

杉木幼林地水土流失动态研究*

何贵平 陈益泰 蔡宏明 封剑文 关志山

关键词 杉木、幼林地、水土—养分流失、预测模型

杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook)是我国南方的主要用材树种,常以营造纯林为主,整地方式又以全垦挖大穴或火烧炼山后挖大穴较常见。由于南方雨量充沛,且常有大雨、暴雨出现,容易造成水土流失。近年来,随着杉木速生丰产林面积的不断扩大,幼林地水土流失问题,已引起人们的关注^[1-3]。本研究对福建省邵武市水北镇三都村1992年春在针阔次生林迹地上营造的杉木纯林,进行了3年的水土流失观测研究,旨在通过此研究,了解杉木幼林地水土流失的动态变化,为制定合理的营林措施,减少水土流失,防止地力衰退提供科学依据。

1 试验区概况及研究方法

试验点设在福建省邵武市水北镇三都村,1992年2月下旬新造的杉木林地。该点常年平均降雨量为1799.3 mm(1961~1986年),年内降雨分配不均,以春夏两季较为集中,且暴雨时有发生。林地原为针阔混交林。土壤为花岗斑岩发育而成的红黄壤,pH值在4~6之间,土层深厚,腐殖质层厚度3~5 cm,土壤疏松,透水性能良好。林地坡度为23.0~26.4°,坡向东南。经火烧炼山后,穴状整地(50 cm×50 cm×50 cm),造林密度2 m×2 m。郁闭前,每年培土、抚育2~3次,同时进行水平梯状扩带,以保持水土。

在林地旁空地上安装一台自记雨量计,进行降雨量观测。水土流失量是在林地内设置径流场进行实测,径流场设施及数据观测计算同参考文献[1]。

2 结果与分析

2.1 幼林地水土流失的年变化

炼山挖大穴造林的杉木林地和炼山未造林地3年的地表径流量和泥沙悬移质量有较大的差异(表1),未造林地的地表径流量和泥沙悬移质量逐年都有较大幅度减少,到第3年时,径流量很小,也几乎没有淤泥形成。因未造林地第1年经炼山后,地表裸露,容易被雨水冲刷,形成较大的地表径流并带走大量的地表土;而到了第3年,未造林地基本上被杂灌木及杂草覆盖,雨水降落地面后受到地表覆盖物吸附阻滞,从而减少了地表冲刷。未造林地第1年的地表

1995—05—03 收稿。

何贵平助理研究员,陈益泰(中国林业科学研究院亚热带林业研究所 浙江富阳 311400);蔡宏明,封剑文,关志山(福建省邵武市林业委员会)。

* 本研究系世界银行贷款国家造林项目科研推广课题的一部分。水土养分含量分析得到亚林所裴致达高级工程师等人的帮助,谨表感谢。

径流量和泥沙悬移质量分别占 3 a 总流失量的 69.37% 和 74.93%。造林地上前两年的地表径流和泥沙悬移质量均较小, 而且表现出明显的下降趋势。第 1、2 年造林地的地表径流量和泥沙悬移质量是未造林地的 1/4、1/3 和 1/5、1/2, 其泥沙流失量大大低于本地区的土壤允许流失量 $10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 的水平^[4], 与土壤自然侵蚀量相近。因前两年实施了水平带的梯状抚育、培土, 大大减轻了水土流失。而第 3 年, 地表径流量和泥沙悬移质量则表现出明显的上升趋势, 与未造林地相比, 分别是未造林地的 5.7 和 24.8 倍。据这年的降雨情况获知, 出现了几次强度特大的降雨, 平均降雨强度 $> 10 \text{ mm/h}$, 有的超过 30 mm/h 。另外, 这年未采用水平带的梯状抚育、培土, 使得地表径流和泥沙流失量增大。由此看来, 造林后林地的抚育方式将对幼林地水土流失起着至关重要的作用, 造林后实施水平带梯状抚育、培土, 是减少幼林地水土流失的一个较好的营林措施。

表 1 造林后前 3 年的地表径流量和泥沙悬移质量

项 目	未 造 林 地				造 林 地				比 值			
	第 1 年	第 2 年	第 3 年	小 计	第 1 年	第 2 年	第 3 年	小 计	第 1 年	第 2 年	第 3 年	小 计
地表径流量 ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	1 297.13	488.29	84.32	1 869.74	335.03	190.50	478.08	1 003.61	3.87	2.56	0.18	1.86
泥沙悬移质量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	7 563.80	2 399.73	131.04	10 094.57	1 549.43	1 058.18	3 254.78	5 862.39	4.88	2.27	0.04	1.72
径流系数 (%)	7.03	3.55	0.54	-	1.84	1.39	3.05	-	3.82	2.55	0.18	-

