

北川河流域退耕地植物群落土壤抗蚀性研究*

胡建忠 张伟华 李文忠 郑佳丽 张春霞

(北京林业大学水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要 土壤抗蚀性指土壤抵抗水的分散和悬浮的能力。国家退耕还林还草科技试验县——青海省大通县北川河流域的抗蚀性试验研究表明, 用于衡量土壤抗蚀性的 12 项指标, 经过主成分变换后, 能够反映特征根大部分信息(85.6%)的主成分包括无机黏粒类、团聚类、无机胶粒类和水稳性团粒类 4 大类。通过对 4 个主成分进行聚类, 北川河流域植物群落分为 3 大类, 其中抗蚀性最好的一类以天然林为主; 抗蚀性居中的一类以退耕时间较长的人工林地为主; 抗蚀性较差的一类以新退耕还林地为主。随着退耕时间的延伸, 退耕地人工林的抗蚀性较耕地不断提高, 而与当地天然次生林的抗蚀性愈来愈接近。以仿自然林为手段的退耕地人工林的营造是成功的, 以土壤抗蚀性为基础, 结合其他多方面的生态功能, 退耕地人工林可以起到很好的水土保持作用。

关键词 土壤抗蚀性; 主成分分析; 退耕还林地; 天然林地; 农耕地; 北川河流域

中图分类号 S157 **文献标识码** A

环境问题是当今国际社会普遍关注的热点问题, 而水土流失是世界第一号环境问题、是中国的第一大隐患^[1]。水土流失不仅通过对土地的蚕食, 造成上游侵蚀地区土地面积减少、土地退化、土地生产力下降, 而且被侵蚀的土壤还以粗泥沙形式造成了下游河道、水库以及河口的淤积^[2, 3], 由此引起的防汛工作成了我国长江、黄河中下游沿岸地区每年工作的重中之重。目前, 国家正在西部地区实施的退耕还林还草工程, 就是解决我国大江大河上中游地区严重的水土流失问题, 从而减轻下游防汛负担, 从根本上解决西部地区的生态和经济问题, 缩小东西部地区之间的剪刀差, 盘活整个中国经济。

一般来说, 植被系统通过改良土壤理化性状, 能够有效地降低土壤侵蚀和养分损失^[4]。我国退耕还林还草工程已经实施了 5 年时间。随着这一工程的不断进展, 有关工程实施后能否解决项目区生态问题的疑问在不断升级, 许多人都迫切希望了解退耕还林还草工程的防止土壤侵蚀的功能。本文以国家退耕还林还草工程科技试验县青海省大通县境内的北川河流域为例, 这一流域内不仅有近几年的退耕还林还草地, 还有从 20 世纪 80 年代初期以来不同

年份的退耕还林地, 以及保存较好的许多天然次生林地。通过对流域内现有各种植物群落土壤抗蚀性能的研究, 有望从对土壤这一侵蚀对象的抗蚀性特征出发, 来回答退耕还林还草工程的水土保持功能问题。

1 研究区概况

北川河流域位于青海省大通县境内, 属黄河二级支流、湟水河一级支流, 地处祁连山地与黄土高原的过渡地带。介于 100°51′~101°56′E、36°43′~37°23′N 之间, 海拔 2 280~4 622 m。位于祁(连山)、吕(梁山)、贺(兰山)“山”字形构造体系前弧西翼, 属于祁连山褶皱带之中南部“多”字型盆地之一。流域面积(大通县境内) 3 090 km²。因海拔、气候、植被、土壤和农业生产特点的不同, 流域地貌类型可分为川水区、浅山区、脑山区 3 个地区。

流域地处中纬度地区, 深居内陆, 海拔高, 受海洋影响微弱, 属大陆性气候。流域内年日照时数为 2 605 h; 年平均气温 2.8℃, 由东南部 5℃左右下降到西北角的-6℃左右; 极端最高气温为 30.9℃

* 国家重点基础研究发展计划(973 项目)“森林植被调控区域农业水土资源与环境的尺度辨析与转换”课题(2002CB111503)和“十五”国家科技攻关计划项目“退耕还林还草工程区水土保持型植被建设技术研究与示范”(2001BA510B01)资助

作者简介: 胡建忠(1962~), 男, 甘肃天水人, 农学博士, 理学博士后, 高级工程师。主要研究方向为林业生态工程。E-mail: jianzhonghu@sohu.com

收稿日期: 2003-12-17; 收到修改稿日期: 2004-04-12

(1972 年 08 月 10 日), 极端最低气温为 -33.1°C (1975 年 12 月 14 日); 年内无霜期 70~120 d 左右; 年平均降水量 508 mm, 从东南部后子河的 450 mm 增加到西北部大坂山脊偏南一带的 800 mm 以上; 年平均蒸发量为 1 290 mm; 年湿润指数变化范围为 0.56~1.32; 全年主导风向为东南风, 其频率为 24%, 年平均大风日数为 14 d。主要土类包括高山石质土、高山草甸土、山地棕褐土、黑钙土、栗钙土、潮砂土、垫淤土、沼泽土等。

