

山地林道网对林地环境的影响

邱荣祖

(福建农林大学南平校区 交通工程系, 福建 南平 353001)

摘 要: 山地林道网对林地环境影响的定量研究是一个重要的却一直被重视的领域。采用定点观测与面上调查相结合的方法, 定量研究山地林道网对林地土壤性质、土壤侵蚀量和植被的影响, 分析其成因, 揭示山地林道网对林地环境影响的机理。其研究结果可为定量评价森林作业系统对林地环境所产生的负面影响提供依据。

关键词: 山地; 林道网; 土壤侵蚀; 植被

中图分类号: S718; S771

文献标识码: A

作为人类开发利用森林资源的一项基础工程, 林业道路网是实施森林可持续经营的物质基础, 它在木材采运、森林经营管理以及资源综合利用等活动中都起着重要的作用, 但同时也给森林生态系统带来一系列的负面效应^[1]。南方集体林区多处山地丘陵地带, 地形条件复杂, 修建道路过程中需要大填大挖, 改变了土体的原有平衡, 造成大量的崩塌和溜坡等土壤重力侵蚀现象。大面积的边坡挖填方、弃方和路面等工程创面, 彻底改变了土层结构和土壤理化性质, 并影响到植被的恢复, 造成面蚀和沟蚀的发生^[2~3]。采用定点试验观测和面上调查相结合的方法, 研究山地林道网对林地土壤理化性质、植被和土壤侵蚀的影响, 以期揭示其影响的程度和机理, 为最大限度减少林道网对林地环境的负面效应提供理论依据。

1 研究区域概况

1.1 自然概况

研究区永安市位于福建省中部偏西, 地处 $116^{\circ}56'E \sim 117^{\circ}47'E$, $25^{\circ}33'N \sim 26^{\circ}12'N$ 。地形地貌属亚热带山地丘陵, 山地面积占总面积的 71.13%。土壤以山地红壤为主, 占林业用地面积的 72.38%, 土层深厚, 土壤肥力较高, 其中表土层有机质平均含量 5.06%, 全氮 0.184%, 速效磷 5.78ppm。永安属亚热带季风气候, 年平均气温 $19.4^{\circ}C$, 相对湿度 80%, 平均年降水量 1 564.2 mm, 年蒸发量

1 455.5 mm, 降水量高于蒸发量 108.7 mm, 水热资源丰富, 十分有利于森林植物的生长。由于水热、土壤等条件优越, 形成了丰富的植物群落类型和树种资源。我国植被区划系统中, 永安属于亚热带常绿阔叶林区域, 地带性植被是“典型常绿阔叶林”。

1.2 森林采运作业方式

森林主伐方式以皆伐为主, 部分针阔叶混交林采用择伐方式。采集作业以油锯采伐, 人力集材为主, 个别班组为机械化(索道)集材。运材主要是汽车陆路到材, 水运到材的比例很小。

2 研究方法

2.1 土壤性质测定方法

为了比较分析不同修建时间的林道网对土壤理化性质的影响, 分别对林地、新便道(1996—08 修)和旧便道(1995—08 修)进行土壤取样。林地土壤取样采取 3 个剖面(1 个主剖面, 2 个辅剖面), 分层(0cm~10cm, 10cm~20cm, 20cm~40cm)进行。林道土壤取样分路面、填方边坡和挖方边坡分别进行。路面土壤采样点为坡顶点、坡中点、坡下点 3 点, 取 0cm~20cm 一层; 填方边坡土壤采样分 0cm~10cm, 10cm~20cm, 20cm~40cm 三层; 挖方边坡取边坡中间点。环刀取样每层重复 1 次。土壤水分、物理性质采用室内环刀法。土壤主要养分中, 有机质、全 N、全 P、水解性 N、速效 K 测定按常规方法进行, 土壤全 K 采用火焰分光光度计法^[4,5]。土壤分析数据

收稿日期: 2000-05-15; 改回日期: 2000-10-30。

基金项目: 福建林业厅科研基金资助项目(1997 闽林科 10 号)。

作者简介: 邱荣祖(1961—), 男(汉族), 福建莆田人, 副教授, 芬兰博士后, 从事山地林道网理论、“3S”技术应用研究。Tel: 0599-8509465。

