

农牧交错区退耕还林地土壤恢复特征的研究

—以内蒙古卓资县为例*

王同顺, 郭建英, 孙保平, 李锦荣

(北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

摘要:以卓资县退耕还林地为研究对象,探讨不同退耕还林地土壤理化性质的变化规律及改良作用。初步研究表明:退耕还林以后土壤黏粒总体含量均高于耕地,其中表土层增加不显著,亚表层、下层增加较多;在不同的退耕还林地中,表层土壤容重明显高于亚表层和下层的土壤容重;不同退耕还林模式下土壤有机质含量均随土层深度增加而递减,表现出明显的表聚性;不同林地类型之间的全量N、P、K的含量变化差异显著,而不同土层深度的全量P、K的差异不显著;不同退耕还林地的速效N、P、K的含量变化幅度较大。总体来看当地实施退耕还林后,对土壤的改良效果明显,有效的改善了当地生态环境。

关键词:农牧交错区;退耕还林;土壤理化性质;卓资县

中图分类号:X171.1;S153

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)06-0134-05

The Research of Characteristics of Soil Restoration of Conversion Cropland to Forest in the Farming-pastoral Zone

—Taking Example of Zhuozi County

WANG Tong-shun, GUO Jian-ying, SUN Bao-ping, LI Jin-rong

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper studies the soil of conversion cropland to forest in Zhuozi county, exploring the law of change in the nature of the soil physical and chemical properties and the role of improvement to soil in different farmland to forests. Preliminary findings show that the soil clay contents were generally higher than those of cultivated land after returning farmland to forest, of which no significant increase in surface soil, sub-surface, middle and lower classes increased considerably. Returning farmland to forest in different places, the surface soil bulk density was significantly higher than sub-surface and lower soil bulk density. Different modes returning farmland to forest soil organic matter levels were decreasing with the increase in soil depth and showing a clear table cohesion. The change of entire amount of N, P, K content was significantly between the different forest types, while the entire amount of P, K of soil of different depth was not significant. The rangeability of content to quick N, P, K in different returning farmland to forest land was relatively large. Overall, it was obvious effects of soil improvement, and effectively improve the local ecological environment after implementation of the returning farmland to forests in the local.

Key words: farming-pastoral zone; mandatory conversion of marginal farmland to forestland; soil physical and chemical properties; Zhuozi county

我国农牧交错区林地的生态系统服务主要表现为防风固沙,保护草场。这一服务的实现取决于植被覆盖、土壤质地等一系列因素。而该地区实施的

退耕还林还草主要是通过植被的变化来改变土壤的性状,从而达到恢复生态系统服务的目的。因此,需要研究退耕还林还草过程中植被和土壤变化之间的

* 收稿日期:2009-06-26

基金项目:国家林业局退耕还林(草)效益监测评价项目(2007B15)

作者简介:王同顺(1978-),男,硕士研究生,主要从事水土保持和林业生态方面的研究。E-mail:wtongshun303@163.com

通信作者:孙保平(1956-),男,教授,博士生导师,主要从事水土保持与荒漠化方面的研究。E-mail:sunbp@163.com

关系及其对防风固沙的可能影响。

在地处农牧交错区的内蒙古乌盟一带, 退耕还林还草有 10 余年的历史。然而, 迄今为止对退耕还林还草的生态效应研究主要集中在土壤性质变化方面^[1-2]。由于基础研究薄弱, 在退耕还林还草的具体实施方面, 目前普遍存在一定的盲目性, 何处还林、何处还草、林草如何配置等, 仍然值得探讨。在北部农牧交错区的科尔沁沙地一带, 对退化生态系统的植被恢复机制有一定的研究基础, 特别是在人工固沙植物群落的冗余结构与补偿效应方面取得了进展^[3], 张永利等人对华北土石山区人工林与天然林结构与功能进行了深入的研究分析^[4], 这些研究对探讨生态系统服务功能的改善机制有一定的指导意义。史培军等人研究表明, 气候变化和土地利用、覆盖的变化是我国农牧交错区风沙活动的主要驱动因素^[5]。因此通过农牧交错区关键地段退耕还林还草生态效应研究, 可为制定正确的退耕还林还草政策及合理开展生态效益补偿提供理论基础。

