

# 森林采伐作业引起的水土流失及防治措施

赵 康

(南京林业大学森工系·南京市·210037)

**摘 要** 该文综合分析了一些国内外对采伐迹地水土流失情况的观测资料,阐述了森林采伐作业引起水土流失的机制,并在此基础上提出了最大限度减少林地水土流失的生态采伐作业原则。

**关键词:** 森林采伐 水土流失 机制 措施

## Soil Erosion Caused by Logging Operation and Its Control Measures

Zhao Kang

(Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, PRC)

**Abstract** Based on the observation data in cutover areas at home and abroad, soil erosion in forestry land is analysed comprehensively. The mechanism of soil erosion caused by logging operation is expounded. Meanwhile, some countermeasures to reduce soil erosion at cutover areas have been suggested.

**Keywords:** Soil erosion; Forest harvesting; Mechanism; Countermeasures

水土流失是当今世界重大的生态环境问题。水土流失及其引起的灾难性后果,对经济的持续发展构成了严重的威胁。全世界目前水土流失面积高达 25 亿  $\text{hm}^2$ , 占全球耕地和林草地总面积 86.5 亿  $\text{hm}^2$  的 29%。同时,世界每年的土壤总侵蚀量多达 600 亿  $\text{t}^{[1]}$ 。我国的水土流失形势也十分严峻,每年的土壤侵蚀总量为 50 多亿  $\text{t}^{[2]}$ 。土壤是生态系统最基本的资源,又是生态系统中最难再生,甚至不可再生的物理组分。大量的水土流失将使生态系统发生不可逆转的衰退。面对严峻的生态危机,国内外的专家一致认为,森林的解危效应是显著的。森林能有效地防治水土流失,因为它可以减缓引起水土流失的外营力(风、水、重力、温差等)。增强土体的抵抗力。

森林采伐是人类经营森林资源的重要手段,也是根据森林生长发育过程和人类的经济需要而进行的营林措施。近年来,在国际上逐渐摆脱了以单一木材生产为目的的经营,而把森林作为一个生态系统来经营,其经营目的更为广泛和深入,涉及促进林木生长发育,改善林分组成,有利更新恢复,动植物多样性的维护和合理开发利用,以及环境与美学效益等。与此同时,森林采伐作业作为生态系统的外界干扰之一,又潜在着对森林生态环境的负面影响,其中最为严重的是由采伐作业引起的林地水土流失。福建林学院的苏益对采伐作业后,山地表土层的变

化情况进行了观测。在坡度为 25°~40°的山地,采运作业 4 年以后,表土层的变化情况如下:

观测数据表明:采伐作业后由于水土流失山地表土层明显变薄。变化最大的为 A<sub>0</sub> 层,变化率为 40%~50%,其次为 A<sub>0</sub>+A 层,变化率为 23%~25%;最小的为 A+B 层为 13%。大批有生产能力的土壤的流失,必将给森林的更新和恢复带来极大的困难。水土流失也使区域内地表有效水质恶化,河流、湖泊淤积,加剧了水资源危机,也使野生动植物的生境变差,生物多样性锐减。

## 1 森林采伐作业引起水土流失的主要原因分析

森林具有强大的涵养水源,保持水土的功能。森林能减缓水土流失的机制主要表现在 4 个方面:(1)枯枝落叶层的阻挡和吸收;(2)森林土壤的渗水、蓄水作用;(3)林冠的保护作用;(4)根系对土壤的网络和固定作用。森林采伐作业在不同程度上破坏了森林的这些功能,导致水土流失。

### 1.1 林冠对天然降雨的截留作用,以及采伐方式和采伐强度的影响

在降雨过程中,雨滴对裸露的土壤表现出直接的侵蚀破坏作用。郁闭的森林,枝叶繁茂,林冠相接,减缓了雨水的冲击,使林地土壤免受暴雨的直接打击,削弱了雨滴对土壤的击溅作用,减轻了土壤的侵蚀,延长了产生地表径流的过程。一般情况。在降雨强度中等(10~20mm/h),由于森林的存在,林冠可以截留降雨量的 15%~30%,然后再蒸发到大气中。<sup>[4]</sup>

若仅考虑与森林采伐作业有关的因素,林冠对降雨的截留作用主要受郁闭度和林冠结构的影响,林冠的层次越复杂,郁闭度越大,截留作用越显著。王维华等人对小兴安岭不同郁闭度的复层红松林和单层落叶松林截留降水情况进行了观测,观测结果见表 2。

观测结果说明:郁闭度为 0.7 的复层红松林可以截留大气降水量的 29.4%~37.8%,而郁闭度为 0.4 的单层落叶松林仅能截留大气降水量的 12.6%~20.3%。

