山西省土石山区典型防护林土壤抗蚀性研究

张东旭[1,2]，程金花[1,2]，张友焱[3]，
张洪江[1,2]，周泽福[3]，孙艳红[4]，王月东[5]，刘 宇[1,2]
(1.水土保持与荒漠化防治教育部重点试验室，北京 100083；2.北京林业大学
水土保持学院，北京 100083；3.中国林业科学研究院 荒漠化研究所，北京 100091；
4.延庆县水土保持工作站，北京 102200；5.山西省吕梁山国有林管理局 车鸣峪林场，山西 中阳 033403)

摘 要：选择山西省中阳县车鸣峪林场 4 种典型防护林为研究对象，通过静水崩解试验测定土壤抗蚀指数并对其与土壤基本理化性质的关系进行了研究。结果表明，不同防护林土壤抗蚀性能存在明显差异，土壤抗蚀指数表现为：落叶松白桦混交林＞白桦纯林＞落叶松纯林＞辽东栎纯林。土壤抗蚀指数随土层深度的增加而减小，表现为 0—20 cm 土层抗蚀指数是 20—40 cm 土层的 2～5 倍。土壤抗蚀指数随浸水时间的增加而减小，呈三次多项式函数关系。土壤抗蚀性指数与容重、粒径＞0.25 mm 土壤水稳性团聚体、有机质含量和全氮含量呈显著正相关关系，与其基本理化性质存在一定的线性关系。

关键词：土石山区；防护林；土壤抗蚀性；山西省
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2013)06-0024-04 **中图分类号**：157.1

Soil Anti-erosion Ability in Typical Shelterbelt in Mountainous and Stony Area of Shanxi Province

ZHANG Dong-xu[1,2], CHENG Jin-hua[1,2], ZHANG You-yan[3],
ZHANG Hong-jiang[1,2], ZHOU Ze-fu[3], SUN Yan-hong[4], WANG Yue-dong[5], LIU Yu[1,2]
(1. *Key Laboratory of Soil & Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing* 100083, *China*; 2. *School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing* 100083, *China*; 3. *Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry Sciences, Beijing* 100091, *China*; 4. *Yanqing Station of Soil and Water Conservation, Beijing* 102200, *China*; 5. *Lüliangshan State Forest Administration, Zhongyang, Shanxi* 033403, *China*)

Abstract: Taking 4 typical shelterbelts in Chemingyu Forestry Station, Zhongyang County, Shanxi Province as studying subjects, the article discussed the relationship between soil anti-erosion ability and soil physical and chemical characteristics through measuring the soil anti-erosion index by the experiments of static soil collapse. The results indicated that: the soil anti-erosion ability varied apparently with the types of shelterbelt, among which the order of soil anti-erosion indices is as follows: combines foresty of *Larix* spp. and *Betula platyphylla* Suk. ＞*Betula platyphylla* Suk. ＞*Larix* spp＞*Quercus liaotungensis* Koidz.; Anti-erosion ability decreases with the increase of soil depth and time of water soaking. Soil anti-erosion indices in upper 20 centimeters are 2～5 times as these under 20 centimeters and present a cubic polynomial relation with time of soaking. The amount of soil bulk density, water-stable aggregate(＞0.25 mm), organic matter and total nitrogen is of significantly relations with anti erosion-index and some kind of lineal relation with its physical and chemical characteristics.

Keywords: mountainous and stony area; shelterbelt; soil anti-erosion ability; Shanxi Province

20 世纪 60 年代，朱显谟先生首先提出土壤的抗侵蚀能力，并将其分为抗蚀性和抗冲性[1]。土壤抗蚀性是与土壤理化性质密切相关的评定土壤抵抗侵蚀能力的重要参数之一，历来为研究者们所重视[2]。多

收稿日期：2013-01-08 **修回日期**：2013-03-26
资助项目："十二五"农村领域国家科技计划项目"晋西黄土丘陵沟壑区节水防蚀水土保持林研究与示范"(2011BAD38B0602；2011BAD31B02)；中央高校基本科研业务费专项资金项目(TD2011-2)；国家自然科学基金项目(41271300；30900866)
作者简介：张东旭(1989—)，男(汉族)，山东省济宁市人，硕士研究生，研究方向为水土保持。E-mail：zhang2333065@126.com。
通信作者：程金花(1979—)，女(汉族)，山东省聊城市人，副教授，硕士生导师，主要从事土壤侵蚀与森林水文研究。E-mail：Jinhua_cheng@126.com。