1 研究区概况

卓资县位于内蒙古中部、乌兰察布市境内, 总土地面积 31.2 万 hm^2 。地理位置为北纬 $40^\circ 38' - 41^\circ 16'$, 东经 $111^\circ 51' - 112^\circ 56'$ 。海拔 1 400~ 2 206 m, 属阴山低山丘陵区以及剥蚀堆积山间沟谷及洼地地形等。地貌以北部草原区为主, 其中: 山地 10.9 万 hm^2 , 占总土地面积的 34.9%; 耕地 54 620 hm^2 , 占总土地面积的 17.5%; 滩川地 5 907.67 hm^2 , 占总土地面积的 1.89%。

卓资县地处北温带, 属典型的干旱半干旱大陆性季风气候, 年均气温 2.5°C , 1 月平均气温 -16°C , 极端最低气温 -38.2°C , 极端最高气温 35.2°C 。 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温为 2 000~ 2 700 $^\circ\text{C}$, $\geq 5^\circ\text{C}$ 积温平均为 2 389 $^\circ\text{C}$, 持续 170 d, 无霜期 90~ 110 d; 平均降水量为 350 mm, 年蒸发量 1 876.9 mm, 年均风速为 2.8 m/s。全县水土流失范围广、强度大、面积达 25.5 万 hm^2 , 占全县总面积的 81.36%。

2 研究方法

采取野外调查取样与室内分析相结合、定性与定量分析相结合的研究方法, 选择不同林种退耕还林地和作为对照的农耕地、天然草地作为试验样地。在样地内挖取典型剖面 0~ 20 (表层)、20~ 40 cm (亚表层)、40~ 60 cm (下层) 分层取样袋装作为供试土样。其中土壤水分、团粒结构、土壤容重均在土壤剖面内与取样同层用铝盒或容重环刀制取。全氮、

硒粉- 硫酸铜- 硫酸消化法; 全磷: 氢氧化钠碱熔- 钼锑抗比色法; 全钾: 氢氧化钠碱熔- 火焰光度法; 有效氮: 扩散吸收法; 速效磷: 碳酸氢钠浸提- 钼锑抗比色法; 速效钾: 1 mol/L 醋酸铵浸提- 火焰光度法; 有机质: 重铬酸钾氧化法^[6-8]。

3 结果与分析

3.1 退耕还林对土壤物理性质的影响

3.1.1 退耕还林对土壤机械组成的影响 土壤质地直接影响土壤水、肥、气、热的保持和运动, 并与作物的生长发育有密切的关系。许多研究表明, 黏粒具有较大的表面积, 粘结力很强, 在水稳性团聚体形成过程中具有重要作用^[9]。按照中国科学院南京土壤研究所 1975 年制定的粒级划分方案, 不同退耕还林地土壤的机械组成(表 1)。

卓资县退耕还林地的土壤主要以粗粉粒为主。无论何种退耕模式, 退耕还林区的黏粒总体含量均高于耕地, 其中表土层增加不显著, 亚表层、下层土增加较多。柠条林地明显高于其他退耕模式, 增幅比农田高了 53.2%; 表土层中 $> 0.1 \text{ mm}$ 砂粒含量则大幅度减少, 榆树人工林、山杏人工林、沙棘人工林、落叶松人工林分别比农田减少了 33.3%、50%、91.7%、20.8%; 亚表层、下层土粗砂的含量变化较小。这是由于退耕还林以后, 减少了雨滴对地面的直接击溅侵蚀, 降低了径流对土壤的冲刷, 稳定了成土环境, 使黏化作用增强, 黏粒聚积明显, 粉粒、黏粒含量增加, 砂粒含量减小, 土壤的抗蚀性和抗冲性提高, 有效地减少了水土流失。天然草地的黏粒和细粉粒的在所有的土地利用类型中含量最高, 分别为 2.93% 和 9.31%, 说明人为的干扰对土壤机械组成的影响较大, 耕地在还林后, 虽然促进了土壤物理性质的改善, 但在前期的工程措施破坏及早期的土壤裸露受水蚀和风蚀的影响, 且土壤的形成和演化是个漫长的物理化学过程, 导致其黏粒、细粉粒的含量明显低于天然草地, 但造林可以促进土壤环境的改善, 并且随着时间的增加效果越明显。