森林的采伐,无论什么方式,最终都会使林冠层发生变化,无疑将使林冠截留降水量和林内植被蓄水作用发生变化。为此张胜利等人 1962~1965 年,在小兴安岭丽林林场 100m<sup>2</sup> 的径流小区,对不同采伐方式产生的地表径流进行了观测,观测结果见表 4。

试验表明:不同坡度,不同的采伐方式及采伐强度产生的林地径流量是不同的,采伐强度越大,径流越大。同一采伐方式,坡度越陡,径流越大。因此,在坡度较大的地段,为了抑制水土流失,应尽可能的降低采伐强度。

表 1 采运作业 4 年后山地表层土壤的变化<sup>[3]</sup>

林地类型	土壤层次(cm)		
	有机质层(A <sub>0</sub> )	土壤表层(A <sub>0</sub> +A)	淀积层(A+B)
有林地	6~8	24~30	92
采伐迹地	3~5	18~23	80

表 2 小兴安岭复层红松林(郁闭度 0.7)对降水的截留情况<sup>[5]</sup>

年份(年)	大气降水		林冠下降水		林冠截留	
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
1962~1963	792.8	(100)	521.5	(65.8)	271.3	(34.2)
1963~1964	643.2	(100)	443.6	(69.0)	199.6	(31.0)
1964~1965	712.2	(100)	516.8	(72.6)	195.2	(27.4)

表 3 小兴安岭单层落叶松林对降水的截留情况

年份(年)	大气降水		林冠下降水		林冠截留		郁闭度(mm)
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	
1957	763.7	100	608.7	79.7	155.0	20.3	40
1958	648.2	100	566.4	87.4	81.8	12.6	40

表 4 不同采伐方式产生的地表径流<sup>[7]</sup>

地坡(°)	径流系数		
	皆伐	择伐(郁闭度 0.5)	原始林(郁闭度 0.7)
10	19.76	18.03	12.66
15	49.55	41.47	16.42
26	63.98	70.98	40.96

1.2 林地土壤的渗水、蓄水作用,以及森林采集作业对土壤的扰动和破坏

森林土壤一般情况下,具有很好的容水性和透水性,原因如下:(1)森林每年产生大量的枯枝落叶,同时土壤中还有相当数量的树根和草根腐烂,可大量增加土壤的有机质。有机质经分解变成黑色的腐殖质与土壤结合形成良好的团粒结构,使土壤的容重减小,孔隙度增大。

(2)根系腐烂形成大量孔道,森林土壤中林木根系盘根错节,且分布较深,林木采伐后,这些根系逐渐腐烂,形成根系孔道。由于腐烂的根系孔道是纵深盘结,有利于水分的迅速下渗。

(3)土壤动物和微生物的活动,改善了土壤质地,使其疏松。

由于以上原因,森林土壤中水分的下渗很快,渗透能力极强,有效地减少了地表径流。以下数据给出了林地与非林地渗透能力的比较。

表 5 林地与非林地土壤的渗透能力<sup>[8]</sup>

调查内容	林 地			非 林 地			
	针叶林	阔叶林	合计	采伐迹地	草地	崩塌地	步道
调查样点数(个)	13	10	23	13	3	8	4
渗透能力(mm/h)	246	272		160	191	99	11
相对值	96	106		62	74	39	4

表 6 不同林型及采伐方式对土壤容重及孔隙度的影响<sup>[9]</sup>

项 目	林地类型	草类——落叶松林					杜鹃——落叶松			杜香——落叶松			拖拉机道		
	土层厚度 (cm)	林地	40% 渐伐	相比 变化率	100m 宽 带状 皆伐	相比 变化率	林地	40% 渐伐	变化率	林地	150m 宽 带状 皆伐	变化率	非集 材道	集材道	变化率
容重 (g/cm <sup>3</sup> )	0~10	0.16	0.18	+12.5	0.18	+12.5	0.18	0.18	0	0.18	0.18	0			
	3~28												2.49	2.73	+9.6
	10~20	0.67	0.64	-0.45	0.73	+9.0	0.76	0.81	+6.6	0.64	0.77	+20.3			
孔隙度 (%)	0~10	93.7	94.6	+1.00	88.1	-6.00	95.9	92.6	-3.4	93.4	85.8	-8.10			
	10~20	83.3	87.1	+4.60	82.1	-1.40	88.9	69.7	-21.6	81.7	79.2	-3.00			
	3~28												84.7	66.7	-21.2

森林采伐作业以及随后的集运材作业,伐区清理作业都会使林地土壤的物理性质发生改变,总的趋势是,容重、比重增加,孔隙度减小。表 6 的数据给出了采伐作业后,土壤物理性能的一些数据。采伐后,林地土壤物理性能的恶化,使采伐迹地的持水能力和渗透率大幅度下降,排水能力则大幅度提高。表 7、表 8 的数据分别给出了林地与采伐迹地渗透率和排水能力的比较。