2.2 幼林地水土养分流失量年变化

降雨在林地上形成地表径流, 带走了地表的泥沙, 同时也带走了大量的土壤养分, 造林地与未造林地 3 年的水土养分流失量与前述地表径流量和泥沙悬移质量变化趋势相似(表 2、3), 即未造林地水土流失中各养分流失量均为逐年大幅度下降, 造林地前两年也表现出下降趋势, 而第 3 年则为上升, 但上升幅度没有地表径流和泥沙悬移质量那样大, 这可能主要是因为径流场未施肥, 地表各养分含量每年都有所下降之故。在总的养分流失中, 以有机质损失量最大, 未造林地和造林地 3 年的损失分别占各养分损失总量的 88.85% 和 89.20%, 而前者则为后者的 2.6 倍。其次养分损失较大的就是 K 素和 N 素, 其中 K 素包括全钾、速效钾和水解钾; N 素包括全氮、速效氮和可溶性无机氮(NO_3^- 、 NH_4^+) 等。P 素损失量为最小。

表 2 泥沙悬移质中各年度养分损失量

(单位: $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

项 目	未 造 林 地				造 林 地				比 值			
	第 1 年	第 2 年	第 3 年	小 计	第 1 年	第 2 年	第 3 年	小 计	第 1 年	第 2 年	第 3 年	小 计
全 N	23.372 1	5.881 7		29.253 8	4.184 7	2.124 1	5.340 6	11.649 4	5.59	2.77	-	2.51
全 P(P_2O_5)	11.648 3	1.655 8	无	13.304 1	2.435 5	0.805 0	2.069 7	5.310 2	4.78	2.06	-	2.51
全 K	43.113 7	11.278 7	淤	54.392 4	9.307 9	6.133 0	2.318 7	17.759 6	4.63	1.84	-	3.06
有机质	873.240 7	221.471 1	泥	1 094.711 8	157.131 0	73.234 4	188.327 4	418.692 8	5.56	3.02	-	2.61
速效 N	1.907 6	0.392 5	形	2.300 1	0.333 0	0.157 7	0.341 5	0.832 2	5.73	2.49	-	2.76
速效 P	0.044 7	0.049 3	成	0.049 3	0.005 6	0.002 1	0.010 6	0.018 3	7.98	2.19	-	2.69
速效 K	2.153 4	0.843 7		2.997 1	0.846 4	0.352 7	0.586 7	1.785 8	2.54	2.39	-	1.68

表 3 径流液中各年度养分流失量

(单位: $\text{kg} \cdot \text{h m}^{-2}$)

项 目	未 造 林 地				造 林 地				比 值			
	第 1 年	第 2 年	第 3 年	小 计	第 1 年	第 2 年	第 3 年	小 计	第 1 年	第 2 年	第 3 年	小 计
$\text{P}(\text{PO}_4^{3-})$	0.491 6	0.082 0	0.010 6	0.584 2	0.156 9	0.046 9	0.056 7	0.260 5	3.13	1.75	0.19	2.24
K^+	23.374 2	3.466 9	0.269 8	27.110 9	7.116 1	1.615 0	2.323 6	11.054 7	3.28	2.15	0.12	2.45
$\text{NO}_3^- - \text{N}$	1.052 0	0.128 4	0.012 2	1.192 6	0.291 5	0.046 3	0.085 3	0.423 1	3.61	2.77	0.14	2.82
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	5.966 8	0.182 6	0.010 6	6.160 0	1.425 1	0.104 8	0.073 9	1.603 8	4.19	1.74	0.14	3.84

2.3 幼林地径流液和悬移泥沙中养分浓度的年变化

幼林地的水土流失,随着时间的推移,不仅量上有所变化,而且质上也会发生变化。表 4 为各年度林地径流液和悬移泥沙中养分浓度的变化情况。各养分含量的年变化较明显,除造林地中速效 P 在第 3 年里有所增加外,其余均呈现出逐年下降的趋势,说明径流使林地地表各养分下降很快,特别是第 1 年,土壤养分状况较好,易造成较大养分损失。而表 4 径流液中各年的养分浓度变化是,造林地与未造林地前两年各养分浓度变化趋势相近,而第 3 年则造林地较未造林地高,说明造林地的养分流失还有较高水平,而未造林地表面基本上被杂草覆盖,养分不易被带走。