流域森林植被属寒温性常绿针叶林类型及落叶阔叶林类型, 其分布状况不但有明显的坡向性, 而且还有明显的垂直地带性, 其垂直分布从下而上大致分为 5 个带: 河川谷地落叶阔叶林植被带、山地针阔叶林植被带、山地常绿针叶林植被带、亚高山灌木林植被带、高山灌丛植被带。组成天然次生林的主要树种有青海云杉 (*Picea crassifolia*)、白桦 (*Betula platyphylla*)、山杨 (*Populus davidiana*) 等, 人工林主要

造林树种有华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii*)、青杨 (*Populus cathayana*)、柠条 (*Caragana korshinskii*)、中国沙棘 (*Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis*) 等。

2 材料与方法

2.1 供试材料

用于抗蚀性研究的地类包括退耕还林还草(药)地、天然次生林地、天然灌丛地、弃耕地、农耕地等, 其上分布着北川河流域的主要天然、人工植物群落类型。土样剖面一般宽 1.5 m, 深 1 m 左右, 根据土壤发育情况按照上(0~20 cm, 0~30 cm)、中(20~60 cm, 30~60 cm)、下(60~90 cm, 60~100 cm)的不同层次, 用团粒盒($\Phi 10$ cm)选取物理性质测定样品, 用土袋取化学性质分析样品。本次试验中共对主要植物群落取样 216 个进行了土壤理化性质测定(表 1), 其中以表层(0~20 cm)取样居多。

表 1 用于抗蚀性分析的主要植物群落基本情况

Table 1 Information about the main plant communities for analysis of anti-erodibility

聚类编号 Cluster No.	标准地编号 Quadrangle No.	立地环境与土壤 Site condition and soil type	地类 Landuse type	主要植物 Dominant plant
1	QH030719001	低位脑山阳坡黑钙土	2001 年退耕还药地	川赤芍
2	QH030719002	低位脑山阳坡黑钙土	1988 年退耕还林地	华北落叶松
3	QH030720001	低位脑山阳坡黑钙土	2001 年退耕还草地	紫花苜蓿
4	QH030722001	低位脑山阴缓斜坡黑钙土	1995 年退耕还林地	青海云杉
5	QH030723001	低位脑山阴陡坡山地棕褐土	天然次生林地(50 a)	白桦
6	QH030723002	低位脑山阴缓斜坡黑钙土	1987 年退耕还林地	华北落叶松
7	QH030724001	低位脑山阳坡高山草甸土	1995 年弃耕地	杂草
8	QH030724002	低位脑山阳坡黑钙土	农耕地(1 a)	豌豆
9	QH030729001	低位脑山阳坡黑钙土	天然灌丛地(30 a)	匍匐子
10	QH030730001	中位脑山阳坡高山草甸土	高山草甸	细叶苔草- 鹅绒萎陵菜
11	QH030731001	中位脑山阴缓斜坡山地棕褐土	天然次生林地(200 a)	祁连圆柏
12	QH030802001	低位脑山阴缓斜坡山地棕褐土	天然次生林地(50 a)	青海云杉+ 白桦
13	QH030802002	低位脑山阴缓斜坡山地棕褐土	天然次生林地(50 a)	白桦+ 青海云杉
14	QH030803001	低位脑山阴缓斜坡山地棕褐土	天然次生林地(55 a)	青海云杉
15	QH030803002	低位脑山阴陡坡山地棕褐土	天然次生林地(40 a)	山杨
16	QH030804001	低位脑山阴陡坡高山草甸土	天然灌丛地(30 a)	中国沙棘
17	QH030809001	低位脑山阴缓斜坡黑钙土	1982 年退耕还林地	青海云杉
18	QH030809002	低位脑山阴缓斜坡黑钙土	1982 年退耕还林地	华北落叶松
19	QH030809003	低位脑山阴缓斜坡黑钙土	1994 年退耕还林地	中国沙棘
20	QH030810001	低位脑山阴缓斜坡黑钙土	农耕地(1 a)	小麦
21	QH030810002	低位脑山阴缓斜坡黑钙土	农耕地(1 a)	油菜

续表

聚类编号	标准地编号	立地环境与土壤	地类	主要植物
Cluster No.	Quadrangle No.	Site condition and soil type	Landuse type	Dominant plant
22	QH030811001	低位脑山阴缓斜坡黑钙土	1982 年退耕还林地	白桦+ 青海云杉
23	QH030811002	低位脑山阴缓斜坡黑钙土	1993 年退耕还林地	青杨+ 白桦+ 中国沙棘
24	QH030811003	低位脑山阴缓斜坡黑钙土	1993 年退耕还林地	青海云杉+ 中国沙棘
25	QH030812001	中位脑山阳坡黑钙土	1982 年退耕还林地	青杨+ 中国沙棘
26	QH030818002	低位脑山阳坡黑钙土	2000 年退耕还草地, 2002 年改建为林草复合类型	中国沙棘+ 紫花苜蓿
27	QH030818003	低位脑山阳坡黑钙土	2000 年退耕还草地, 2002 年改建为林草复合类型	中国沙棘+ 中国沙棘
28	QH030818004	低位脑山阴缓斜坡黑钙土	2000 年退耕还草地, 2002 年改建为林草复合类型	中国沙棘+ 紫花苜蓿
29	QH030818005	低位脑山阴缓斜坡黑钙土	2001 年退耕还林地	青海云杉+ 中国沙棘
30	QH030818006	低位脑山阴缓斜坡黑钙土	2001 年退耕还林地(人工促进自然恢复类型)	白桦+ 中国沙棘
31	QH030819001	低位浅山阳陡坡栗钙土	荒山人工林地(6 a)	柠条
32	QH030819002	低位脑山阴缓斜坡高山草甸土	2002 年退耕还林地	中国沙棘
33	QH030819003	低位脑山阳坡高山草甸土	2003 年退耕还林地	青海云杉
34	QH030819004	低位脑山阳坡高山草甸土	2004 年退耕还林地	中国沙棘
35	QH030820001	中位浅山阴缓斜坡栗钙土	2001 年退耕还林地	祁连圆柏+ 枸杞
36	QH030820005	中位浅山阴缓斜坡栗钙土	2001 年退耕还林地	祁连圆柏+ 鲁梅克斯
37	QH030820007	中位浅山阴缓斜坡栗钙土	2001 年退耕还林地	青海云杉
38	QH030820008	中位浅山阴缓斜坡栗钙土	2001 年退耕还林地	华北落叶松