3.1.2 退耕还林对土壤容重的影响 土壤容重的大小与土壤质地、结构、有机质含量、土壤坚实度、耕作措施等有关, 容重数值本身可以做为土壤的肥力指标之一^[10]。土壤的容重愈小, 表明土壤的结构性愈好, 孔隙多, 疏松, 有利于土壤的气体交换和渗透性的提高。反之, 土壤的容重愈大, 表明结构性差, 孔隙少, 板结。

从不同植被恢复模式来看(图 1), 表层土壤容重从小到大的顺序为农田 < 沙棘 < 柠条 < 落叶松 <

山杏 < 榆树, 亚表层、下层的土壤容重榆树明显低于表层, 主要是榆树的根系发达, 向下延伸和扩展的范围大, 加之根系的死亡分解, 改善了土壤的物理性质, 因此可以有效地降低土壤容重。

除了柠条、沙棘和农田外, 土壤容重其他林地表层明显高于亚表层。各样地中榆树的上下层差异最大, 其它样地上下层土壤容重差异较小, 因为被调查的样地原为耕地, 其土壤有明显的耕作层(厚度约

20 cm)、犁底层(厚度 6~ 8 cm)和心土层(厚度 20~ 30 cm), 上层土壤由于受农事操作活动和耕作的影 响, 土层通透性能良好, 非毛管孔隙度大, 土壤容重 较小, 有利于土壤的气体交换和渗透性的提高。该 区经过退耕还林还草, 植被恢复后, 不再对土层进行 耕作, 加之植被枯枝落叶及根系对土壤的影响, 降低 了耕作层和犁底层的明显分界, 减小了土壤上、下容 重的差异。

表 1 不同退耕还林地土壤机械组成对比

%

退耕类型	土层厚度/ cm	各级微团体含量百分比					
		< 0.001 mm	0.001~ 0.005 mm	0.005~ 0.01 mm	0.01~ 0.05 mm	0.1~ 0.05 mm	> 0.1 mm
柠条	0- 20	0.73	2.63	8.39	76.49	13.92	0.01
	20- 40	0.89	2.97	6.28	79.96	11.59	0.14
	40- 60	0.78	2.36	6.1	85.15	11.05	0.02
榆树	0- 20	0.85	2.47	7.06	70.76	12.87	0.16
	20- 40	1.06	3.24	8.72	78.40	15.26	0.02
	40- 60	0.89	2.99	9.18	74.30	17.01	0.11
沙棘	0- 20	0.71	2.58	7.97	68.93	15.39	0.02
	20- 40	0.82	2.36	7.97	74.34	14.34	0.09
	40- 60	0.78	2.01	6.83	74.85	12.18	0.15
落叶松	0- 20	0.78	2.66	4.62	77.53	11.64	0.19
	20- 40	0.94	2.98	7.99	78.77	14.37	0.11
	40- 60	0.85	2.83	6.45	77.12	11.72	0.03
山杏	0- 20	0.77	2.59	9.47	75.17	17.35	0.12
	20- 40	0.96	2.42	8.62	77.64	14.35	0.08
	40- 60	0.86	2.84	7.29	78.97	12.77	0.14
农田	0- 20	0.9	2.88	7.02	71.14	13.04	0.24
	20- 40	0.71	2.65	6.47	72.12	11.84	0.17
	40- 60	0.62	2.14	6.22	74.12	11.30	0.27
天然草地	0- 20	0.74	2.93	9.31	67.08	16.47	0.07
	20- 40	0.81	2.36	8.49	79.01	14.97	0.16
	40- 60	0.93	2.17	6.52	72.06	11.91	0.22