为同一类型 2 次重复的平均值。

2.2 土壤侵蚀量测定方法

2.2.1 侵蚀沟调查

以永安市所属的 10 个国有林业采育场为林道侵蚀沟调查研究区域, 调查林道所处的海拔高度都在 300 m ~ 600 m, 弃养时间 1a ~ 4a, 坡度分为 2°、4°、6°、8° 四个序列, 坡长间隔 4 m 量测一次路面侵蚀沟的截面积。

2.2.2 相关沉积法

重力侵蚀采用相关沉积法进行调查, 调查的区域和对象与侵蚀沟调查法相同。

2.2.3 标桩法

标桩法试验地选在永安市虹桥林业采育场的将乐坑伐区 2 林班 6 小班的一段弃养 1 a 的林道上。路面标桩选用 13 cm 长的铁钉, 将铁钉沿坡面垂直方向打入, 桩顶低于路面 20 cm, 每排布两根, 中间标桩间隔 2 m, 左右侧标桩间隔 4 m, 左右交错布设。

2.3 植被调查方法

采用方格法调查路面植被在不同弃养年限后的恢复情况。

3 结果与分析

3.1 土壤理化性质

3.1.1 土壤物理性质

林道土壤物理性质直接关系到林道边坡及弃养林道路面植被形成的难易程度, 并影响到林道的稳定性, 也是定量评价林道网对森林生态系统涵养水源功能影响的基础。

3.1.1.1 土壤孔隙组成

表 1 为新、旧道路路面及其填方边坡与对照林地的土壤孔隙组成。从表 1 中可以看出, 在林道路面部分, 0 cm ~ 10 cm 层土壤容重是林地的 2 倍, 明显高于林地, 总孔隙度比林地低 19.33 %, 旧路面的土壤容重比新路面增加 10 %, 总孔隙度和通气度分别下降了 3.33 % 和 6.66 %, 这主要是由于运材汽车反复碾压的结果。但在林道的填方边坡部分, 新林道容重(表层)比林地增加 25 %, 总孔隙度下降 1.33 %, 通气孔隙反而提高 1.33 %。林道填方边坡在施工过程中, 通常采用自然堆土的办法, 没有采取夯实措施。因此, 填方边坡土壤结构疏松, 孔隙度较大, 但非毛管孔隙所占的比例较高, 非毛管孔隙与毛管孔隙之比达到 0.44, 比林地高 46.67 %。随着时间的推移, 由于土体自重和地表水等因素的作用下, 填方边坡土壤会产生自然沉陷, 使土壤的容重有所增加, 孔隙度有所下降, 土壤变得相对坚实些。与新林道相比较, 旧林道填方边坡表层土壤的容重增加了 7.8 %。

表 1 林道土壤孔隙组成
Table 1 Soil porosity distribution of forest roads

土样类型	土层 cm	容重 g·cm ⁻³	非毛管孔隙 %	毛管孔隙 %	总孔隙 %	通气孔隙 %	非毛管孔隙 / 毛管孔隙
林 地	0 ~ 10	0.91	12.33	41.50	53.83	32.67	0.30
	10 ~ 20	1.04	11.17	43.33	54.50	30.17	0.26
	20 ~ 40	1.11	11.00	43.75	54.75	30.75	0.25
新路路面	0 ~ 10	1.70	5.50	32.33	37.83	18.83	0.17
填方边坡	0 ~ 10	1.14	15.00	37.50	52.50	34.00	0.44
	10 ~ 20	1.05	20.00	36.00	56.00	34.00	0.57
	20 ~ 40	1.18	14.00	35.00	49.00	24.00	0.40
旧路路面	0 ~ 10	1.87	5.83	28.67	34.50	12.17	0.17
填方边坡	0 ~ 10	1.23	16.50	36.50	53.00	29.50	0.49
	10 ~ 20	1.22	19.50	31.00	50.50	27.00	0.63
	20 ~ 40	1.14	19.00	32.50	41.50	27.00	0.59