2.2 试验方法

2.2.1 土壤机械组成、微团聚体 吸管法^[5]。

2.2.2 土壤团粒结构 土壤团粒分析法。

2.2.3 土壤有机质 重铬酸钾氧化法^[6]。

2.2.4 抗蚀性指标计算方法 衡量土壤抗蚀性的指标^[7-9]很多, 归纳起来主要有 4 大类 12 个指标, 见表 2。

表 2 常用土壤抗蚀性衡量指标

Table 2 Normal factors for measuring soil anti-erodibility

无机粘粒类	微团聚体类	水稳性团粒类	有机胶体类
Inorganic clay type	Micro-aggregate type	Water-stable aggregate type	Organic colloid type
< 0.05 mm 粉黏粒含量(X_1) ^①	团聚状况(X_5) ^⑤	> 0.25 mm 水稳性团粒含量(X_9) ^⑨	有机质(X_{12}) ^⑫
< 0.01 mm 物理性黏粒含量(X_2) ^②	团聚度(X_6) ^⑥	> 0.5 mm 水稳性团粒含量(X_{10}) ^⑩	
< 0.001 mm 胶粒(细黏粒)含量(X_3) ^③	分散率(X_7) ^⑦	平均重量直径(X_{11}) ^⑪	
结构性颗粒指数(X_4) ^④	分散系数(X_8) ^⑧		

Note: ① X_1 stands for contents of silty clay less than 0.05 mm in diameter; ② X_2 for contents of physical clay less than 0.01 mm in diameter; ③ X_3 for contents of tiny clay less than 0.001 mm in diameter; ④ X_4 for structural granular index; ⑤ X_5 for aggregation status; ⑥ X_6 for aggregation degree; ⑦ X_7 for dispersion rate; ⑧ X_8 for dispersion coefficient; ⑨ X_9 for contents of water-stable aggregates more than 0.25 mm in diameter; ⑩ X_{10} for contents of water-stable aggregates more than 0.5 mm in diameter; ⑪ X_{11} for mean weight diameter; ⑫ X_{12} for organic matter

表 2 中: 平均重量直径指各粒级水稳性团粒直径以其重量百分比为权数而求得平均值(mm)

结构性颗粒指数= 细黏粒含量(< 0.001 mm) / 粉粒含量(0.001~ 0.05 mm)

团聚状况= (> 0.05 mm 微团聚体分析值) - (> 0.05 mm 机械组成分析值)

团聚度= 团聚状况 / (> 0.05 mm 微团聚体分析值)

分散率 = (< 0.05 mm 微团聚体分析值) / (< 0.05 mm 机械组成分析值)

分散系数 = (< 0.001 mm 微团聚体分析值) / (< 0.001 mm 机械组成分析值)

3 结果与分析

土壤抗蚀性(Anti-erodibility)指土壤抵抗水的分散和悬浮的能力。土壤抗蚀性的强弱与土壤内在的物理和化学性质密切相关,包括土壤的颗粒组成、团聚体的稳定性、有机质、渗透率、紧实度、粘土矿物的性质及化学成分等^[10-12]。土壤中有机和无机胶体含量愈多,土壤抗蚀性愈强。土壤抗蚀性与反映土壤抵抗地表径流的机械破坏和推移能力的抗冲性^[13]有所区别。抗蚀性大小主要取决于土壤对水的亲和力以及土粒间的胶结力。胶结力小、与水亲和力大的土壤容易被水分散和悬浮,土壤结构体易遭破坏并解体,形成细小颗粒堵塞土壤孔隙,降低渗透速度,引起地表泥泞,为径流汇集、冲击分散土粒发生侵蚀而创造了条件。抗蚀性是土壤侵蚀研究的重要内容之一。

3.1 植物群落土壤抗蚀性衡量指标的主成分分析

用于衡量土壤抗蚀性的指标体系尽管比较全面,但却繁冗复杂,应用起来很不方便,而且有些指标间信息重叠,相互间具有一定的关联性。因此,可以考虑用主成分分析法,以较少的新指标来代替原有指标,并尽可能保存原有多指标的信息,以确定植物群落土壤的抗蚀性最佳评价指标^[14]。本文以北川河流域主要植物群落表层土壤测定结果为分析对象,对 12 个抗蚀性指标进行主成分分析,详细测定结果略去,其统计参数见表 3。

