照减少、温度降低。土壤吸收渗透量与树种、林相亦有关系, 因为树种之根系型态不尽相同, 枯枝落叶量多寡, 郁蔽度大小皆会有影响, 土壤孔隙率受根系多少而变化, 有机质含量大则吸水能力强, 增加水分渗透机会, 植物种类引诱动物活动, 也会增加土壤孔隙, 导致土壤水吸收与渗透量增加。由于森林与水文循环关系密切, 森林之林相、主要树种、树龄在水文循环过程中均扮演极重要之角色, 所以森林内之施业, 诸如伐木作业、开辟林道、造林、林相改良、林相变更、工程施工、开矿采石等活动对森林集水区水文会有明显变化。本省气候特殊, 雨量集中, 干湿分明, 洪患与干旱灾害是本省最大隐忧, 若能经由不同之林业经营方式来影响森林集水区水文变化, 提高森林涵养水源、净化水质、调解水量与保安固土, 灾害降低至最小, 将森林功效发挥至最大; 规划水文站网, 做好气象、水文观测工作, 一定是必要条件。

关键词: 林业经营、水土资源保育、水源涵养

中图分类号: S 157; S750

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2002) 03-0034-08

The Interaction of Forest Management and Soil Conservation

HUANG Qiong-biao¹, CAI Man-xiong², HUANG Guo-xiang²

(1 Taiwan Forestry Research Institute, Taiwan, China; 2 Forestry Affairs Bureau, Taiwan, China)

Abstract: The forest hydrological processes include precipitation, interception, evaporation, and runoff. Interception splits precipitation into that delivered to the land and water surfaces and that caught on the forest canopy and returned to the atmosphere by evaporation. Water delivered to the land surface may run off directly, as overland flow into streams to drain by way of rivers and lakes back into the sea, or infiltrate the soil. From the soil, the surplus draining further down to springs maintains the steady flow of rivers. Plants return much of the soil water through transpiration to the atmosphere some water also evaporates directly from the soil and from the surfaces of lakes and rivers. The forest is characterized by three primary elements: (1) the foliage above the ground forming a number of layers that compose the total thickness of the protective canopy, (2) the accumulation of dead and decaying plant remains on the ground surface constituting the forest floor, and (3) the forest soils that are formed below together with the living and dead roots and subsurface stems that permeate the soil. In Taiwan, road construction is the largest sediment source in forestry operations, and roads located adjacent to streams can be continuing sources of water quality problems. Besides, road construction in riparian zones will lessen the effectiveness of the zone as habitat for many wildlife species. This results from both the alteration in the vegetative complex and in the increased disturbance from traffic along the road. When artificial constructions are necessary to maintain channel beds and banks, bioengineerings should be applied to reduce the impacts on natural environment. Any use of fertilizers, mechanical treatments, prescribed burning, pesticides and other chemicals to assure buffer function shall not compromise the intended purpose. Abundant consultation with experts prior to operation is the better way to do the right things. Any kind of forest recreational activities are prohibited due to the upstream ecosystems are extremely sensitive and a rigid protection is proper. The forest ecosystem will be inspected periodically to monitor the environmental variances and effects of protection. An integrated monitoring program, including silviculture, landscape, vegetation, animals, social interaction, is combined with

¹ 收稿日期: 2002-05-01

作者简介: 黄琼彪, 台湾林业试验所研究员; 蔡满雄, 林务局课长; 黄国祥, 林务局研究员。

management plan as a feedback, to improve the project running smoothly for a long period.

Key words: forest management; soil conservation; water source conserving

1 森林对水土资源保育之功能

森林是一个作用很复杂的生态体系, 包括有树冠层、林下植被、枯枝落叶、土壤、根系, 以及活动于其间的动物微生物。这些因子将对水循环过程中的截留、蒸发散、渗透、径流、地下水等, 均有不同程度的影响, 其中仍有许多细节尚未完全清楚, 但是综合而言, 降水经由森林的作用后, 所发生的过程可简单列示如图 1:

简而言之, 森林涵养水源的功能, 可分成若干项: 森林对降雨的截留作用, 可减少有效雨量及其所引起的径流量, 对

于强度大的降雨, 具有相当的缓和效用; 林木可促进蒸发散, 消耗多量的土壤水和地下水, 增加土壤保水容量, 减少地表径流及冲蚀; 促进土壤发育, 增加孔隙直径和比率, 有利于水分渗透, 增加土壤水的贮留量、滞留量和地下水量; 借着枝叶层和土壤的过滤效果, 净化水质, 使自森林地带流出的水干净清洁, 且含有微量矿物质; 消减雨滴直接击打土粒的能量, 减少表土冲蚀; 根系可有效的固着土块, 防止崩塌并减少泥砂流出。详而言之, 可分项阐述如下:

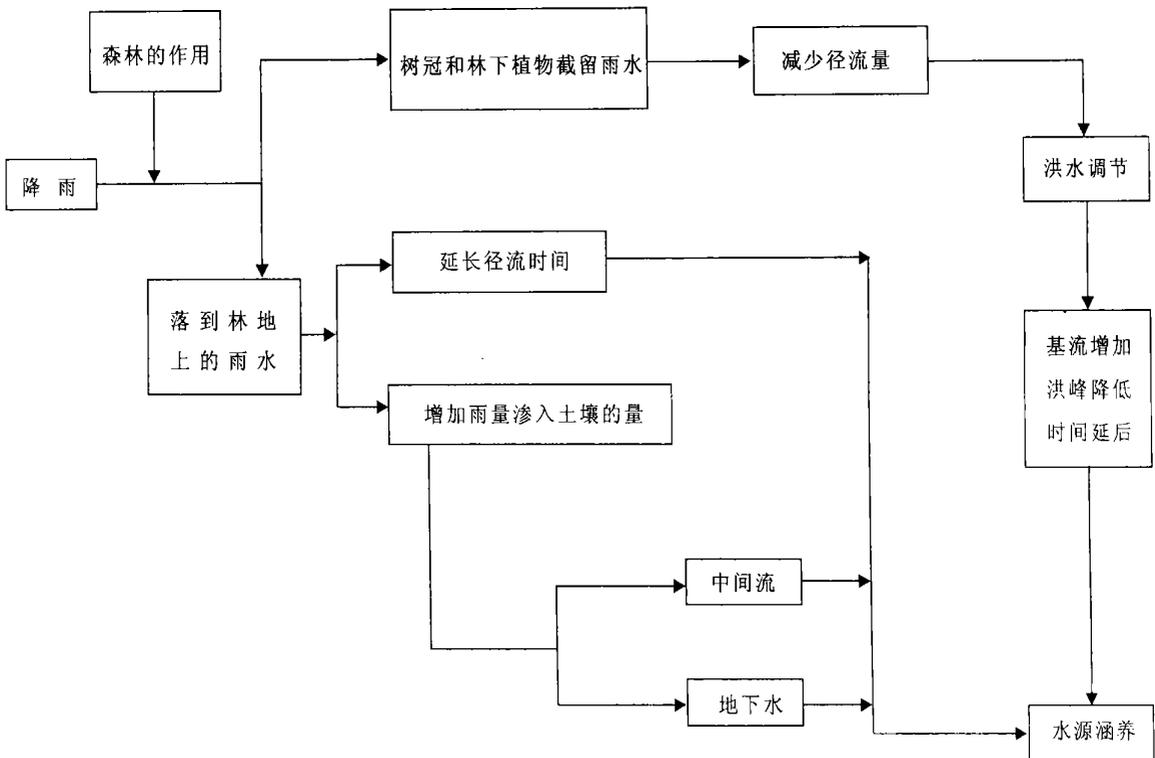


图 1 森林对水土资源的保育功能

1.1 水源涵养

森林涵养水源之功能可简单地从林地有利于水分进入土壤层及增进土壤之保水能力两方面加以说明。林木之树冠及枯枝落叶层可有效地消减雨滴打击地表之能量, 一则可减少发溅冲蚀, 一则可减免密封(sealing)作用, 使地表保持最佳之入渗状况, 有助于雨水进入土壤层。枯枝落叶层及复杂交错之植物体, 使地表之粗糙度大为提高, 除可增加地表之注蓄容量(surface detention storage)外, 并可减低地表水流之速度, 因而可避免径流集中与地表冲蚀, 增加水分入渗之机会。而林地土壤发达之团粒构造亦有利于水分进入土壤层, 故林地之入渗容量子力学(infiltration capacity)多高于非林地(见表 1)。此外, 腐败之植物体及动物孔穴, 可增加土壤大孔隙之比率, 同时构成庞大的地下渠道网络, 雨水得以藉此路径迅速地导入较深之土壤层内, 再全面性地扩散至各方土壤孔隙内; 此种管流为次地表下径流(subsurface flow)主要

路径, 对土壤水与地下水补注均有相当助益。

表 1 不同土壤质地及植生覆盖条件之入渗容量值

质地	入渗容量/(mm·h ⁻¹)	
	裸露土壤	植生覆盖
黏土	0~5	5~20
黏壤土	5~10	5~20
壤土	10~15	20~30
沙壤土	15~20	30~40
沙土	20~25	40~50

林地由于上述两方面正面之效应, 大部分之降雨得以进入土壤层。保存于土壤孔隙间之水分, 若受重力之影响较大, 则渐次地向下方移动, 终将进入母岩孔隙内或地下水层, 得以滞量而贮存较长时间。此等贮存于土壤或岩石孔隙内之水分以及地下水为基流之主要来源。因此, 森林集水区之基流量通常较非林地集水区为高, 证实森林涵养水源之功效是

可肯定的。综合上述,森林涵养水源之功能并非来自林木本身而系整个动态的森林生态体系,森林仅提供一良好之环境使土壤层达到最佳之保水蓄水状况,并藉植物保土护土之功能维持此最佳状况。至于涵养水分之多寡,则决定于土壤之孔隙率、土壤深度、有机质含量、坡度、地下水位、土壤及岩石层裂隙、母岩性质与不透水层分布等多数因素。

1.2 洪峰流量及洪峰到达时间

有关伐木或改变植被型态对降雨型洪峰流量影响之报告亦缺乏一致性的结论。大部分报告结论认为伐木会显著增加洪峰流量,尤其是在砍伐后的数年间增加量最为显著。然而亦有报告认为不会造成洪峰流量显著的增加,甚至有洪峰流量降低之结果。

就水文平衡理论观点而言,若无地表压实(compactness)或改变集水区水流路径等现象,伐木后洪峰之增加量应来自截留及蒸发散损失减少之量。树冠层之截留量有一定之限度,而降雨时之蒸发量通常甚低,且减少此二种损失所节省之水量系以某种方式分布于整个水文过程中,而非完全反应于洪峰流量上,故洪峰流量增加之能力极为有限。然而上述分歧之试验结果主要系导致于伐木所造成地表扰动之不同,伐木时机械之压实以及林道之辟建为造成洪峰流量增加的主要原因。Harr 氏(1976)曾指出受筑路或其它活动干扰之区域,若小于全集水区面积之 12% 时,则伐木后洪峰流量即不会显著增加。除扰动之程度外,洪峰流量增加之多寡亦决定于砍伐区土壤水分状况,若降雨时土壤处于饱和或近饱和状态,则大部分之降雨可立即转换成径流,洪峰流量即相对地增加较多。

此外,若干研究显示伐木会影响集水区之洪峰到达时间或集流时间(time of concentration)。大部分报告认为砍伐后洪峰到达时间会提前数小时至数天不等,但亦有研究得到相反之结论(Harr and McCorison, 1979)或认为无显著之影响。试验结果之异异性相当大,但其原因一般认为系导致于伐木改变集水区径流路径与微气候。集流时间以及洪峰到达时间主要是决定于集水区之地形、土壤(尤其是土壤含水量)及地表状况等因素;林木树冠层虽可延缓雨滴进入土壤之时间,唯其影响程度不大(陆象豫, 1995)。降雨型洪峰时间主要系受伐木改变径流路径所致;伐木时部分地表被压实,致原本入渗之次地表流改经地表进入溪床,因而缩短集流时间。