年来,国内外学者从不同角度对土壤抗蚀性进行了广泛、深入地研究,取得了较多成果。国外对土壤抗蚀性主要从从可蚀性的角度来研究,美国、前苏联、日本的研究成果集中在根据土壤性质来评价其抗蚀性[3]。国内主要从土壤抗蚀性机理,影响因素和指标体系等方面进行了研究[4]。目前,国内关于土壤抗蚀性的研究主要集中在黄土高原区、南方红壤丘陵区及川中丘陵区[5-6],对于中西部土石山区的研究甚少。虽然中阳县地处晋陕黄土高原东部,但是该县的土石山地区占全县面积的 54.5%,同时也是国家退耕还林还草及生态建设的重点区域[7]。近年来,随着国家退耕还林还草政策的实施,该县营造了大量人工防护林,对改善土壤理化性质、提高土壤的抗蚀性起到了积极作用[8-9]。迄今为止,这些防护林的生长状况、植被对林地土壤的改善作用及土壤的抗蚀性能等状况究竟如何,有必须给予一定的关注。本试验以山西中阳县车鸣峪林场 4 中典型防护林为研究对象,比较不同防护林林下土壤的抗蚀性强弱,并分析了影响土壤抗蚀性的主要因素,希望能为该区域构建防护林体系的过程中的树种选择提供依据。

1　研究区概况

研究区位于山西省中阳县车鸣峪林场新机沟管护站,其地理坐标是东经 111°13′,北纬 37°13′,平均海拔约为 1 370 m,属晋西干旱半干旱土石山地区。该区属暖温带亚干旱区大陆性季风气候,境内年平均气温 6° C 左右,≥10 ℃积温 1 900～2 900 ℃,年降水量>560 mm,多年平均蒸发量 2 008.9 mm,无霜期 80～130 d。

土壤多为薄层黄土或棕壤土。该区林草茂密,郁闭度≥0.7,林木为针阔叶混交林,乔木以油松(*Pinus tabuliformis* Carr.)、辽东栎(*Quercus wutaishanica* Mayr)、山杨(*Populus davidiana*)、白桦(*Betula platyphylla* Suk.)、落叶松属(*Larix* spp Mill)为主,灌木以沙棘(*Hippophae rhamnoides* Linn.)、荚蒾(*Prinsepia uniflora* Batal.)等为主。

2　研究方法

2.1　标准地调查

在车鸣峪林场新机沟管护站辖区内,对试验地进行全面踏勘,根据植被生长年限、林分结构和群落物种组成,选取有代表性的人工防护林林典型样地,包括人工针叶林、阔叶林和混交林(造林后基本上没有人为干扰及实施抚育管理措施),在每种防护林类型内设定 20 m×20 m 样方进行调查,调查取样和测定时间为 2012 年 7—9 月。调查结果详见表 1。

表 1　研究区不同防护林标准地的基本情况

林地种类	立地因子			林分			枯落物储量/(t·hm^{-2})		林龄/a
	海拔/m	坡向	坡度/(°)	起源	郁闭度	灌草盖度/%	未分解层	半分解层	
落叶松纯林	1 182	西北	30	人工	0.75	70	3.52	15.29	20
白桦纯林	1 184	西北	26	人工	0.75	75	6.13	12.93	18
落叶松+白桦混	1 182	西北	26	人工	0.8	80	6.06	27.46	20
辽东栎纯林	1 180	东南	25	人工	0.85	85	5.90	10.26	25

2.2　土壤理化性质测定

用随机取样法在调查的标准地内随机取 3 个点,以 20 cm 厚度为一层,分 3 层开挖土壤剖面,并采集土壤样品,带回室内分析。采用环刀法测定土壤容重,毛管孔隙度和总孔隙度;采用人工干筛法测定土壤团聚体含量;采用湿筛法测定水稳性团聚体的含量;采用比重计法测定土壤机械组成;采用稀释热—重铬酸钾容量法测定土壤有机质。采用湿烧—凯氏法测定全氮含量;采用双酸浸提—钼锑抗比色法测定速效 P;采用 NH_4OAC 浸提—火焰光度计法测定有效 K。