表 3 植物群落土壤抗蚀性评价的主要描述变量

Table 3 Main variables for evaluation of anti-erodibility of plant community

抗蚀性评价指标 Index of anti-erodibility	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	样本数 Amount of sampling
X_1 (g kg ⁻¹)	804	80.5	38
X_2 (g kg ⁻¹)	417	91.9	38
X_3 (g kg ⁻¹)	147	52.7	38
X_4	0.23	0.09	38
X_5	0.20	0.12	38
X_6	0.49	0.20	38
X_7	0.75	0.15	38
X_8	0.15	0.12	38
X_9 (g kg ⁻¹)	807	60.3	38
X_{10} (g kg ⁻¹)	744	81.8	38
X_{11} (mm)	0.29	0.1	38
X_{12} (g kg ⁻¹)	55	42.6	38

注:“平均值”等三栏为 38 个样品表土层测定结果的平均值

Note: All the data indicating the averages of eigenvalues of top soil layer of 38 samplings

植物群落土壤抗蚀性分析的总方差分析结果见表 4。表中“原始相关矩阵特征值”包括 12 个主成分,其值用于确定哪些主成分应该保留,其中又包括 3 项:一是各成分总的特征值;二是各成分所解释的方差占总方差的百分比;三是自上而下各因子方差占总方差的累积百分比。可以发现,表 4 中主成分 1 与 2、2 与 3、3 与 4 之间的特征值差都比较大,后面各主成分之间相差较小;前 5 个主成分的特征值均大于 1,其中前 4 个主成分方差累积百分比占了 82.1%(旋转后),达到主成分分析的要求。后两列即为所选 4 个主成分在旋转前后的载荷值。

表 4 植物群落土壤抗蚀性分析的总方差分析结果

Table 4 Total variance analysis of anti-erodibility of plant community

主成分 Component	原始相关矩阵特征值 Initial eigenvalue			未旋转的因子载荷的平方和 Extraction sums of squared loadings			旋转后的因子载荷平方和 Rotation sums of squared loadings		
	全部 Total	占比例 Ratio of variance(%)	累计比例 Cumulative ratio(%)	全部 Total	占比例 Ratio of variance(%)	累计比例 Cumulative ratio(%)	全部 Total	占比例 Ratio of variance(%)	累计比例 Cumulative ratio(%)
	1	5.208	43.40	43.40	5.208	43.40	43.40	2.951	24.59
2	2.415	20.13	63.53	2.415	20.13	63.53	2.523	21.03	45.62
3	1.562	13.02	76.55	1.562	13.02	76.55	2.421	20.18	65.80
4	1.087	9.06	85.61	1.087	9.06	85.61	1.960	16.34	82.13

续表

主成分 Component	原始相关矩阵特征值 Initial eigenvalue			未旋转的因子载荷的平方和 Extraction sums of squared loadings			旋转后的因子载荷平方和 Rotation sums of squared loadings		
	全部 Total	占比例 Ratio of variance(%)	累计比例 Cumulative ratio(%)	全部 Total	占比例 Ratio of variance(%)	累计比例 Cumulative ratio(%)	全部 Total	占比例 Ratio of variance(%)	累计比例 Cumulative ratio(%)
	5	1.026	8.55	94.16	1.026	8.55	94.16	1.443	12.03
6	0.448	3.74	97.90						
7	0.092	0.77	98.66						
8	0.072	0.60	99.26						
9	0.048	0.40	99.66						
10	0.038	0.32	99.97						
11	0.002	0.02	99.99						
12	0.001	0.01	100						

未经旋转的主成分矩阵见表 5。经过主成分分析后, 12 个指标可以用 4 个主成分来代表, 并在 4 个主成分中分别有了各自新的数值(或分量), 其中

数值较大的几个指标为组成主成分的重要部分, 往往也以其进行主成分命名。

表 5 植物群落土壤抗蚀性分析中未旋转的主成分矩阵

Table 5 Unrotated component matrix of anti-erodibility analysis of plant community

抗蚀性指标 Index of anti-erodibility	主成分 1 Component 1	主成分 2 Component 2	主成分 3 Component 3	主成分 4 Component 4
X_{11}	- 0.828	- 0.358	0.198	- 0.209
X_6	0.826	- 0.253	- 0.369	- 0.111
X_2	0.812	0.283	- 0.259	0.295
X_1	0.759	0.314	- 0.282	0.136
X_3	0.709	0.542	0.216	- 0.346
X_8	- 0.617	- 0.060	- 0.398	0.192
X_4	0.617	0.504	0.329	- 0.409
X_7	- 0.495	0.750	0.236	0.314
X_5	0.583	- 0.697	- 0.285	- 0.279
X_9	0.538	- 0.554	0.541	0.189
X_{10}	0.452	- 0.355	0.702	0.260
X_{12}	0.512	- 0.102	- 0.067	0.568