试举一例,来看看曾在美国田纳西州(Tennessee)之 37 集水区之区试验结果。这个试验集水区只包括有散生的少稀树木或草生之荒地地所成之丘陵地集水区。自从开始观测水文以后,曾经作过简易之治山工程并有松树之造林,而在 20 年后(1941~1960)就形成郁闭之森林。在林床也有丰富之落叶层及地表植生,同时表层土壤之孔隙亦有了少稀的改善。在这个过程中,在荒废时期、幼龄林成立及形成郁闭以后的各时期中,有过各种降雨型态及几乎等量之降雨。由于这些降雨带来之直接流出量与其尖峰流量,都随着治山施工和幼龄林之成立以至在森林郁闭形成有明显的减少,还有直接流出之持续时间之延长情形。这种明显的直接流出之平均化,在用单位降雨量之直接流出量之单位历线(unit

hydrograph)之分析有更明确的显示,而对洪水流量之抑制效果更可明显判认。

随着森林的成立而使蒸发散量之增加,并因表层土壤之透水性之改善使往下层之渗透量增加,而使直接流出量之总量有显著的减少。对于一年之直接流出量之总量和三个时期中几乎相同的年降水量作比较的结果,当然的,后二时期之直接流出量之总量比起荒废时期之总量有明显的减少。重要的是,将一年间之基流量之总量也同样的作比较结果,在荒废时期后之二时期,在大多数的年间都有增加,而其它年间,则没明显的增加。此长期之试验观察,应对森林之水质源保育功能作综合性之描述。

1.3 减少泥沙冲蚀及洪患

集水区泥沙(sediment)产生方式包括地表冲蚀(surface erosion)、蚀沟冲蚀(gully erosion)及山崩地滑(soil mass movement)等三种,而导致冲蚀与崩塌最主要之因素则为坡度、地质等,诱因则为降雨、地下水与土地利用。林地地表因受树冠层拦截雨水及枯枝落叶层之覆盖,可免除雨滴所造成之发溅冲蚀;且林地土壤由于具有发达之结构与良好之通透性,入渗容量往往均大于降雨强度,除非在极强之降雨强度下地表径流(漫地流)甚少发生。即使发生地表径流,亦因枯枝落叶层又植物体之阻绝,使地表流流速降至甚低而多以层流(laminar flow)方式出现,如此水流之冲蚀能力大为降低,故林地之非点源冲蚀甚少发生。在自然状况下,林地之蚀沟冲蚀多发生在露处(导因为强风、暴雨、崩塌、野火等)或根圈土附近由干流水(stemflow)所造成之冲蚀。覆盖良好之森林地(尤以具有完整之枯枝落叶层之林地),地表冲蚀与蚀沟冲蚀均不易发生,此乃为森林防止冲蚀之正面效应。造成山崩地滑之原因多属地质与地形因素,诱因则多为土壤水剧增或其它外力(强风与地震为主)所导致之重力不平衡。森林土壤虽因具有较多的大孔隙而增加土壤之孔隙水压,致对坡面稳定造成负面的影响;然而植物根系的网结土壤作用,足以弥补孔隙压力增加所产生之不利因素。但林木根系深度与网结作用均有限度,森林仅具有减少浅层崩塌之效,而是否因而会减小大型崩塌之发生,尚缺乏具体资料可资佐证。砍伐迹地于原有林木根系腐朽而新植被未建立之际最易发生小型崩塌,即可说明孔隙水压及网结作用与浅层崩塌间之相互关系。另一方面,在陡峭边坡上之树木,其身生重量即为一坡面不稳定因素,若风力作用于枝干之力矩大于根系固着力之力矩时,则亦会对边坡稳定会产生负面之影响。而风倒木除会导致表土裸露,增加地表冲蚀之机会外,其所造成的窟窿亦会成为水分聚积之处,对坡面稳定有极不利之影响。虽上述三种冲蚀现象均可能随生于林地内;然若无筑路、砍伐林木、耕作或放牧等人为活动则覆盖良好林地所发生的冲蚀多属自然冲蚀,不致有加速、加剧之现象。

许多研究报告指出森林集水区溪流之泥沙多源于道路开辟及维修。林道辟建需先铲除地被植物,继之以大量之挖填方;挖掘处底土裸露,植生难以恢复,回填处土壤受严重扰动,已非自然边坡,路面拦截水流,成为径流溪道,故林道上边坡以及路面遭雨水或径流冲蚀之机会甚大。加以压实地

表减少入渗及截断原有之水流路径,更造成径流集中,加速冲蚀。随开路而来之人为活动(如伐木、垦殖、游憩等),更使冲蚀问题恶化。在美国约 90% 进入溪流之泥砂多来自林道辟建及伐木作业, Megahan 及 Kidd (1971) 之调查更指出开路所导致之泥砂输出为未扰动集水区泥砂输出之 770 倍,其中 30% 是导因于路面及边坡的地表冲蚀,其余为因筑路所导致之崩塌所产生。又根据航测调查,台湾地区山坡崩塌地有 2 535 处,崩塌种面积为 8 100 hm^2 ,崩塌原因以筑路开垦占 29% 为最多,地质因素占 24% 次之(吴辉龙, 1991)。

森林减轻洪患之作用主要在于森林的保土护土功能。在地表覆盖保持完整之状态下,林地内非点源冲蚀几乎可完全避免,且漫地流(overland flow)亦鲜发生,故森林可有效地阻绝雨滴的发溅冲蚀以及地表径流的水力冲蚀,因而达到保持土壤之功效。洪水中若无挟带的土砂等冲积物,则其冲击破坏力将大为降低,且不会阻塞排水构造物,藉此可达到减轻洪患之作用,此乃森林减轻洪水灾害的最大功能。保水必先保土,治土为治水之本,森林乃是防止洪水为患之最佳土地利用方式。良好的森林覆盖与稳定的土壤层能减少小洪水发生之次数。亦是保护水源之先决条件,但森林对超强度降雨的防洪功效不能过分乐观。