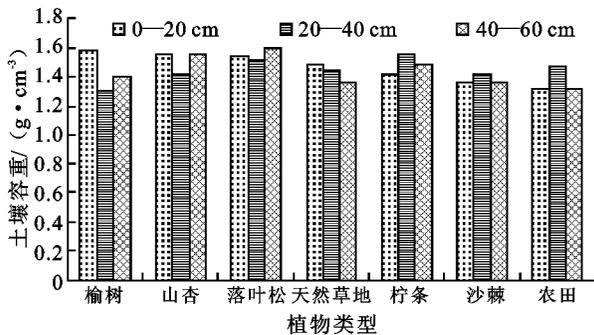


图 1 不同退耕还林地土壤容重的变化

3.2 不同退耕类型的土壤化学性质变化

土壤化学特性及其养分含量是土壤质量最为重要的表征指标, 也是衡量土壤生产潜力的基本内容。在退耕还林过程中, 随着退耕年限的变化, 土壤养分

和化学性质也发生了变化。

3.2.1 土壤有机质变化 土壤有机质是土壤的重要组成部分, 它含有植物生长所需的各种营养物质特别是氮、磷的重要来源, 是提供微生物生命活动的能源, 对土壤物理、化学和生物学性质都有着深刻的影响。因此, 经过退耕还林还草, 植被恢复能有效地增加土壤有机质含量, 改善土壤性质, 各土层厚度中土壤肥力充分增强。

在不同退耕还林模式下, 柠条、沙棘、落叶松、农田、天然草地土壤有机质含量均随土层深度的增加而递减, 其趋势基本一致, 表现出明显的表聚性, 且表层有机质的含量均高于山杏(图 2)。表层土壤有机质含量最大的是柠条 11.34 g/kg, 最小的为山杏

4. 65 g/kg, 不同类型林地内表层有机质含量的大小排列顺序为: 柠条> 农田> 天然草地> 沙棘> 落叶松> 榆树> 山杏; 下层土壤有机质含量榆树最大, 主要是由于榆树本身的生物学特性, 其为深根性植物, 下层根系发达, 毛根分布较多, 故对该层土壤环境的改善起到促进作用。

3.2.2 土壤全量氮、磷、钾变化 土壤全量养分是指土壤中的某些营养元素的全部含量, 是产生土壤速效养分的基础。

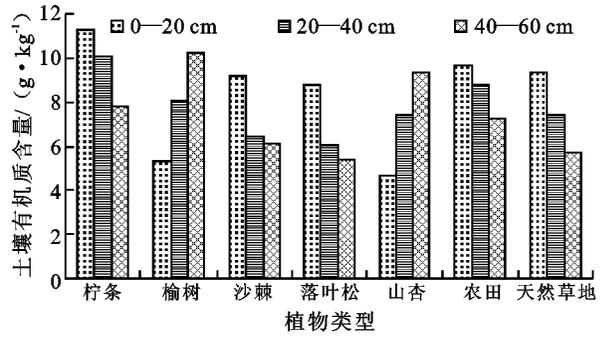


图 2 不同退耕还林模式林地内土壤有机质变化

表 2 不同退耕还林地各层土壤的全量养分对比

退耕类型	全氮			全磷			全钾		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
榆树	0.054	0.065	0.077	0.122	0.115	0.093	1.748	1.713	1.562
柠条	0.048	0.056	0.057	0.067	0.054	0.051	1.567	1.464	1.329
落叶松	0.047	0.068	0.071	0.053	0.055	0.059	1.751	1.747	1.633
山杏	0.045	0.052	0.068	0.074	0.068	0.064	1.422	1.647	1.552
沙棘	0.058	0.066	0.085	0.077	0.073	0.074	1.491	1.503	1.516
农田	0.081	0.081	0.089	0.086	0.076	0.062	1.77	1.771	1.845
天然草地	0.046	0.049	0.065	0.032	0.043	0.047	1.931	1.953	1.986

表 3 不同退耕还林地土壤全量氮、磷、钾方差分析

变异来源	因变量	三类平方差	自由度	均方	F 值	P 值
林地类型	全氮	0.002	6	0.000	14.494	0.000
	全磷	0.009	6	0.001	20.811	0.000
	全钾	0.572	6	0.095	14.744	0.000
土层深度	全氮	0.001	2	0.001	25.497	0.000
	全磷	0.000	2	0.000	1.941	0.186
	全钾	0.011	2	0.005	0.813	0.467