3.1.1.2 林道土壤水分状况

表 2 为新、旧道路路面和填方边坡与对照林地的土壤水分状况测定值。从表 2 中可以看出, 与林地表层土壤(0 cm ~ 10 cm)的田间持水量、毛管持水量和最大持水量相比, 新林道边坡土壤分别下降了

16.17 %、12.83 % 和 13.5 %, 底层土壤也有此规律。旧林道填方边坡土壤的持水能力降低幅度更大, 田间持水量、毛管持水量和最大持水量分别比林地下降 21.42 %、17.33 % 和 15.00 %。林道路面是直接承受运材车辆载荷的部分, 车辆的反复碾压使得路面

的土壤比填方边坡的土壤坚实得多,这直接影响到路面土壤的持水能力。新林道路面土壤的田间持水量、毛管持水量和最大持水量明显低于填方边坡和

林地,且随着运材车辆通过次数的增加,林道路面坚实度不断提高使旧林道的田间持水量、毛管持水量和最大持水量较新林道路面下降。

表 2 林道土壤水分状况
Table 2 Soil water situation of forest roads

土样类型	土层 cm	自然含水量 cm	田间持水量 %	毛管持水量 %	最大持水量 %
林 地	0~10	23.50	42.17	45.83	59.50
	10~20	23.50	37.67	42.17	53.17
	20~40	21.75	34.00	40.00	50.50
新路路面	0~10	11.17	17.33	19.17	22.67
填方边坡	0~10	20.00	26.00	33.00	46.00
	10~20	21.50	25.00	34.50	54.00
	20~40	21.00	21.00	30.00	42.00
旧路路面	0~10	12.00	22.50	15.33	18.50
填方边坡	0~10	20.75	19.00	28.50	44.50
	10~20	20.50	19.00	25.50	42.00
	20~40	22.50	21.50	28.50	45.00

3.1.2 土壤养分含量

土壤养分是林木生长发育所必需的物质基础,土壤养分供应量和强度与植物生长速度密切相关。林道的土壤养分含量,不仅影响到林道植被的恢复,同时也是定量评价林道土壤侵蚀所造成林地养分损失的重要依据。山地林道的大挖大填施工,完全改变了土壤原有的土层结构,这就使得林道各部分土壤的养分含量与林地相应各层的土壤有很大的不

同。从表 3 可以看出,新、旧林道路面和填方边坡的土壤主要养分含量明显低于林地。新林道路面土壤的有机质、全氮、水解性氮和速效磷含量分别只有林地土壤(0cm~10cm)的 20.26%、41.04%、27.24%和 25.16%。新林道边坡部分的各项养分含量指标相对高些,但也仅为林地的 27.89%、47.57%、39.13%和 26.09%。只有速效钾和全磷含量与林地相近或略高。

表 3 林道土壤养分组成
Table 3 Soil nutrition composition of forest roads

土样类型	土 层 cm	有机质 %	全氮 %	全磷 %	水解性氮 mg·kg ⁻¹	速效磷 mg·kg ⁻¹	速效钾 mg·kg ⁻¹
林 地	0~10	4.630	0.173	0.047	187.71	7.59	52.50
	10~20	2.731	0.104	0.043	103.81	3.51	36.33
	20~40	2.300	0.087	0.039	85.33	1.67	30.33
新路路面	0~10	0.938	0.071	0.063	51.13	1.91	49.33
填方边坡	0~10	1.291	0.083	0.071	73.46	1.98	73.00
	10~20	1.245	0.088	0.074	69.83	1.05	74.00
	20~40	1.367	0.102	0.084	64.94	1.31	46.00
旧路路面	0~10	0.841	0.044	0.060	36.54	1.31	46.00
填方边坡	0~10	0.767	0.063	0.072	107.60	1.42	51.00
	10~20	0.983	0.089	0.086	51.74	1.34	46.00
	20~40	1.083	0.113	0.081	81.70	1.09	58.00

修建林道造成土壤原土层层结构的大范围翻动,使得填方边坡深层土壤的大部分养分含量比表层高,旧林道土壤的养分含量比新林道部分略低,这可能与旧林道路段路面挖方深度比新林道路段大有关。