1.4 森林与水质

集水区内由于森林被砍伐以及肥料与农药之大量使用,造成水资源品质之劣化。一般而言森林对维护水质之功能确多肯定。已知之事实为森林的树冠层、枯枝落叶层与土壤层均会对雨水中之某此化学物质会起不同之交互反应作用,此等作用之结果将使有些物质被吸收,有些则被淋洗出。经过林木树冠层离子交换作用后,雨水中一部分 NH_4^+ 、 NO_3^- 、及 SO_4^{2-} 等离子会被吸收,而 K^+ 、 Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 等阳离子则会被淋先出,故林冠可中和雨水之酸性(金恒镛等, 1994)。枯枝落叶层与有机层中半分解的有机质及腐植质具有强大之离子交换与吸附功能,生长于其中之菌类亦具有极大的吸收及浓缩养分的功能,因此流经此层之大部分养分可暂时保存或被植物体吸收利用而滤出。土壤层除微生物或植物根系会吸收利用养分外,其它有机物及土壤矿物(如铁、铝氧化物、高岭土、伊莱石、蛭石等)更可吸附各种离子与有机化合物,而使养分滞留于土壤层内。水中养分或其它物质之过滤、离子交换与吸收作用绝大部分系在 A_0 层以下各层次土壤中进行,森林可有效地使雨水进入土壤层,亦可减少雨水冲蚀所造成之悬浮质,因而间接发挥净化与改善水质之功能。

森林砍伐后,除上述树冠层之离子交互作用及庇护地表作用无法达成外,一部分离子如 NO_3^- 等将因未被植物吸收而大量流失,但对集水区水质最主要之影响在于林地地表温度升高所引发的有机质加速分解作用。分解之有机质,遇雨则极易遭流失(尤以坡地为甚);有机质流失,一则会破坏原有之土壤结构,将使土壤之保水蓄能力丧失殆尽,一则减少土壤之离子吸附能力,将使土壤无法保持原有之地力。

另一方面,砍伐林木或铲除滨岸植物,亦会影响溪流之水温。已有报告证实,砍伐滨岸林木会使溪流水温增加摄氏零点几度至摄氏 10 以上不等;在北美洲地区年溪流最高温

度受铲除溪岸植物影响,亦有增 4 ~ 15 之记录(Brown, 1980)。水温增加,则水生动植物活动力增加,最起码将会使水中含氧量降低,此亦为伐木影响溪流水质之另一不利因素。

2 森林经营对水土资源保育之影响

森林固然对水源涵养具有多项功能,但必须要透过规划完善的集水区经营计划的实施,方能彰显出整体效益。换句话说,纵然有良好的森林生育环境以及完整的覆盖等自然条件,若不辅以适当的经营方式,则森林所具备的诸多功能,仍不能有效的发挥出来,甚至将因经营不当,导致资源的损害并造成下游地区各种灾害。以下乃就若干森林经营方式,讨论其水土保持的影响:

2.1 森林皆伐之影响

台湾中部地区莲华池 4 号天然阔叶林试验集水区,1979 年皆伐处理,降雨量 2 250 mm,皆伐后第一年流量增加 492 mm,其中雨季(5 月至 9 月)增加 420 mm,而旱季(10 月翌年 4 月)增加 88 mm。对于暴雨流量统计分析,洪峰流量增加 $1.911/(\text{s} \cdot \text{hm}^2)$ (24%),基本流量增加 $0.031/(\text{s} \cdot \text{hm}^2)$ (7%),洪峰时间减少 0.33 h(23%), (卢, 1983)。

美国 Oregon 州之 H. J. Andrews 试验集水区,其中一个针叶树林试验集水区,(1966 ~ 1967 年)增加流量 460 mm 对水的时间分配,大约 80% 流量增加,分配于雨季之 10 月至翌年 3 月,20% 流量增加,分配于旱季之 4 月至 9 月。惟每年 8 月至 9 月间枯水时期,虽仅有少量流量增加,此增加之流量对下游地区水的供给,颇有助益。(Rothacher, 1970)。

日本 4 个试验集水区皆伐对水的时间分配分析显示(Nakano, 1967),林木皆伐后,豪雨期间直接流量与洪峰流量增加,至于增加量的多寡与降雨量、降雨强度及雨前土壤含水量有关。4 个试验集水区增加直接流量在 28% ~ 58% 之间,增加洪峰流量在 69% ~ 118% 之间。移除森林,冬季低水流量可增加 12.7 mm,至于无降水的冬季,低水流量增加 7 ~ 8 mm。

皆伐砍伐增加流量,主要为减少蒸散量。一般而言,降水量越大,流量增加之潜力越大。至于皆伐植生种类与流量增加之程度,针叶树林皆伐,流量增加最多,而阔叶树林、灌木等皆伐,流量增加,依次减少,干旱地区移去植生,增加洪峰流量、直接流量及低水流量的显著性较弱。于在皆伐后林地地表土冲蚀的河堤,根据调查显示,若非崩塌原因,且不移除或破坏地表植枝及植被,则砍伐迹地之土壤流失量极微;少数泥沙流失较多之处,皆为土壤裸露或地被遭破坏区域。

2.2 森林择伐或疏伐的影响

Virginia 州西部之 Fernow 试验集水区,平均年降雨量 1 470 mm。一个集水区所有林木之胸高直径大于 43 cm 被择伐及 36% 面积之地被植生被移除,其年流量增加 63 mm 或 10%。另一个集水区进行商业式皆伐,移去 88% 面积之地被植生,其年流量增加 130 mm 或 19%。此外,在另一个集水区集行粗放式择伐,即胸高直径大于 28 cm 之林木被砍伐与