氮素是作物生长的重要营养元素之一, 作物中积累的氮素中仍有 50% 左右来自土壤, 土壤全氮含量是土壤的基本性质之一, 是评价土壤肥力的重要指标之一。植被恢复改变了土壤特性, 土壤物质输入和支出发生变化, 土壤全氮含量也将发生变化。除不同土层深度全磷、全钾差异不显著 ($P > 0.05$), 其他退耕还林地土壤全量氮、磷、钾与林地类型、土层深度之间的差异均显著 ($P < 0.05$)。仅全氮含量在不同林地类型之间表土层中的变化较为明显, 而全钾和全磷含量没有明显的规律性可变化 (表 3)。这是由于土壤全磷含量的高低, 受土壤母质、成土作用和耕作施肥的影响较大, 全钾可能是因为北方土壤富钾的缘故还是其他原因有待于进一步研究。在表层、亚表层、下层中沙棘林、榆树林地的全氮含量增加较多, 最高为沙棘林 0.058%, 稍低于农田的 0.081% (表 2), 这是因为沙棘属于非豆科固氮灌木, 生长量旺盛, 对土壤培肥效果较好, 因此可加速提高土壤养分的含量。

3.2.3 土壤有效氮、速效磷、速效钾变化 土壤全量养分水平并不能完全代表土壤养分水平, 季植物所能利用的往往是土壤溶液中或浸出液中的有效养分。土壤中氨态氮、硝态氮、亚硝态氮和一段时间内由于有机氮的矿化而形成的无机氮的总和称为土壤有效氮, 是植物直接可利用的部分。钾是植物生长发育过程中所必需的营养元素之一。它具有激活多种酶的活性、提高光合速率、促进物质合成、增强作物抗逆性等功能, 同时对于植物光合作用的产物—碳水化合物的运移和储存有着重要的作用^[11-12]。

随着土层深度的增加土壤有效氮的含量呈现明显的减少趋势, 不同林地内的差异较为明显, 除了柠条林都低于天然草地和农田, 且带间的含量明显大于林下 (图 3)。不同退耕还林地内表层土壤有效氮含量顺序为沙棘> 农田> 山杏> 榆树> 落叶松> 天然草地> 柠条。在退耕还林地随着林分的生长, 林草吸收所需养分增加, 而土壤有机质的矿化不能补足植物生长吸收的养分含量, 致使林地的有效氮含

量明显的低于天然草地和农田, 吕粉桃等人的研究结果表明, 随着林木的进一步生长发育, 土壤中的有效氮会逐渐升高, 16 年左右可达到收支平衡^[13]。

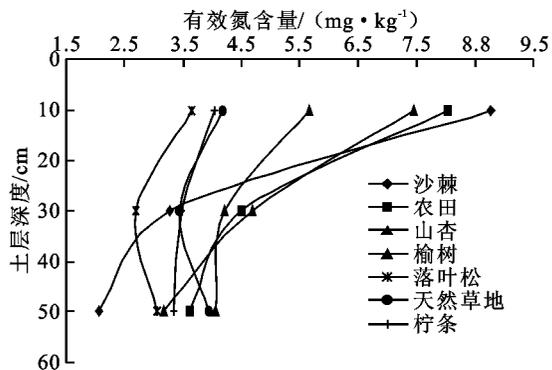


图 3 不同退耕还林模式林地内土壤有效氮垂直分布

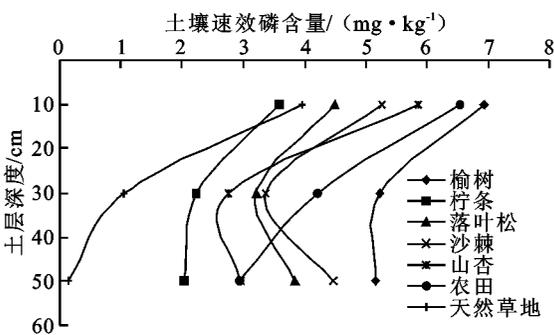


图 4 不同林地类型内土壤速效磷垂直分布

随着土层深度的增加土壤速效磷的含量呈明显的减少趋势, 不同林地内的差异较为明显。不同退耕还林地内表层土壤速效磷含量顺序为榆树 > 农田 > 山杏 > 沙棘 > 落叶松 > 天然草地 > 柠条(图 4)。其含量变化与有效氮的变化不一致, 说明不同林种之间的生物学特性存在明显的差异, 对不同养分的吸收程度不同。退耕还林后的一定时期内, 土壤速效磷含量逐渐降低, 这可能是由于植物生长所必需的磷几乎全部由土壤供给, 磷在土壤中的移动性和挥发性较小。退耕还林后, 施肥措施和土壤翻耕的停止, 使土壤磷的有效性和移动性降低。下层土壤速效磷的变化大致与表土层基本一致, 即随着退耕年限的增加呈降低趋势。