3.2 林道网的土壤侵蚀

3.2.1 路面侵蚀

3.2.1.1 面上调查分析

根据美国通用土壤流失方程: $E = RKLSCP$, 影响

土壤侵蚀量的因素有降雨侵蚀力指标(R)、土壤可侵蚀因子(K)、坡长因子(L)、坡度因子(S)、作物经营因子(C)和土壤保持因子(P)。在特定的研究区域,降雨特征、土壤质地和有机质含量相近,林道路面结构基本相同,且都无工程防锈措施。因此,可近似地认

为 R 、 K 、 P 一致,为使 C 因子也保持一致,分不同弃养年限进行调查,并假设同一年弃养的林道, C 值一样,这样,面上调查中影响土壤侵蚀量的因子仅限于坡长和坡度,表4是20条弃养4a内的便道,不同坡度序列、不同坡长路面土壤侵蚀量调查统计数据。

表4 路面土壤累计侵蚀量(cm^3)
Table 4 Soil erosion yields of road surface

年限	坡度 %	坡长(m)										
		4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44
1	3.49	25488	57204	95148	133200	171360	256464					
1	6.98	89280	222900	324500	451100	602700	865100					
1	10.47	152800	330320	489120	629200	722760	1048680	1412940	1702740	2036200	2223660	2484120
1	13.96	39920	126520	233640	345080	470960	617580	852000				
2	3.94	26660	64740	114240	206240	271740						
2	6.98	161500	244980	410760	697992	744484	1002884	1119844	1282964			
2	10.47	132780	274760	351720	554800	829520	1064328					
2	13.96	194900	417800	659312	763152	893628	1152820	1304640	1615172	1910812	2161132	
3	3.49	18400	102800	188420	275260							
3	6.98	105040	250940	461808	617016	810388	1041920	1297892	1476644	1732004	1896604	
3	10.47	104396	216984	409416	685148	1013448	1231560	1425908	1670004	2302132	2498524	
3	13.96	153856	372752	513380	819372	1126924	1442624	1678064	1985896	2296656	2596124	2908016
4	3.49	23240	99408	228500	330704	479884	663444	748044	887204	1006656	1264156	
4	6.98	159240	239000	351780	497580	638820	882140					
4	10.47	172708	472868	781468	913168	1186068	1500048	1893088	2425988	2736968	3164468	3575428
4	13.96	67936	217272	442088	725528	938552	1345792	1760552	2193312			

应用多元线性回归分析可得土壤侵蚀量 E 与弃养时间 T 、坡度 S 、坡长 L 的关系模型

$$E=1695.24T^{0.328}L^{1.3544}S^{0.814}(\text{cm}^3) \tag{1}$$

应用 F 检验, $F=504.13>F_{0.01}(3,125)=3.95$,表明整个模型极显著相关。应用 t 检验, $t_1=5.609$, $t_2=47.274$, $t_3=20.026$, $t_1、t_2、t_3>t_{0.01}(125)=2.41$,时间、坡长和坡度分别与 E 极显著相关。

3.2.1.2 定点观测分析

定点观测采用标桩法进行,观测试验的林道是典型的沿溪布线方式,研究路段为半填半挖结构,林道纵坡度 $4.1^\circ(7.15\%)$,桩标从林道纵坡变坡点(坡顶)往下布设50m,共布设25对个标桩。该段林道于1995—08修好投入使用,1996—10基本停止通行,布桩时间为1996—12,观测读数时间为1997—12,因此可以认为观测的数据代表了林道路面弃养第1年的土壤侵蚀情况。