22% 面积之地被植生被移除。另一个集水区进行密集式择伐,即胸高直径大于 13 cm 之林木被砍伐与 14% 面积之地被植生被移除。此两个择伐试验集水区仅少微增加流量,生长季节时,流量变化在统计上无显著增加,冬眠季节时,流量增加亦甚微。水文分析结果显示,择伐处理对低流量较有影响,择伐愈强烈,影响愈大。一般而言,强烈择伐可增加生长季节之高流量, (Reinhart et al., 1963)。

由于疏伐与择伐较皆伐整个集水区越来越为普遍,因此疏伐对集水区出水量之影响亦广受重视。很多学者认为疏伐或择伐对集水区之出水量影响不大(Leaf, 1975),但亦有若干报告证实疏伐或择伐对集水区出水量或洪峰流量之影响与皆伐具有同样效果,尤其是在亚高山区(subalpine) (Troendle and King, 1987)。后者所持之理由为疏伐对减低截留损失以及土壤水分与皆伐具同样之效果,且疏伐区之积雪量较空旷区为高。疏伐与皆伐对水资源影响是否具相同效果,仍无定论;但可以确定的是二者均与砍伐面积有关。Bosch 与 Hewlett 氏(1982) 所得之结论为:当植被改变之面积小于全集水区面积 20% 时,集水区出水量之改变即无法由量测溪流流量侦测出。

2.3 林间放牧的影响

林间放牧之基本构想在于互利互惠相补相成,亦即牲畜食用草类,可抑制林间杂草生长,一来节省除草人工,二来节省饲料费用。而且牲口之排泄可作为林木肥分来源,可谓一举数得。但是同时也带来若干缺点:

- (1) 林地裸露:牲口休息区、行政区、觅食区及行进路线,几乎均呈冲蚀裸露地表。
- (2) 林木生长受影响:当林木幼小或不够壮大时,受牲口之碰撞、践踏而折损。
- (3) 引发崩塌:在陡峭之坡面,因牲口践踏之力道,因而引起小型冲蚀及崩塌。
- (4) 污染水源:牲口数量太多时,其排泄物必然对水质有影响。

以台湾之水文的条件观之,在林地内一旦地表因牲口踏压而致土壤裸露并压实后,极易造成表土冲蚀或引发崩塌。林业试验所曾于 1987 年间尝试林间放牧之效益,惟因饲养牛只仅为少量,且以危圈养为主,故未曾观测其对水土保持之影响。但综言之,如此方式之经营,并未对林业或牧业有突破性之成果,显示林间放牧之可行性犹待求证。

2.4 道路开辟的影响

道路的开辟是为了森林经营和集水区保育工作所必须,举凡器材人员的运输、灾害抢救、工作及各项调查的进行,无不借助于方便的道路网,使之能事半功倍。然而自过去已至于今日,多数森林地区或山区道路之构筑,在事前之规划及定线上,可能限于时间、人力和经费,往往未臻妥善;施工时且为了节省经费,而减少了必须的水土保持工程。短时间似乎降低了筑路成本,但是在日后发生灾害时,所需付出的维护费用,却如无底洞般的增加,以至于所谓的建设反成了破

坏。

以水库集水区为例:据调查资料显示,翡翠水库集水区内部路边崩塌地占 88%,占总崩塌面积的 74%。而曾文水库因开路所引发的崩塌地亦占 18%,德基为 16%,石门为 14%。由此可见筑路所产生的崩塌地,也是一个很主要的人为泥沙生产来源。

已往开路标准不高,尤其是林道,道路普遍欠缺排水设施,同时道路挖方的弃土又无适当处理,任意将弃土石往下推,因而冲击下坡面,破坏覆盖,泥沙很快就会流入水库。再者,水库集水区内部道路之新辟、改善或延长,均会助长滥垦,因此不必要的道路,应停止兴建。现行法规已经明订,对于水库集水区内部修建道路、伐木、探采磺、采取或堆积土石、开发建筑、经营游憩用地、设置坟墓、处理垃圾等废弃物及其它开挖整地者,应先拟具水土保持计划,并征得水库治理机关同意后,再报告各该目的事业主管机关核准后,才可施工。

此外,国外亦有相当多的研究报告指出开路与崩塌和泥沙之关系。Schroeder and Brown(1984):崩塌的发生频度,在立木地于 1978 ~ 1982 年间并无显著增加;在皆伐地增加了 5 ~ 6 倍;在道路两旁,则有大规模的崩塌形成。而 LaHusen(1984) 亦指出:美国加州 Redwood 溪集水区之中,其最大的崩塌潜在区,均位于道路所经过的陡峭坡面以及潮湿的凹坡面。在日本方面,根据矢田部龙一等人的研究(1997) 结果:四国水边的高速公路沿线共有 70 余处崩塌,其中位于中央构造线破碎地质带的崩塌地就超过了 50 几处,可见得道路经过不稳定坡面,将产生大量崩塌及泥沙。所以山区森林集水区道路之开辟,应先审慎评估其必要性,加强先期调查规划工作,就水文、地形、地质、生态环境、水土保持等问题,详加综合分析;施工期间应注意原地形状况之维护,配合应做的水土保持工程;施工后则务必建立健全的维护工作制度,期望防范灾害于未然。

2.5 森林游乐的影响

人与其周遭的自然环境是互动的,尤其以现代社会中,人所承受的精神及身体上的压力相当大,更应该借着到森林里做各种活动,以求得舒解,这也是近年来台湾地区不论是公营或民营各类型态的森林游乐区,如雨后春笋般相继出现,印证了民众有如此的体认和需求。然而,森林游乐区既称之为人于森林环境的互动,则人类活动必对其环境条件有若干影响。简言之,游乐活动对森林环境的最直接影响因素,主要是游乐设施(道路网、食宿设施、娱乐活动场、水资源利用设施等),残害生物(渔猎、优伐、采集),火(火灾引发)及垃圾(废弃物置与废水处理)等四项。由于这些直接因素,生态环境内生物(野生物)及非生物(地质、地文、土壤、水及微气候)部分发生变化。当土壤发生冲蚀,水体的量与质受到影响,则生态环境的物理承载量(physical carrying capacity)受到考验。若野生物(动物、植物)受到干扰,生物承载量(biological carrying capacity)便要加以正视。