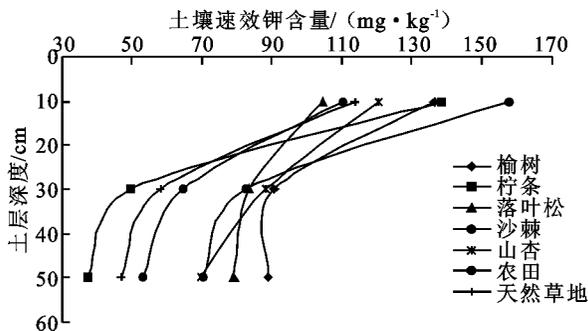


图 5 不同林地类型内土壤速效钾垂直分布

速效钾的含量, 随土层的深度递减较为剧烈, 且林地的递减率大于农田(图 5)。不同退耕还林地内表层土壤速效钾含量顺序为沙棘 > 柠条 > 榆树 > 山杏 > 天然草地 > 农田 > 落叶松, 这可能是由于退耕地林龄时间相对比较短, 枯枝落叶层的腐殖化作用增加的营养元素在表土层富集, 而林木枯落物和草本植物的矿化难易程度及土壤的水分等环境条件有关, 土壤养分逐年向下淋溶累积需要时间的累积。亚表层、下层土壤随着林龄的增长, 是植物须根活动旺盛的范围, 大量的钾元素被植物生长所吸收, 而通过降水淋溶作用到达下层的钾元素数量低于植物生长的吸收数量, 所以导致下层钾元素含量锐减的状况。

4 结论

通过对研究区不同样地土壤理化性质的测定和分析, 实施退耕还林(草)后土壤质量在某种程度上得以恢复, 不同类型林地土壤质量恢复还具有明显差异, 且将随恢复时间的延长土壤物理结构不断改善, 土壤养分不断增加。

(1) 退耕还林后, 研究区的土壤黏粒总体含量均高于耕地, 其中表土层增加不显著, 亚表层、下层土增加较多。柠条林地明显高于其他退耕模式, 增幅比农田高了 53.2%; 由于退耕还林以后, 减少了雨滴对地面的直接击溅侵蚀, 降低了径流对土壤的冲刷, 稳定了成土环境, 表土层中 > 0.1 mm 砂粒含量则大幅度减少, 榆树人工林、山杏人工林、沙棘人工林、落叶松人工林分别比农田减少了 33.3%、50%、91.7%、20.8%; 亚表层和下层土粗砂的含量变化较小。

(2) 在不同的退耕还林地中, 除了柠条和农田外, 其他林地表层土壤容重明显高于亚表层、下层土壤容重, 各标准样地中榆树的上下层差异最大, 其它标准样地上下层土壤容重差异较小。这是因为被调查的榆树林样地原为耕地, 受犁底层的影响所致。

(3) 不同退耕还林模式土壤有机质含量均随土层深度的增加而递减, 其趋势基本一致, 表现出明显的表聚性。

(4) 不同林地类型之间的全量 N、P、K 的含量变化明显, 全氮含量在不同深度土壤的变化也明显, 而全磷、全钾含量在不同土层深度之间变化不明显。

(5) 不同林地的速效 N、P、K 的含量变化幅度较大。随着土层深度的增加土壤有效氮的含量呈现明显的减少趋势, 不同林地内的差异较为明显; 随着土层深度的增加土壤速效磷的含量呈现明显的减少

表层土壤速效钾的含量大于亚表层, 下层土壤

(下转第 142 页)

从各省(市)泥石流数量与泥石流监测预警点分布来看,由于泥石流监测点总体数量偏少,相较滑坡监测点来说,各省(市)泥石流监测点数量不足的现象更为突出。考虑到泥石流分布空间差异情况和财力情况,预警系统建设时在甘肃、四川、云南和重庆分别布设了 12, 4, 1 和 1 个泥石流监测点,而在泥石流灾害相对不严重的贵州、陕西和湖北没有布设泥石流监测点,这与泥石流在各省(市)的空间分布情况大体上是相符的。但抛开监测点数量不足的情况,单从布设了监测点的 4 省(市)看,监测点数量设置尚存在进一步调整的空间。云南省泥石流数量和流域面积在七省(市)中都位居第二,只略少于排名第一的甘肃,而甘肃省内泥石流监测点有 12 个,而云南省只有 1 个,只与滑坡灾害严重而泥石流灾害不甚严重的重庆泥石流监测点数量一样,这明显与云南省泥石流灾害严重现状不相符。同时,四川泥石流灾害也很严重,而且分布面积广,而四川也只有 4 个泥石流监测点。在现有的站点布设情况下,泥石流灾情严重的云南、四川监测预警点的偏少,很难达到监测预警站点以点带面的成效。