为检验由面上调查数据建立的林道路面土壤侵蚀数学模型的精度,取 $S=7.15$, $T=1$,式(1)化简为

$$E=8406.91L^{1.3544}(\text{cm}^3) \tag{2}$$

取 $L=2,4,\dots,50$,可计算出预报值,设标桩实测量为 E_0 ,则相对误差为

$$r_i=\frac{|E_0-E|}{E}\times 100(\%) \tag{3}$$

计算结果表明,平均相对误差为12.27%(计算过程略)。因此,用模型(1)预报林道路面土壤侵蚀量,其平均误差低于20%的限差^[9],满足预报精度要求。

3.2.2 边坡侵蚀

根据调查,边坡侵蚀形式主要有崩塌、溜坡和沟蚀三种侵蚀形式。表5为调查的20条不同弃养年限林区便道部分路段边坡土壤侵蚀情况的统计,表中的崩塌量包括发生在挖方边坡的滑坡和碎落的发生量,发生在填方边坡的滑坡量计入溜坡量。从表5中的统计数据可以看出,调查的2585m便道,总边坡侵蚀量为228.49 m^3 。其中崩塌量213.34 m^3 ,溜坡量9.95 m^3 ,冲刷量5.2 m^3 ,平均单位长侵蚀量88.4 m^3/km ,崩塌量占总侵蚀量的93%,溜坡量和冲刷量分别仅占总侵蚀量的4.4%和2.3%。在发生频率上,崩塌为4.2次/km,也高于溜坡发生频率(1.2次/km)。因此崩塌是山地林道边坡侵蚀的主要侵蚀形式。

表 5 边坡侵蚀统计
Table 5 Statistical data of side erosion

年限	长度 m	崩塌量 m ³	次数	发生 频率	溜坡量 m ³	处数	发生 频率	冲刷量 m ³	单位长 侵蚀量 ¹⁾
1	688	130.30	5	7.0	6.38	2	2.9	0.0	202.90
2	646	7.10	1	1.6	3.57	1	1.5	0.0	16.52
3	652	19.45	1	1.5	0.00	0	0.0	5.2	37.81
4	600	56.49	4	6.7	0.00	0	0.0	0.0	194.15
Σ	2586	213.34	11	4.2	9.95	3	1.2	5.2	88.436

1)单位长侵蚀量的单位为 m³/km。

边坡侵蚀随弃养年限变化,弃养 1a 的单位长林道边坡侵蚀量最高,达到202.90 m³/km,经过 1a 时间的侵蚀,不稳边坡逐渐减少,因此,在弃养的第 2 年,单位长侵蚀量迅速降低到16.50 m³/km。但在弃养的第 3 年和第 4 年又增加到 37.8 m³/km 和 194.15 m³/km,这可能与伐桩树根表皮开始腐烂使得其固土作用减弱有关。近年来,国内已经开展了植物侧根对坡面土壤的稳定作用机理,以及坡面土壤生物防蚀工程的研究^[7~10]。国外的研究已经证实了边坡重力侵蚀的发生与树根腐烂之间的关系^[11~14]。

3.3 林道网植被恢复过程

根据调查,在道路的填方边坡部分,植被的恢复速度较快,情况也较好,除了全石方路段外,道路的填方边坡路一般在工程完成的次年就被草灌覆盖。但路面部分由于土壤理化性质很不利于植被的生长,植被的恢复很缓慢。如图 1 示,植被盖度随着道路弃养年限延长呈逐增加趋势,弃养 5a 后,路面板盖度才能达到 50%。根据外业调查的情况看,路面植被主要以草本植物为主。

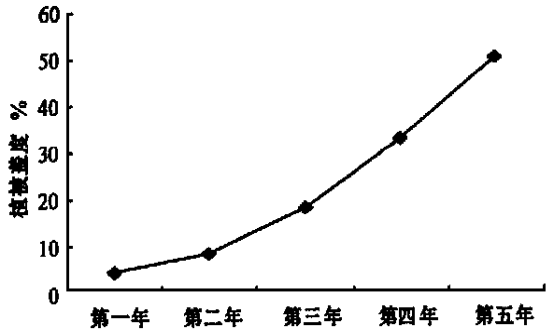


图 1 路面植被盖度

Fig. 1 Coverage of vegetation on road surface

4 结 论

1. 由于运材车辆的碾压作用,林道路面土壤的

坚实度明显高于林地,随着投入运营时间的增加,坚实度会进一步提高。林道填方边坡的土壤孔隙组成与林地没有显著差异,但因土壤的自然沉陷作用,会使填方边坡土壤的坚实度林道修竣时间的推移而有所提高。由于林道各部分土壤的密实程度提高或孔隙构成变化的原因,使得其持水量均有不同程度的下降。