若以水土保持的角度而言,则森林游乐之影响可分述如

下(金恒镞, 1988):

(1) 土壤: 游乐活动改变土壤的性质: 影响土壤排水, 加速土壤冲蚀, 影响其生活的植群及其内生活的生物, 改变土壤肥力, 最后影响整个土壤生态系, 阻碍土壤的成长化育, 而其干扰的第一步是破坏地表覆盖的有机物(枯枝、落叶、枯干)。枯枝落叶因践踏, 取燃而移走。更因筑路、设施而破坏殆尽。土壤有机物是改善土壤结构(structure), 增加土壤孔隙度(porosity)的最重要物质。土壤结构若良好, 孔隙度便高些, 这种性质是土壤稳定的重要因素。

干扰践踏破坏土壤的结构, 改变孔径及孔隙率, 便马上会影响水进入土壤(入渗作用, infiltration)及在土壤内流动(渗漏作用, percolation)的速率。如果水进入土壤的孔径变小, 孔隙量变少, 多余的水便在地表漫溢横流, 径流(runoff)便发生。径流所挟带的能量带走地表的土壤, 造成地面冲蚀, 土壤流失, 形成冲蚀沟。

台湾地区的雨量丰富(年雨量约为 2 515 mm), 且又多集中在夏季, 故在短期间内的暴雨, 对自然未经人为干扰的地表, 已构成冲蚀强的诱因。若处山坡地区, 更有利冲蚀的发生。台湾中低海拔的气温高, 有利地表枯枝落叶的分解, 因此, 地表也缺乏有机物的保护。地表一经干扰, 即使不常践踏, 步道山径在暴雨期的冲刷多是造成冲蚀沟的先驱。因此, 游乐区的步道(尤其是土路面)设施, 第一步要处理的是尽量避免表土因践踏, 步道山径在暴雨期的冲刷多是造成冲蚀沟的先驱。因此, 游乐区的步道(尤其是土路面)设施, 第一步要处理的是尽量避免表土因践踏而变得紧实(compact)。许多较平坦的步道上铺设木片(wood chips), 防止地表土壤冲蚀的功良好。因为木片层可吸收正压力又透水, 分解后可增加地表有机物, 相当理想。

(2) 水量与水质: 游乐活动对水资源的影响, 可从水量与水质两方面来谈。水资源的影响包括水的物理、化学及生物性质的改变。水的物理性质是指水量的多寡、季节性的分布及水的流径、悬浮质量、水温等。化学性质是指水中的养分浓度。生物性质是影响水生物的含氧量, 病原菌等等。游乐活动对水质的影响, 尤其是养分浓度生态系的水质指针最受到管理者的关心。水体养分(氮与磷为主)控制生态环境的良窳, 进而是水域生物活动的因素。游乐活动的结果, 多会提高水体养分物浓度而导致发生优养作用(eutrophication)。恶化水质之后, 会改变原来水域的生态系。

改变水体物理性质的另一大原因是人类在野溪建造的工程构造物(诸如大桥、水库及沙坝)干扰地文(geomorphology)的结果。这种迫使水的流径改变, 引起冲蚀, 提高水体的悬浮物含量, 尤其是暴雨期间为然引起水体品质恶化的活动, 主要要游乐活动, 一则就在水中(如各种水上、水中活动), 还有便是干扰陆地而间接使水体品质恶化。例如接近河岸、湖泊岸边的各种活动, 破坏地表, 污水排放不当所致。因此, 一般原则是接近水体附近, 预先置留水滨带(riparian strip)或缓冲带(buffering strip), 让这些生态敏

感区(sensitive area)发挥自然界生态系的功能, 维护自然环境的品质。

(3) 植群: 植群是许多生态环境内的主要构成分子, 也是许多游乐区的主体。因此, 游乐活动对植群产生立即又直接的干扰。植群因有垂直分布(上层大乔木, 中层乔木, 下层地被植物)的差异, 其对加诸的干扰也产生各异的反应。

森林游乐区内的乔木受害情形, 多属机械性伤害。攀折、剥皮、刻画、打钉、砍除是常见的破坏, 用来做手杖、留标志、当支柱, 甚至当材烧。此外, 修建道路、休闲设施、野餐区、野露区等游区的开放, 砍除所谓障碍植物, 是既直接又彻底的破坏生态环境中植群的举动。在台湾的许多游乐区内的野露区与野餐区造成光秃地表及断枝残株的景观, 实不胜枚举。若因森林游乐活动而引起火灾, 可能对植群是一种毁灭性的灾害, 待其从次生演替过程中恢复, 往往要耗费数十年的时间。

3 基于水土资源保育原则之森林经营

河川上游森林地区为台湾水资源主要的生产地, 也是保育土壤做好水土保持工作最优先的地带, 且基于前述之论证, 在说明森林经营与水土资源保育息息相关。因此, 为能加强森林经营计划的实施。落实水土保持工作, 保育各项自然资源, 在森林经营方面应特别注重下列要点:

3.1 林地分级

资源为求合理及有效利用, 首在确立其特性, 开发潜能及客观条件。林地由于其自然之地条件差异颇大, 故可供作使用的项目亦有不同, 最简单的分级就是经济林和保安林。但近年来为应社会需求, 应及早按土地各项属性规划出国土保安用地、生态保护用地、游憩用地、交通用地、水利用地等项目, 以免因林地之不当区划级使用, 而导致生态破坏, 水土流失。

3.2 建造复层林

以适地适木之原则, 混合种植深根性与减根性的, 阳性与阴性的, 生长快速与缓慢的, 针叶的与阔叶的, 以期造成树种分歧度大的异龄林, 应可高森林生态的多样性, 且增进水源涵养, 促进土壤化育。