根据表 5 可以得到 4 个主成分表达式(C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 分别代表前 4 个主成分):

$$C_1 = - 0.828X_{11} + 0.826X_6 + 0.812X_2 + 0.759X_1 + 0.709X_3 - 0.617X_8 + 0.617X_4 - 0.495X_7 + 0.583X_5 + 0.538X_9 + 0.452X_{10} + 0.512X_{12}$$

$$C_2 = - 0.358X_{11} - 0.253X_6 + 0.283X_2 +$$

$$0.314X_1 + 0.542X_3 - 0.060X_8 + 0.504X_4 + 0.750X_7 - 0.697X_5 - 0.554X_9 - 0.355X_{10} - 0.102X_{12}$$

$$C_3 = 0.198X_{11} - 0.369X_6 - 0.259X_2 - 0.282X_1 + 0.216X_3 - 0.398X_8 + 0.329X_4 + 0.236X_7 - 0.285X_5 + 0.541X_9 + 0.702X_{10} - 0.067X_{12}$$

$$C_4 = - 0.209X_{11} - 0.111X_6 + 0.295X_2 +$$

$$0.136X_1 - 0.346X_3 + 0.192X_8 - 0.409X_4 + 0.314X_7 - 0.279X_5 + 0.189X_9 + 0.260X_{10} + 0.568X_{12}$$

将各原始数据直接代入上述 4 个方程式, 可以得到每一植物群落样土壤抗蚀性的 4 个主成分值。

由于表 5 中各主成分之间的系数还没能拉开, 因此可以通过 SPSS 软件中最大方差法(Varimax 方法)进行旋转, 并经过 6 次迭代, 使各系数向 0 和 1 两级分化^[15]。旋转后的主成分矩阵见表 6。

表 6 植物群落抗蚀性分析旋转后的主成分矩阵

Table 6 Rotated component matrix of anti-erodibility analysis of plant community

抗蚀性指标 Index of anti-erodibility	主成分 1 Component 1	主成分 2 Component 2	主成分 3 Component 3	主成分 4 Component 4
X_1	0.950	0.077	0.188	0.077
X_{11}	-0.895	-0.038	-0.298	-0.102
X_6	0.698	0.666	0.112	0.146
X_2	0.668	0.127	0.330	-0.038
X_7	-0.0003	-0.977	-0.026	-0.149
X_5	0.137	0.969	0.033	0.151
X_4	0.236	-0.025	0.941	0.031
X_3	0.450	-0.022	0.871	0.033
X_8	-0.025	-0.195	-0.708	-0.282
X_{10}	0.087	0.047	0.131	0.970
X_9	0.081	0.321	0.081	0.915
X_{12}	0.140	0.143	0.067	0.132

可以看出, 经过旋转后各主成分的分量已经明显地向两极分化了, 因此可以更加方便地对主成分内涵进行分析。第一主成分中 < 0.05 mm 粉黏粒含量、平均重量直径最高, 其中平均重量直径为负值, 说明颗粒分析值越大, 抗蚀性越差, 因此与粉黏粒含量为同一趋势, 基本上为无机黏粒类因子。第二主成分中分散率、团聚状况的值最高, 分散率为负, 团聚状况为正, 两指标本身为相反的含义, 因此总体趋势相同, 为团聚类因子。第三主成分中结构性颗粒指数、< 0.001 mm 胶粒含量最高, 两指标均反映对土粒起胶结作用的胶粒含量, 为无机胶粒类因子。第四主成分中 > 0.5 mm 水稳性团粒含量、> 0.25 mm 水稳性团粒含量值最高, 为水稳性团粒类因子。

3.2 不同植物群落土壤抗蚀性的等级聚类分析

通过对主要抗蚀性观测变量进行主成分变换后, 各主成分间已消除了重叠信息, 可以用其更好地进行有关分析。以各植物群落类型的前 4 个主成分为聚类变量, 用等级聚类法中的 Average Linkage (Within Groups) 进行聚类分析。试验区 38 块植物群落样地表土层土壤抗蚀性聚类结果见表 7。

从表 7 中可以看出, 抗蚀性按照不同要求, 以不同的相似系数(或相异系数)截取, 可以得到不同分

类的结果, 来说明不同的目的。为了将抗蚀性按“好、中、差”叙述, 本文按照 3 类分类并讨论:

第一类: 抗蚀性最好, 包括标准地编号 9, 10, 12, 15, 16, 32 的 6 个植物群落。植物群落以天然林为主, 其中有 2 个天然次生林, 2 个天然灌丛, 1 个高山草甸及 1 块新退耕还林地。抗蚀性主要体现在高的团聚度(平均 0.630)、团聚状况(平均 0.392)、> 0.25 mm 水稳性团粒含量(平均 828 g kg⁻¹)、> 0.5 mm 水稳性团粒含量(平均 736 g kg⁻¹)和有机质(平均 62 g kg⁻¹), < 0.001 mm 胶粒含量居中(156 g kg⁻¹)。

第二类: 抗蚀性居中, 包括标准地编号 1, 2, 4, 5, 7, 11, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 34 的 21 个植物群落。植物群落类型虽然比较复杂, 但以退耕时间较长的林地为主。其中包括 3 块天然次生林地, 8 块退耕时间较长的林地, 6 块新退耕还林地, 1 块新退耕还草地, 1 块弃耕地和 2 块农地(小麦、油菜)。抗蚀性主要体现在适中的团聚度(平均 0.543)、团聚状况(平均 0.176)、> 0.25 mm 水稳性团粒含量(平均 815 g kg⁻¹)、> 0.5 mm 水稳性团粒含量(平均 762 g kg⁻¹)和有机质(56 g kg⁻¹), < 0.001 mm 胶粒含量最高(178 g kg⁻¹)。