表 7 不同林地和采伐迹地渗透率的比较<sup>[10]</sup>

林 地 类 型		针叶树	阔叶树	采伐迹地	集材道
最终渗透率 (mm/h)	最大值	387	395	289	29
	最小值	104	87	15	2
	平均值	246	272	160	11
与林地平均值比变化率(%)		0	0	-38.2	-95.8

表 8 不同土层深度林地与采伐迹地的排水能力比较<sup>[11]</sup>

土层厚度(cm)	有 林 地		采伐迹地		排水能力的变化率
	孔隙率(%)	排水能力(mm)	孔隙率(%)	排水能力(mm)	
0~10	93.16	37.11	85.89	40.85	+10.1
10~20	78.45	25.08	77.75	39.02	+55.6
20~30	79.69	21.13	64.58	32.82	+55.3
30~40	66.70	20.93	63.52	32.23	54.0

林地土壤渗水能力的下降和排水能力的增强,使降雨中地面径流大幅度增加,除易产生水土流失外,还易因暴雨引起下游河川发生洪水,引起更大面积的水土流失。对此,1982年 R. J. Waugh 教授提出了因森林采伐作业引起下游河川水量增加值 Q 的计算公式:

$$Q = 0.24R(P - 250)^{[12]}$$

式中:  $R$ ——流域内因森林采伐减小的森林覆盖率(%);  $P$ ——流域内的年降雨量(mm)。

森林采伐作业引土壤物理性质恶化的主要原因是:(1)森林采伐后,由于温度、光照、以及共生关系的改变促进了土壤有机物的迅速分解。土壤有机物的分解对 pH 值及互换性酸度也有影响,使两者均有所减少;因地表受到破坏,土壤表层的裸露,土壤有机物的迅速分解等复合作用,土壤的物理性质发生了改变。(2)森林采伐作业中,人畜、机械或木材在林地运行,以及修建的集运材道路系统和装车场等土木工程对林地土壤产生了破坏。破坏的主要形式是表层土壤的破裂,以及土壤的压实。地被物的破坏使矿质土直接暴露于压紧和雨水的溅击作用下,这两种作用可使表层土壤结构破坏发生板结。该结构的变化有时虽然仅几 mm,但足以改变水分入渗的速度,导致地表径流和侵蚀。土壤板结的情况在集材道上最为严重,以拖拉机集材道为例,集材道压实后,土壤的透水性降低 92%,细微孔隙减少 53%,土壤容重增大 35%<sup>[1,3]</sup>。拖拉机在集材道上反复通过将在集材道上留下许多车辙,雨后积聚于车辙中的水就软化土壤,拖拉机每经过一次就使车辙更深一些。由于道路的渗水速度和孔隙度分别降低,再遇雨,地表的径流速度将加快,原来的车辙会被冲刷成条条小沟,产生水土流失。压实的土壤,径流量为林地的 6 倍,集材道压实严重的,需 18 年才能恢复原有的透水性<sup>[1,4]</sup>。东北林业大学的肖生灵对集材道上的水土流失情况进行了调查,见表 9。(3)森林土壤中有大量动物群落和微生物群落活动,它们对营养循环和保持土壤的孔隙度很有益处,数量有限的土壤微生物研究表明,森林采伐后,立地条件受到干扰,某些真菌、细菌和节肢动物群的数量大为减少。

### 1.3 森林枯枝落叶层对地表径流的吸收和调节,以及采伐作业后迹地清理的影响

森林的枯枝

表 9 拖拉机集材主道水土流失情况<sup>[1,6]</sup>

落叶层不仅可以吸收 2~5mm 的降水,而且可以保护土壤,使

地 点	坡度 (°)	集材时间 (年)	水土流失后水沟尺寸			损失土方 (m <sup>3</sup> )	调查时间
			长(m)	宽(m)	深(m)		
凉水林场 5 林班		1954	1500	3~4	0.8~1.2	3600~7200	1979
铁力茂林河林扬	18~22°	1970	1200	3	0.8	2880	1983