3.3 进行期中抚育

其做法包括疏伐、修枝、除蔓划草等工作, 除可促进主林木生长增加产量外, 并可增加林内光度, 使地被植物增长和天然下种更新之进行。惟抚育作业之强度及时机应作适当考量, 以免因林地暴露而有害水土保持。

3.4 规划滨岸缓冲带(riparian buffer strip)

河流滨岸带只为动植物生态活动最频繁之地区, 亦为水流和河岸冲击最多地区, 且为河岸上方坡面泥沙阻绝的绿带, 因此滨岸缓冲带必须有适当的规划和经营, 可大幅提升整体资源保育功效。

3.5 审慎开辟道路并妥善维护, 非必要之道路绝不开辟

一旦决定开辟, 则定线评估, 资料搜集、配套水保工程及施工后之定期维护工作必不可少。若有灾害发生, 亦应及时

抢修以维道路畅通, 并避免灾情扩大。

3.6 辟建防火源

火灾对森林经营而言, 是破坏力最大的灾害, 尤以大面积之易燃树种造林地最易发生, 所造成之影响层面广、区域范围大、复原时间长。因此对防火线的规划, 防火训练及器材的加强, 以及防火教育之宣导, 需积极为之。

3.7 妥善经营森林游乐

依据未来国民所得增加及周休二日的生活型态, 森林游乐区的设置是潮流所趋。惟因人为活动对森林生态及水土保持多为负面之作用, 因此, 对其区位之选择、交通状况之考量、人为构造物之设计、经营管理软件之配合均应非常小心谨慎做好事前的评估, 以及执行管理之落实, 才不致造成对原有环境不利之影响及水土资源之损伤。

4 结 论

森林是一包含复杂生态系的地理单元, 拥有水土资源、林产物资源、野生动物资源、农牧矿业及景观游憩资源, 所以其经营是多目标的。其中, 它对水土资源水育的功能及效益, 仍是没有其它途径可以取代。展望台湾地区未来的发展、土地利用及用水的需要, 加强集水区经营的工作, 乃势在必行且刻不容缓。为了能使水土保持的功能益形彰显, 森林经营的效益更加扩大, 应从若干方面来进行:

4.1 支持长期森林生态系基本资料之搜集

基本资料搜集, 是集水区经营工作的根本。所有模式的研拟、技术的运用、计划的拟订和实施, 均需依赖基本资料所提供的各项信息分析演译结果做为依据。该工作具有若干特性: 长期性、多样性、人力资本集约性、迟效性等, 需赖各级机构及技术人员通力合作, 方能显现出预期的成效。

4.2 加强森林经营方法与水资源保育相关性之探讨

森林的水土保持功能素为人知, 但如何就整个林分的栽植、抚育、经营、伐采等作业, 配合集水区经营的目标, 以达到水生产在时间和空间上的分配以及减少土沙灾害, 则将是未来值得研究的课题。从树种的选择、栽植的方式、疏伐或间伐的应用、伐采的限制、森林游乐的问题等等, 均为目前的研究重点。

4.3 积极进行治山防洪计划

上游集水区所产生的自然灾害, 以前即已存在, 只是如今所造成对人民生命及财产的危害更加严重。对于灾害的防

治, 应秉持着“防灾害重于救灾”的原则, 不惟可以有效保育现有的资源, 而且可以大幅降低所付的代价。现行的东部及西部治山防洪计划, 重点放在中上游森林集水区及坡地之治理, 方向至为正确, 若在人力及经费支持无虑之下, 应加速进行, 以争时效。

4.4 建立林地使用地理信息系统

有关集水区各种自然资源的经营管理, 追根究底, 就是在于其土地使用的合理规划及管制而已, 因为土地为生产之母, 只要确定经营目标优先级, 评估各土地单元的适性, 使其做最佳的使用, 且不引起任何危害。集水区有关土地评鉴的因子甚为复杂, 必须藉助计算机来发展所需的评估模式, 以及各种档案的储存、更新及整合, 也就是将土地使用与地理信息系统密切配合在一起。这项工作, 不惟对水资源保育裨益极大, 对未来集水区经营的计划拟订、成果追踪、政策厘定, 均产生深远的影响, 也是将集水区经营带入 21 世纪最重要的里程碑。

4.5 配合集水区观念订定森林经营管理相关法规

有鉴于集水区之整体治理及永续经营需要, 宜针对各地区集水区之特性, 订定“森林集水区经营管理法”相关法规以为因应。其内容包括合理补偿重要集水区特定范围内私有地, 辅导居民购屋、安迁及就业, 协助当地地方政府兴建道路、下水道、简易公共给水系统及学校、医院、社区活动中心、托儿所等公共福利设施, 以改善水源地区居民生活环境等。此外, 并办理水源集水区之造林、水土保持、及其它改善措施, 以减缓水源污染及不当冲蚀, 确保水源水涵量, 各项工作除由政府编列预算办理外, 用水受益户亦须分担部分经费以符合受益者付费原则, 方能稳定财源, 支应所需, 若有必要, 更应成立警察大队, 以落实其管理成效。

4.6 加强宣传教育以扩大经营成果

森林经营管理措施, 必须自“中央”、地方等各级机关摒弃地域观念, 同心协力推动完成, 同时并藉由传播媒体加强政令宣导, 使居民对林地管理建设与管理之重要性, 及造成居民不便与影响等问题, 皆能有所体认而达成共识。河川下游居民因认同上游居民为保护环境奉献之情形, 而愿协助上游居民生活之改善及生活重建等措施; 上游居民亦因了解水土资源对下游居民之要性, 而支持各项管制措施, 使双方形成上下游一体, 而促进森林经营管理措施之推动。

参考文献:

- [1] 李三畏. 台湾集水区经营治理问题之探讨[M]. “农业委员会”水保训练丛书之二, 1983: 33- 54.
- [2] 李三畏, 陈礼仁. 集水区调查与规划[J]. “农业委员会”林业特刊 38 号, 1992: 10/ 1- 20.
- [3] 吴辉龙. 水土保持方法[J]. “农业委员会”林业特刊 24 号, 1990: 181- 194.
- [4] 林渊霖. 水库集水区之经营- 雾社集水区个案探讨[J]. “农业委员会”林业特刊 24 号, 1997: 127- 136.
- [5] 金恒镛. 森林游乐对生态环境的影响[J]. 林业试验所林业丛刊 31 号, 1988: 245- 256.
- [6] 金恒镛, 夏禹九, 翁松元, 刘琼彪, 等. 森林集水区对水质维护之功能[J]. “农委会”林业特刊第 46 号, 1994: 408- 412.
- [7] 胡苏澄. 建立集水区整体治理及永续经营模式之研究- 水里溪集水区个案[J]. 林试所简讯 1996, 3(4): 23- 24.

- [8] 胡宏道. 水源涵养林之经营与水源问题探讨[J]. 时报文教基金会丛书第 5 号, 1991: 350- 358.
- [9] 张玉田. 水资源开发与河川水文学[J]. 徐氏基金会. 1985. 1- 33.
- [10] 陈信雄. 森林水文学[M]. “国立编译馆”, 1984. 53- 73.
- [11] 陈信雄, 李锦育. 森林对水资源涵养效益评估之研究[J]. 中华林学季刊, 1986, 19(4): 11- 26.
- [12] 陈昭明. 环境保育与游憩利用[A]. 台大环工系研讨会()论文集[C]. 1983, 127- 134.
- [13] 黄琼彪. 台湾森林集水区经营对水源涵养效益之探讨[S]. 林试所“森林集水区雨量流量观测手册”. 1991. 1- 7.
- [14] 陆象豫. 森林在水土资源保育上之功能[J]. 台湾林业科学, 1996, 11(3): 333- 347.
- [15] 叶俊荣. 台湾地区水资源管理的法律革新“集水区管理办法”立法刍议[J]. 时报文教基金会丛书第 5 号. 1991. 80- 93.
- [16] 赖国基译. 森林与水文的科学[J]. 林试所林业丛刊第 81 号. 1997. 124.
- [17] 郑皆达. 慎思明辨探讨森林的水土保持功能- 由种数救水源谈起[A]. 林业试验所百周年庆学术研讨会论文集[C]. 台湾省林业试验所. 1996, 123- 136.
- [18] 卢惠生. 台湾中部低海拔天然阔叶树林集水区皆伐对第一年暴雨水文历线之影响[J]. “中华水土保持学报”. 1983, 14(1, 2): 59- 69.
- [19] 卢惠生. 森林集水区经营对水文特性之影响[Z]. 林试所“国有林地水文观测及其资料分析”研究班. 1996. 35- 47.
- [20] 刘琼, 孙正春, 夏禹九, 等. 人工淋雨天然林集水区溪流水文及水化学[J]. “农委会”林业特刊第 46 号, 1994, 413- 419 号.
- [21] Bosch, J M, J D Hewlett. A review of catchment experiments to determine the effects of vegetative changes on water yield and evapotranspiration[J]. Journal of Hydrology, 1982, 55: 3- 23.
- [22] Brown, G W. Forestry and water quality[M]. Corvallis: Oregon State University Press, 1980.
- [23] Harr, R D. Forest practices and streamflow in western Oregon[R]. USDA Forest Service, General Technique Report PNW - 49. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, Portland, Oregon, 1976, 22.
- [24] Harr, R D, F M McCorison. Initial effects of clearcut logging on size and timing of peak flows in a small watershed in western Oregon[J]. Water Resources Research, 1979, 15(1): 90- 94.
- [25] Henderson, G S. The effect of road construction on sedimentation in a forested watershed at Rayong, Thailand[A]. Symposium on EFLUES, EAPI, East- West Center[C]. 1984, 247- 254.
- [26] Hewlett, J D. Principles of forest hydrology[M]. [s. l.]: The University of Georgia Press, 1982. 181.
- [27] Hewlett, J D, J D Helvey. Effects of forest clearfelling on the storm hydrograph[J]. Water Resources Research, 1970, 6(3): 768- 782.
- [28] Hibbert, A R. Water yield response and effects on other resources[R]. USDA Forest Service RM- 126. 1974. 36.
- [29] LaHusen, R G. Characteristics of management-related debris flow, Northwestern California[A]. Symposium on EFLUES, East- West Center[C]. 1984, 139- 145.
- [30] Leaf, C F. Watershed management in the Rocky Mountain subalpine zone[Z]. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station Research Paper RM - 137. 1975. 31.
- [31] Lee, R. Forest hydrology[M]. New York: Columbia University Press, 1980. 339.
- [32] Megahan, W F, W J Kidd. Effect of logging roads on sediment production rates in the Idaho Batholith[Z]. USDA Forest Service Research Paper INT - 123, 1971. 14.
- [33] Pearce, A J, L S Hamilton. Water and soil conservation guidelines for land-use planning[R]. Report of a Seminar-workshop, EAPI, East- West Center. 1986, 42.
- [34] Reinhart, k F, A R Escher, G R Trimble, Jr. Effect of streamflow of four forest practices in the mountains of West Virginia, Northeast[Z]. Forest Experiment Station Research Paper NE - 1. 1963. 79.
- [35] Rothacher, J S. Increases in water yield following clearcut logging in the Pacific Northwest[J]. Water Resources Research, 1970, 6(2): 653- 658.
- [36] Schoeder, W L, G W Brown. Debris torrent, precipitation, and road in two coastal Oregon watershed[A]. Symposium on EFLUES, East- West Center[C]. 1984, 117- 122.
- [37] Troendle, C A, R M King. The effect of timber harvest on the Fool Creek watershed 30 years later[J]. Water Resources Research, 1987, (21): 1 915- 1 922.