表 7 主要植物群落表土层抗蚀性聚类的凝聚过程表

Table 7 Agglomeration process of anti-erodibility clusters in the top soil layer of the main plant communities

聚类 步骤 Stage	被合并的两类中的观测量号		不相似性系数 Non-similar coefficients	合并的两项第一次出现的聚类序号		此步合并结果在下一步 中合并时的步序号 Next stage
	Cluster combined			Stage cluster at first appearance		
	类 1 Cluster 1	类 2 Cluster 2		类 1 Cluster 1	类 2 Cluster 2	
1	26	30	0.136	0	0	7
2	19	22	0.257	0	0	6
3	3	36	0.379	0	0	12
4	10	16	0.425	0	0	25
5	35	37	0.499	0	0	16
6	19	27	0.521	2	0	9
7	2	26	0.544	0	1	18
8	4	14	0.555	0	0	13
9	19	24	0.645	6	0	15
10	12	15	0.667	0	0	30
11	5	29	0.848	0	0	14
12	3	31	0.862	3	0	17
13	4	23	0.898	8	0	21
14	1	5	0.973	0	11	23
15	19	34	1.038	9	0	20
16	25	35	1.103	0	5	29
17	3	8	1.153	12	0	19
18	2	21	1.186	7	0	26
19	3	38	1.338	17	0	24
20	19	28	1.399	15	0	23
21	4	7	1.426	13	0	28
22	6	13	1.799	0	0	33
23	1	19	1.799	14	20	28
24	3	33	1.858	19	0	29
25	10	32	2.194	4	0	30
26	2	20	2.325	18	0	32
27	11	18	2.455	0	0	34
28	1	4	2.919	23	21	31
29	3	25	3.131	24	16	33
30	10	12	3.166	25	10	35
31	1	17	3.808	28	0	32
32	1	2	4.577	31	26	34
33	3	6	4.750	29	22	36
34	1	11	5.572	32	27	36
35	9	10	5.911	0	30	37
36	1	3	7.080	34	33	37
37	1	9	8.000	36	35	0

第三类: 抗蚀性较差, 包括标准地编号 3, 6, 8, 13, 25, 31, 33, 35, 36, 37, 38 的 11 个植物群落。植物群落以新退耕还林地为主, 包括有 5 块新退耕还林地, 1 块新退耕还草地, 1 块农作物地(豌豆), 2 块退耕时间较长的人工林地, 1 块浅山区荒山人工灌木

林地及 1 块天然林地。抗蚀性主要体现在高的分散系数(平均 0.244), 和低的团聚度(平均 0.323)、团聚状况(平均 0.153)、> 0.25 mm 水稳性团粒含量(平均 782 g kg⁻¹)、> 0.5 mm 水稳性团粒含量(平均 714 g kg⁻¹)、有机质(40 g kg⁻¹)及 < 0.001 mm 胶粒

含量 (83 g kg^{-1})。

从聚类结果来分析,发现抗蚀性有从退耕时间较短的人工林地、退耕时间较长的人工林地向天然林地逐渐增强的趋势。农作物地由于每年有农业耕作措施,因此,抗蚀性在人为培肥作用下,相对于荒山及条件较差的新退耕地来说并不是最差,在二类(中)、三类(差)两类中均有。当然,由于地质、土壤、耕作情况等较为复杂,有些聚类结果直接从土地种

类上来分析还嫌不够,尚需继续进行深入研究。

3.3 退耕还林还草地、农耕地与天然林地土壤抗蚀性的对比

为了更加深入地了解退耕地抗蚀性的变化情况,本文分别选取了北川河流域两种主要立地条件类型——低位脑山阳坡立地类型、低位脑山阴缓斜坡立地类型下的植物群落,对其抗蚀性进行对比分析。结果见表 8 和表 9。

表 8 低位脑山阳坡立地类型表土层不同地类土壤主要抗蚀性指标对比

Table 8 Comparison between different top soil layers in situ at sunny slope of the lower part of high mountains in major anti-erodibility indexes

对比指标 Index for comparison	QH030729001	QH030719002	QH030818002	QH030724002
地类 Land type	天然灌丛地(30a)	1988年退耕还林地	2000年林草复合类型	农耕地(1a)
主要植物 Dominant plants	匍匐子	华北落叶松	中国沙棘+紫花苜蓿	豌豆
$X_1(\text{g kg}^{-1})$	858	872	857	735
$X_2(\text{g kg}^{-1})$	449	453	504	305
$X_3(\text{g kg}^{-1})$	87	189	172	97
X_4	0.11	0.28	0.25	0.15
X_5	0.51	0.26	0.22	0.14
X_6	0.78	0.67	0.60	0.34
X_7	0.41	0.70	0.75	0.81
X_8	0.16	0.25	0.08	0.16
$X_9(\text{g kg}^{-1})$	785	824	783	779
$X_{10}(\text{g kg}^{-1})$	576	772	712	656
$X_{11}(\text{mm})$	0.026	0.022	0.022	0.036
$X_{12}(\text{g kg}^{-1})$	62	81	35	26
阳离子代换量 CEC(mol kg^{-1})	37	31	23	19

表 9 低位脑山阴缓斜坡立地类型表土层不同地类土壤主要抗蚀性指标对比

Table 9 Comparison between different top soil layers in situ at shady gentle slope of the lower part of high mountains in of major anti-erodibility indexes