表 4 径流液和泥沙悬移质中各年度单位体积养分含量变化

项 目	未 造 林 地			造 林 地			
	第 1 年	第 2 年	第 3 年	第 1 年	第 2 年	第 3 年	
径流液	$\text{P}(\text{PO}_4^{3-})$ (mg/L)	0.379	0.168	0.126	0.468	0.243	0.119
	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ (mg/L)	4.60	0.374	0.126	4.138	0.562	0.155
	$\text{NO}_3^- - \text{N}$ (mg/L)	0.811	0.263	0.145	0.875	0.243	0.179
	K^+ (mg/L)	18.02	7.1	3.2	21.17	8.5	4.85
泥沙悬移质	有机质 (g/kg)	115.45	92.29		101.88	69.14	57.86
	全 N (g/kg)	3.09	2.45	无	2.71	2.01	1.64
	全 $\text{P}(\text{P}_2\text{O}_5)$ (g/kg)	1.54	0.69	淤	1.57	0.76	0.64
	全 K (g/kg)	5.70	4.70	泥	6.01	5.81	4.85
	速 N (mg/kg)	252.2	163.5	形	215.4	149.0	105.0
	速 P (mg/kg)	5.91	1.9	成	3.61	2.0	3.26
	速 K (mg/kg)	284.7	351.6		545.0	333.4	180.0

2.4 影响幼林地水土流失因素分析及预测模型建立

影响幼林地水土流失因子中有定性和定量因子,故采用混合数量化模型 I 进行回归分析^[5]。以地表径流量和泥沙悬移质量为因变量,结合本试验区条件,选取降雨量(X_1)、平均降雨强度(X_2)、郁闭度[0%~35%(X_{31})、35%~70%(X_{32})、70%~100%(X_{33})]、未造林地(X_{41})、造林地(X_{42})、抚育方式[不抚育(X_{51})、常规抚育(X_{52})、水平带梯状抚育(X_{53})]、林地透水性[透水性一般(X_{61})、透水性较好(X_{62})、透水性良好(X_{63})]、1 h 最大降雨强度(X_7)、30 min 最大降雨强度(X_8)、前期降雨量[(2 d) X_9]等 9 个项目 16 个类目作为自变量,共收集样本 362 个,进行回归分析。经计算机处理,得如下结果(表 5)。

表 5 地表径流量、泥沙悬移质量各预测方程关系值

项 目	地 表 径 流 量			泥 沙 悬 移 质 量		
	bi	偏相关系数	偏相关 t 值	bi	偏相关系数	偏相关 t 值
X_1	0.429	0.748	15.255	3.587	0.727	13.892
X_2	0.171	0.335	1.572	0.545	0.160	0.545
X_{33}	-18.339	-0.483	11.320	-117.502	-0.360	7.906
X_{52}	15.507	0.358	1.698	108.606	0.258	1.297
X_{53}	-13.689	-0.314	1.561	-80.997	-0.237	1.007
X_{62}	5.051	0.122	0.576	8.816	0.096	0.110
X_{63}	-2.995	-0.102	0.342	-39.502	-0.120	0.491
X_8	0.343	0.433	2.674	1.369	0.260	1.163
$R = 0.8474^{**}, F = 74.0809^{**}$			$R = 0.7869^{**}, F = 47.299^{**}$			
$T = 18.76^{**}$			$T = 18.76^{**}$			

由表 5 可知, 影响地表径流量和泥沙悬移质量的首要因子均为降雨量(X_1), 因其 t 值均最大, 根据偏相关 t 值的大小, 可知影响地表径流的主要因子依次为郁闭度(X_3)、30 min 最大降雨强度(X_8)、抚育方式(X_5)、平均降雨强度(X_2)和透水性(X_6); 泥沙悬移质量的主要因子则依次为郁闭度、抚育方式、30 min 最大降雨强度、平均降雨强度和透水性。根据各因子的贡献大小, 优化模型后, 建立了本试验条件下单次降雨的水土流失估测模型:

$$Y_1 = 0.429X_1 + 0.171X_2 - 18.339X_{33} + 15.507X_{52} - 13.689X_{53} + 5.051X_{62} - 2.995X_{63} + 0.343X_8$$

$$Y_2 = 3.587X_1 + 0.545X_2 - 117.502X_{33} + 108.606X_{52} - 80.997X_{53} + 8.816X_{62} - 39.502X_{63} + 1.369X_8$$

Y_1 、 Y_2 分别为地表径流量和泥沙悬移质量。根据上述两个预测方程, 求得部分样本回归值 Y_1 、 Y_2 与实测值 Y_1 、 Y_2 对比列于表 6。可以看出, 回归值与实测值较接近。方程经 F 和 T 检验, 回归方程均达到极显著水平。由上两方程还可看出, 较大的林地郁闭度、水平带梯状抚育, 以及良好的土壤透水性, 能大大减少地表径流量和泥沙悬移质量。而较大的降雨量、较大的平均降雨强度、较大的 30 min 降雨强度以及常规抚育方法和透水性不佳都将增大水土流失量。