4 结语

长江上游水土保持重点防治区滑坡泥石流预警

系统运行十几年来,发挥了巨大的效用,取得了令人瞩目的成绩。但由于长江上游滑坡泥石流点多面广,灾害严重的现状,除了预警系统存在现有站点普遍偏少的不足之外,单从预警系统本身来看,存在部分省份监测预警点明显与其严重的灾害不一致的情况。为更好的达到对滑坡泥石流监测预警的目的,今后系统建设除需普遍增设站点外,还需要从各省(市)灾害现状出发,有重点、有计划的合理增设各省(市)监测预警点,使监测站点相对能够满足当地滑坡泥石流预警的需要。

参考文献:

- [1] 胡甲均. 长江上游滑坡、泥石流防灾减灾的探索与实践[J]. 中国水土保持, 2002(1): 2-4.
- [2] 张小林, 吴丁丁. 长江上游滑坡泥石流群测群防减灾策略与成效[J]. 中国水土保持, 2003(12): 14-15.
- [3] 王星, 鲁胜力, 周乐群. 滑坡泥石流灾害及其防治策略探讨[J]. 水土保持研究, 2005, 12(5): 138-145.
- [4] 罗筱延. 金沙江下游及毕节地区山地灾害防灾预警系统[J]. 人民长江, 2003(1): 50-51, 54.
- [5] 郭利勇, 韦忠, 郭海. 陇南陕南片滑坡、泥石流群测群防试点县成果探析[J]. 水土保持通报, 2002, 22(2): 8-10.
- [6] 廖纯艳, 畅益峰. 长江上游滑坡泥石流预警系统减灾成效及经验[J]. 中国水土保持, 2007(1): 22-24.

(上接第 138 页)

趋势,不同林地内的差异较为明显,且都低于农田;表层土壤速效钾的含量明显大于亚表层、下层土壤速效钾的含量,随土层深度递减较为剧烈,且林地的递减率大于农田;速效 N、P、K 含量变化在不同林地间变化的不一致,说明不同林种之间的生物学特性存在明显的差异,对不同养分的吸收程度差异明显。因此造林过程中,林种的选择一定要符合适地适树的原则。

参考文献:

- [1] 韩永伟, 韩建国, 王堃, 等. 农牧交错带退耕还草对耕作层土壤磷、钾含量的影响[J]. 草地学报, 2003, 11(3): 228-233.
- [2] 盛学斌, 刘云霞, 孙建中. 农牧交错带土壤及某些表生植被特性变异与荒漠化的相关性: 以冀北康保县为例[J]. 应用生态学报, 2002, 13(7): 909-910.
- [3] 姜凤岐, 曹成有, 曾德慧. 科尔沁沙地生态系统退化与恢复[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [4] 张永利, 鲁绍伟, 杨峰伟. 华北土石山区人工林与天然林

结构与功能研究[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(6): 63-68.

- [5] 史培军, 严平, 袁艺. 中国北方风沙活动的驱动力分析[J]. 第四纪研究, 2001, 21(1): 41-47.
- [6] 中国科学院南京土壤研究所. 中国土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [7] 北京农业大学, 西北农学院. 定量分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [8] 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.
- [9] 王涌清, 孙昭荣, 刘秀奇. 潮土及盐化潮土中的微团聚体及有机质在各组微团聚体中的分布[J]. 土壤肥料, 1983, 19(4): 10-13.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [11] 徐晓燕, 马毅杰. 土壤矿物钾的释放及其在植物营养中的意义[J]. 土壤通报, 2001, 32(4): 172-176.
- [12] 常丽新. 土壤钾的生物有效性和土壤供钾能力[J]. 河北农业科技, 2002(4): 61-67.
- [13] 吕粉桃. 青海大通山地退耕还林生境演变特征及其评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.