土体免受雨滴的冲击。研究表明:暴雨时雨强特别大,雨滴动能可以达到 100 万 kg/(m<sup>2</sup>·s)<sup>[1,6]</sup>。枯枝落叶层的存在大大减轻了雨滴对地表土壤的直接冲击,使地面粗糙,起到滞蓄径流和泥沙,保护表土层免受径流侵蚀的作用。试验表明:在林内若有 1cm 以上厚度的枯枝落叶,就能有效发挥森林土壤的透水性能和蓄水性能,使地表径流减少到裸地的 10%<sup>[1,7]</sup>。伐区清理是采伐作业的最后工序,它的目的是改善林地卫生状况,提高木材利用率,尤其是对枝丫、梢头等的利用,以及为营林创造条件等。常用的方法包括:枝丫、树叶的堆积以及火烧炼山等。枯枝落叶物的堆积,破坏了它们的挡水、蓄水功能;而火烧炼山不仅烧掉了大量的生物量,并使土壤有机质和营养元素丧失,而且使地表裸露,失去枯枝落叶和植被层的覆盖,水土流失大为增强。据福建林学院杉木研究所的研究,在炼山的第一年地表径流量和侵蚀量分别为不炼山的 11 倍和 88 倍,第 2 年分别为 6 倍和 28 倍,第 3 年分别为 4 倍和 5 倍。

近年来,迫于资源缺乏的压力,兴起了一种所谓“全树利用”的收获方法,它不仅收获全部的枝丫落叶,而且将树根也挖走。这种收获方法对林地土壤的破坏更大,因为一般情况即使伐根,丧失强度的时间也大约在 3~10 年,它能有效网络土壤,况且死亡的根系还具有改良土壤增加透水性的功能。

## 2 修建林区道路引起的水土流失

采伐及营林作业都需要令人满意的集运材道路系统。但是在陡坡或不稳定的土壤上修路会导致土壤的稳定性大大降低,引起重力侵蚀,如滑坡、崩塌、岩屑崩落等,并产生严重的冲刷

和破坏。据估计,在所发生的林地土壤重力运动中,72%的崩塌事件和 50%的侵蚀与道路有关。1976 年,Lohn D. Mcclash 等对加利福尼亚西北部 554km 木材采运道路的侵蚀情况进行调查,提出了以下数据,见表 10。

另据 Fredriksen,在长期调查了美国西部俄勒冈的 H. J Andrew 的试验林后提出了以下调查数据,见表 11。

由此可见,修建集运材道路系统,若不采取防护措施将引起大量水土流失。

### 3 森林采伐作业中防止水土流失的措施

从以上分析可以看出,在森林采伐作业中若不积极采取一些防范措施,将引起大面积水土流失,它不仅会使土壤表层的营养元素流失殆尽,土壤板结,地力衰退。而且对区域内的水资源产生污染,并引发山洪。根据以上对森林采伐作业引起水土流失的机制分析,建议在森林采伐作业中采取以下一些生态保护措施:

1. 在采伐方式上,尽量采用择伐和小面积皆伐,伐区面积一般应控制在  $2\sim 3\text{hm}^2$ 。采用带状皆伐时,伐带宽应控制在  $50\sim 100\text{m}$ ,并沿等高线规划带状伐区。
2. 在陡坡或土壤下垫层易于引起重力侵蚀的地段,应避免强度太大的采伐。
3. 集材方式应尽量选用对土壤破坏小的,如架空索道,在条件许可的情况下可发展气球,飞艇,以及直升机集材。若以拖拉机集材,应尽量采用履带式拖拉机,轮式拖拉机应选用特宽轮胎的,以减少对地面的破坏。
4. 增加集材道的密度,使单位林地面积上集材设备通过的次数尽量少。
5. 在布设集运材道路时,在坡度较陡地段应尽量沿等高线布设,避免沿等高线垂直方向的上下集材。
6. 将打枝、造材剥皮等剩余物的一部分散铺于林地,清理方式应避免火烧和堆积。
7. 在北方林区,拖拉机集材应尽量安排在冬季,在坚硬的地面上进行,以减少对土壤表层的破坏。
8. 禁止“全树利用”的收获方式。
9. 对易于引起水土流失的集材道路,应采取工程措施和生物措施加以防范。以免冲刷和崩塌。

表 10 运材道路每 km 平均出现的侵蚀事件和侵蚀量<sup>[19]</sup>

侵蚀类型	与道路修建有关的		天然侵蚀		合计	
	事件(起数)	m <sup>3</sup>	事件(起数)	m <sup>3</sup>	事件(起数)	m <sup>3</sup>
滑坡	0.179	63	0.032	154	0.211	216
坍塌	0.229	83	0.017	9	0.243	92
泥石流	0.006	5	0	0	0.006	5
泥流	0.009	6	0.003	26	0.012	32
岩崩	0.006	0.8	0	0	0.006	0.8
冲沟	0.015	12	0.003	0.8	0.018	13
细沟冲刷	—	3	0	0	—	3
地表碎落	—	129	—	—	—	129
合计	0.444	302	0.053	190	0.496	492

表 11 森林采伐引起的土壤流失量<sup>[20]</sup>

项 目	年平均土壤流失量		相对关系
	(t/hm <sup>2</sup> )	(mm)	
对照区(无措施)	0.282	0.03	1
有路小片皆伐	30.811	2.79	109.3

(参考文献略)