对比指标 Index for comparison	QH030802001	QH030803002	QH030809002	QH030722001	QH030809003
地类 Land type	天然次生林地(50 a)	天然次生林地(40 a)	1982年退耕还林地	1995年退耕还林地	1994年退耕还林地
主要植物 Dominant plants	青海云杉+白桦	山杨	华北落叶松	青海云杉	中国沙棘
$X_1(\text{g kg}^{-1})$	801	766	978	891	801
$X_2(\text{g kg}^{-1})$	463	470	537	402	463
$X_3(\text{g kg}^{-1})$	171	153	166	188	171
X_4	0.27	0.25	0.20	0.27	0.27
X_5	0.51	0.49	0.29	0.26	0.51
X_6	0.72	0.68	0.93	0.70	0.72
X_7	0.36	0.36	0.71	0.71	0.36
X_8	0.05	0.05	0.18	0.06	0.05
$X_9(\text{g kg}^{-1})$	892	827	863	881	892
$X_{10}(\text{g kg}^{-1})$	821	777	819	850	821
$X_{11}(\text{mm})$	0.027	0.031	0.014	0.021	0.028
$X_{12}(\text{g kg}^{-1})$	75	86	33	50	31
阳离子代换量 CEC(mol kg^{-1})	37.5	39.5	27.0	28.0	25.5

从表 8 的分析结果来看,在豌豆-中国沙棘-

紫花苜蓿-华北落叶松-匍匐子这一序列中,从

团聚状况、团聚度、分散率来看,农地的抗蚀性最差,然后抗蚀性从退耕时间较短的中国沙棘+紫花苜蓿、退耕时间较长的华北落叶松、天然灌丛逐渐增强;有机质也基本上有这一趋势,不过华北落叶松的含量高于匍匐子。反应土壤供肥蓄肥能力的阳离子代换量的趋势也完全相同。

从表9中也可以看出,反映抗蚀性的12个指标,也基本上以林龄最长的青海云杉+白桦天然林最好,其次为山杨天然林、退耕时间较早的华北落叶松人工林,退耕较晚的青海云杉、中国沙棘人工林相对较差。阳离子代换量的测定结果也基本一致。同时也发现,退耕时间较早的华北落叶松人工林的主要抗蚀性指标,已十分接近当地主要天然次生林。

4 结论

抗蚀性研究虽然是一个理论问题,但又是一个工程实施中迫切需要了解的实际问题。国家退耕还林还草科技试验县——大通县北川河流域的抗蚀性试验研究结果,为退耕还林还草工程的水土保持功能提出了新的佐证。研究结果表明:

1) 用于衡量土壤抗蚀性的12个指标,经过主成分变换后,能够反映特征值大部分信息(85.6%)的主成分包括4类。第一主成分为无机黏粒类因子,< 0.05 mm 粉黏粒含量、平均重量直径最高;第二主成分为团聚类因子,分散率、团聚状况的值最高;第三主成分为无机胶粒类因子,结构性颗粒指数、< 0.001 mm 胶粒含量最高;第四主成分为水稳性团粒类因子,> 0.5 mm 水稳性团粒含量、> 0.25 mm 水稳性团粒含量值最高。

2) 土壤抗蚀性层次聚类为3大类,其中抗蚀性最好的一类以天然林为主,主要体现在高的团聚度(平均0.630)、团聚状况(平均0.392)、> 0.25 mm 水稳性团粒含量(平均828 g kg⁻¹)、> 0.5 mm 水稳性团粒含量(平均736 g kg⁻¹)和有机质(平均62 g kg⁻¹),< 0.001 mm 胶粒含量居中(156 g kg⁻¹);抗蚀性居中的一类以退耕时间较长的人工林地为主,主要体现在适中的团聚度(平均0.543)、团聚状况(平均0.176)、> 0.25 mm 水稳性团粒含量(平均815 g kg⁻¹)、> 0.5 mm 水稳性团粒含量(平均762 g kg⁻¹)和有机质(56 g kg⁻¹),< 0.001 mm 胶粒含量最高(178 g kg⁻¹);抗蚀性较差的一类以新退耕还林地为主,主要体现在高的分散系数(平均0.244),和低的团聚度(平均0.323)、团聚状况(平均0.153)、

> 0.25 mm 水稳性团粒含量(平均782 g kg⁻¹)、> 0.5 mm 水稳性团粒含量(平均714 g kg⁻¹)、有机质(40 g kg⁻¹)及< 0.001 mm 胶粒含量(83 g kg⁻¹)。

3) 天然次生林是一个地区多年来经过自然选择保留下的最佳植被类型,它具有最优的结构和最好的功能。随着退耕时间的延伸,退耕地人工林的抗蚀性较农耕地不断提高,而与当地天然次生林的抗蚀性愈来愈接近。因此,从土壤抗蚀性这一重要指标来看,以仿自然林为手段的退耕地人工林的营造是成功的,其抗蚀性能可与当地天然次生林媲美。