2 道路的大挖大填施工,彻底改变了土层结构,使林道各部分的土壤养分含量均明显低于林地。相对而言,边坡部分高于路面,新旧林道间没有显著的差异。

3. 林道路面土壤的侵蚀量与林道坡长、坡度和道路的弃养时间呈幂函数关系,模型经精度检验,平均相对误差为 12.7%,满足精度要求,模型可用于条件相似区域的道路路面土壤侵蚀量预报工作。

4. 由于路面的土壤过于坚实,不利于植物的生长,在林道弃养 5a 后,植被盖度才能达到 50%,恢复过程缓慢。

5. 林道网对林地环境的影响,不仅是本研究所涉及的土壤性质、土壤侵蚀和植被,同时也会对河流、路旁树木、野生动物迁移乃至森林生态景观产生影响,这是今后有待深入研究的。

参考文献:

[1] 邱荣祖. 林道网合理密度及配置方法的研究[J]. 南京林业大学学报, 2000, 24(1): 51 ~ 55.
[2] John D. McChashion . Erosion on logging Roads in Northeastem California; How Much Is Avoidable ? [J]. Forest Industries . 1983, (1): 23 ~ 26
[3] Coker R. J. Road related mass movement in weathered granitic [J]. Journal of Hydrology . 1993, 31(1): 65 ~ 69.
[4] 周新年, 邱仁辉, 杨玉盛. 不同采伐集材方式对林地土壤理化性质影响的研究[J]. 林业科学, 1998, 34(3): 18 ~ 25.
[5] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
[6] 周伏建, 陈明华, 林福兴. 福建省土壤流失预报研究[J]. 水土保持

持学报, 1995, 9(1): 25~30.

[7] 周跃, 徐强, 骆华松, 等. 乔木侧根对土体的斜向牵引效应 I 原理和数学模型[J]. 山地学报, 1999 (1): 4~9.

[8] 周跃, 徐强, 骆华松, 等. 乔木侧根对土体的斜向牵引效应 II 野外直测[J]. 山地学报, 1999, (1): 10~15.

[9] 刘秉正, 刘世海, 郑随定. 作物植被的保土作用及作用系数[J]. 水土保持研究, 1999, (2).

[10] 王喜龙, 蔡强国. 生物措施控制坡地土壤侵蚀的原因及效用分析[J]. 干旱区研究, 1999, (4).

[11] Gullison R. E. The effects of road design and harvest intensity on forest damage by selective logging: empirical results and a simulate model from the Bosque Chimanes[J]. *Bolivia*. 1993, (59): 1~4.

[12] Shah B. H. Preliminary observations on efficiency of bio-chemical techniques for road hill slope stabilization[J]. *Pakistan Journal of Forestry*. 1989, 39(4): 199~207.

[13] Magahan W. F. Erosion control practices applied to granitic road fills forest road in Idaho; cost effective[J]. *Land Degradation & Rehabilitation*. 1992, 3(1): 55~56.

[14] Rudolf H. Protection of forest roads using biological and engineering methods[A]. In: *Moutain forest roads and harvesting* [C]. FAO Forestry Paper. 1979. (14): 79~91.

Effects of Mountain Forest Road Network on Forest Land Environment

QIU Rong-zu

(*Fujian College of Forestry, Nanping 353001 China*)

Abstract: Quantitative researches on the effects of mountain forest road network on the environment in forest land were ignored in past. Soil samples collected from all parts of forest roads which were built in different time and forest land were analyzed. The results indicates that compared with the forest land, the solidity of soil on the road surface is much higher. The solidity of soil on the side slope of the new forest road is nearly the same as that on forest land. The nutrient contents of soil on the forest roads are much lower than those of soil on the forest land because of constructing forest roads. The nutrient contents of road surface and filling side are only 20~50% as much as those on forest land. The soil erosion of 20 temporary forest roads in the research area was investigated by means of Gully Survey and Relative Sediment. A power formula relationship among soil erosion yields on forest road surface and slope length, slope degree, and the years of abandoning maintenance was developed. The average relative error of the formula is 12.7% which can meet the need of soil erosion prediction. The research results can be the basis of the quantitative evaluations on the negative effects of forest harvesting system on the environment in forest land.

Key words: mountain area; forest road network; soil erosion; vegetation