表 6 地表径流量、泥沙悬移质量部分样本回归值 Y 与实测值 Y 的比较(单位: Y_1 为 $t \cdot \text{hm}^{-2}$, Y_2 为 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

样 本	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Y_1	4.5	8.5	0.48	7.5	7.0	0.36	0.8	44.0	63.0	10.8
Y_1	4.435	8.642	0.452	7.916	6.824	0.380	0.864	46.024	60.108	10.125
$Y_1 - Y_1$	0.065	-0.142	0.028	-0.416	0.178	-0.02	-0.064	-2.024	2.892	0.675
Y_2	15.93	30.09	1.33	20.7	13.72	0.71	1.75	368.228	525.9	16.2
Y_2	15.628	32.18	1.318	21.960	13.312	0.745	1.872	380.824	511.648	14.914
$Y_2 - Y_2$	0.302	-2.09	0.012	-1.26	0.408	-0.035	-0.122	-12.544	14.252	1.286

3 结论

幼林地前两年因实施了水平带梯状抚育、培土, 水土流失量较低, 土壤流失量只与自然侵蚀量相近, 第 3 年只进行常规抚育管理, 使得水土流失量增大, 但年土壤流失量只有本区土壤

允许流失量的1/3。未造林地的水土流失量呈逐年大幅度下降,第3年水土流失量极低,但其3年的水土流失总量分别是造林地的1.86倍和1.72倍。造林地与未造林地水土养分流失与水土流失趋势相似,养分浓度逐年下降。在养分流失中,以有机质损失最大,占总养分损失的89%左右,其次为K素和N素,P素较少。

3年里未造林地和造林地土壤流失量分别为 $10\ 094.57\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $3\ 862.39\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,养分流失则是,有机质分别为 $1\ 094.711\ 8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $418.692\ 8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,K素分别为 $84.500\ 4\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $30.300\ 1\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,N素分别为 $38.906\ 5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $14.508\ 5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,P素分别为 $13.937\ 6\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $5.589\ 0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

应用混合数量化模型I对影响林地水土流失的因子分析表明,降雨量是林地水土流失的首要因子,较大的林地郁闭度,水平带梯状抚育、培土,以及良好的土壤透水性能大大减少林地水土流失。建立了本试验条件下单次降雨的林地水土流失预测模型。

参 考 文 献

- 1 何贵平,陈益泰,封剑文.杉木新造林地水土流失规律研究初报.林业科学研究,1993,6(6):686~690.
- 2 俞新妥,柯玉盛,何智英.杉木幼林地水土流失规律的研究.林业科学,1993,29(1):25~32.
- 3 柯克比 M J,摩根 R P C(王礼先,吴文武,洪惜英译).土壤侵蚀.北京:水利电力出版社,1987.
- 4 水利电力部.关于土壤侵蚀区划分和强度分级标准规定(试行).中国水土保持,1984,(10).
- 5 陈豪华,丁思统,洪伟.林业应用数理统计.大连:大连海运学院出版社,1988.230~235.

Study on the Dynamics of Lost Amount of Soil and Water in Young Forest of Chinese Fir

He Guiping Chen Yitai Cai Hongming Feng Jianwen Guan Zhishan

Abstract The stationary observation on soil and water for three years in young forest of Chinese fir showed that the lost amount of soil and water and nutrient was lowered down greatly after tending and piling up soil around the level terrace and decreased with the increase of time. The yearly lost amount of soil was almost the same as the natural soil erosion amount. Lost amount of soil water and nutrient in non-forested land obviously decreased with time. The nutrient concentration of the soil and water decreased with time. Lost amount of soil of non-forest land is 1.72 times as that of the young forest land. The factors of effect on losses of soil and water from young forest land were analysed through applying model I of mixed quantification, and the prediction equations of lost amount of soil and water were established.

Key words Chinese fir, young forest land, loss of soil water and nutrient, predicting models