参考文献

- [1] 曲格平. 保护水土资源,改善生态环境,造福子孙后代. 中国水土保持, 1996, (8): 4~5. Qu G P. Protecting resources of soil and water to improving environment and benefiting the offspring (In Chinese). Soil and Water Conservation in China, 1996, (8): 4~5
- [2] 朱波,陈实,游祥,等. 紫色土退化旱地的肥力恢复与重建. 土壤学报, 2002, 39(5): 743~749. Zhu B, Chen S, You X, et al. Soil fertility restoration on degraded upland of purple soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(5): 743~749
- [3] 程积民,万惠娥,王静. 黄土丘陵区山桃灌木林地土壤水分过耗与调控恢复. 土壤学报, 2003, 40(5): 691~696. Cheng J M, Wan H E, Wang J. Excessive depletion of soil water and regulation and restoration of soil water regime in loess hilly region under *Prunus dividiana* vegetation (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(5): 691~696
- [4] Tian G M, Wang F E, Chen Y X, et al. Effect of different vegetation systems on soil erosion and soil nutrients in red soil region of southeastern China. Pedosphere, 2003, 13(2): 121~128
- [5] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤物理性质测定法. 北京: 科学出版社, 1978. 34~88. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Method for Measuring Physical Properties of soil (In Chinese). Beijing: Science Press, 1978. 34~88
- [6] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1980. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Analysis of Physical and Chemical Properties of Soil (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1980
- [7] 王佑民. 黄土高原土壤抗蚀性的研究. 水土保持学报, 1994, 8(4): 11~16. Wang Y M. Study on anti-erodibility in the Loess Plateau (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 1994, 8(4): 11~16
- [8] 高维森,王幼民. 土壤抗蚀抗冲性研究综述. 水土保持通报, 1992, 12(5): 59~63. Gao W S, Wang Y M. Summarizing on research for anti-erodibility on the Loess Plateau (In Chinese). Bulletin of Soil and Water Conservation, 1992, 12(5): 59~63
- [9] 丁文峰,李占斌. 土壤抗蚀性的研究动态. 水土保持科技情报, 2001, (1): 36~39. Ding W F, Li Z B. Development on research for anti-erodibility (In Chinese). Scientific Information for Soil and Water Conservation, 2001, (1): 36~39

- [10] 田积莹. 子午岭连家砭地区土壤物理性质与土壤抗蚀指标的初步研究. 土壤学报, 1964, 12(3): 21~ 38. Tian J Y. Primary study on soil physical properties and anti-erodibility index in Lianjiabian areas of Ziwulin Mountain(In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1964, 12(3): 21~ 38
- [11] 方学敏, 万兆惠, 徐永年. 土壤抗蚀性研究现状综述. 泥沙研究, 1997, (2): 87~ 91. Fang XM, Wan ZH, Xu Y N. Summarizing on anti-erodibility research (In Chinese). Journal of Sediment Research, 1997, (2): 87~ 91
- [12] Wu W D, Zheng S Z, Lu Z H, *et al.* Effect of plant roots on penetrability and anti-scourability of red soil derived from granite. Pedosphere. 2000, 10(2): 183~ 188
- [13] 朱显谟. 强化黄土高原土壤渗透及抗冲性的研究. 水土保持学报, 1993, 7(3): 1~ 10. Zhu X M. Study on improving soil infiltration and anti-scourability on the Loess Plateau (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 1993, 7(3): 1~ 10
- [14] 胡建忠, 范小玲, 王愿昌, 等. 黄土高原沙棘人工林地土壤抗蚀性指标探讨. 水土保持通报, 1998, 18(2): 25~ 30. Hu J Z, Fan X L, Wang Y C, *et al.* Discussion on index of soil anti-erodibility of artificial seabuckhorn forest on the Loess Plateau (In Chinese). Bulletin of Soil and Water Conservation, 1998, 18(2): 25~ 30
- [15] 卢纹岱.SPSS for Windows 统计分析. 北京: 电子工业出版社, 2000. 409~ 424. Lu W D. Statistical Analysis of SPSS for Windows (In Chinese). Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2000. 409~ 424

EFFECT OF PLANT COMMUNITY ON ANTI-ERODIBILITY OF LAND UNDER REHABILITATION IN BEICHUANHE BASIN

Hu Jianzhong Zhang Weihua Li Wenzhong Zheng Jiali Zhang Chunxia

(College of Soil and Water Conservation, Beijing For. Univer., Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of the Ministry of Education, Beijing 100083, China)

Abstract Anti-erodibility refers to soil's ability to resist the dispersion and suspension caused by runoff. The study on anti-erodibility in the Beichuanhe Basin of Datong County, a national experimental site for conversion from cropland into forest land and grassland, shows that all the 12 anti-erodibility indexes can be divided into 4 categories, i. e. inorganic clay, aggregate, inorganic colloid and water-stable aggregate, capable of reflecting 85.6% of the information of the eigenvalues, by means of PCA. All the plant communities in the Beichuanhe Basin can be clustered into three kinds based on the four categories with the Hierarchical Cluster Method. The first kind with good anti-erodibility mainly includes native forests, and the second kind with medium anti-erodibility is composed of artificial forests on rehabilitated lands of the early days, whereas the third with poor anti-erodibility is made up of newly established artificial forests in rehabilitated lands. The anti-erodibility of artificial forests is getting stronger and stronger as the forest ages, approaching that of native forests. It is successful to reforest steep croplands in a natural way, and such artificial forests can play a good role in soil and water conservation based on anti-erodibility and other related eco-functions.

Key words Soil anti-erodibility; PCA; Rehabilitated land; Native forest land; Cropland; Beichuanhe Basin