2.3　土壤抗蚀性的测定

在土壤剖面上采集测定土壤理化性质样品的同时,再按 0—20 cm 和 20—40 cm 分层采集土壤样品,分别装入自封袋内。风干后对样品进行筛分。将干筛后留在 3 mm 筛上的 3～5 mm 的土壤粒体数出 100 粒,进行静水崩解试验,每次 25 粒,4 次重复,取平均值。每隔 1 min 记录崩解的土粒数。连续记录 10 min,然后计算抗蚀指数 S(%),其公式为:

$$S=\frac{\text{总土粒}-\text{崩解土粒}}{\text{总土粒}}\times 100\% \qquad (1)$$

3　结果与分析

3.1　不同防护林土壤抗蚀性比较

静水崩解试验测得的抗蚀指数是反映土壤抗蚀性强弱的重要指标,不同防护林土壤不同层次的抗蚀指数详见表 2。

表 2 研究区不同防护林土壤各层次抗蚀指数的比较

林地类型	土层深度/cm	土壤抗蚀指数表述值/%			样本数
		平均值	标准差	变差系数	
落叶松纯林	0—20	87.7	8.9	10.1	40
	20—40	17.8	19.0	106.7	40
白桦纯林	0—20	94.4	5.4	5.7	40
	20—40	29.9	11.3	37.8	40
落叶松＋白桦	0—20	95.9	5.2	5.4	40
	20—40	35.9	15.9	44.3	40
辽东栎纯林	0—20	30.7	14.9	48.5	40
	20—40	15.0	16.8	112.0	40

对不同防护林的土壤抗蚀指数进行单因素方差分析，结果发现 0—20 cm 土层 $p=0.000<0.05$（F 检验），20—40 cm 土层 $p=0.000<0.05$（F 检验），这说明不同防护林的土壤抗蚀指数存在显著差异。从表 2 以看出，在 0—20 cm 土层，土壤抗蚀指数表现为落叶松白桦混交林（95.9%）＞白桦纯林（94.4%）＞落叶松纯林（87.7%）＞辽东栎纯林（30.7%）；在 20—40 cm 土层，落叶松白桦混交林（35.9%）＞白桦纯林（29.9%）＞落叶松纯林（17.8%）＞辽东栎纯林（15.0%）。这说明研究区内针阔混交林的抗蚀性最好，落叶松和白桦纯林次之，辽东栎最差。这是由于混交林的空间结构比纯林更为复杂（郁闭度 0.8 以上，灌草覆盖度 80%以上），地表枯落物含量更为丰富（尤其是分解层枯落物储量达到 27.46 t/hm^2），从而增加了土壤中的腐殖质，促使团粒结构形成，在提高土壤的抗蚀性方面优于纯林[10]。可见针叶林和混交林对土壤具有较好的改良作用。而辽东栎纯林的枯落物含量最少，所以抗蚀性最差。

4 种防护林的土壤抗蚀指数均表现为 0—20 cm 土层大于 20—40 cm 土层。由于表层有枯枝落叶，腐殖质含量较高，土壤抗蚀性较好。防护林 0—20 cm 土层的抗蚀指数是 20—40 cm 的 2～5 倍。其中落叶松纯林为 4.93 倍，白桦纯林为 3.16 倍，落叶松白桦混交林为 2.67 倍，辽东栎纯林为 2.05 倍。由此可见，枯落物可以保护表层土壤，深层土壤比表层土壤更容易侵蚀。因此，保护好枯落物和表层土壤可以有效地减少土壤侵蚀。

3.2 不同防护林土壤抗蚀指数随浸水时间的动态变化

4 种防护林不同层次土壤抗蚀指数随浸水时间的变化趋势如图 1 所示。从图 1 可以看出，随着浸水时间的增加，4 种防护林土壤抗蚀指数均降低。说明随着降雨历时的延长，地表积水变多，土壤颗粒易被分散崩解，影响雨水下渗，有利于地表径流的形成。地表径流会带走崩解的土壤颗粒从而发生土壤流失。从图 1 中还可以看出，0—20 cm 土层除了辽东栎外，其它 3 种防护林土壤抗蚀指数的变化不明显，维持在一个较高的水平，说明 3 种防护林表层土壤的抗蚀性比较好，辽东栎的抗蚀性最差，在前 4 min 变化尤为明显。20—40 cm 土层落叶松纯林和辽东栎纯林的抗蚀指数刚开始高于白桦，但在 2 min 内迅速下降，最终低于白桦。4 种防护林土壤抗蚀指数在前 6 min 内均下降较为明显，6 min 以后，随着时间的增加，土壤抗蚀指数的变化趋于缓慢。

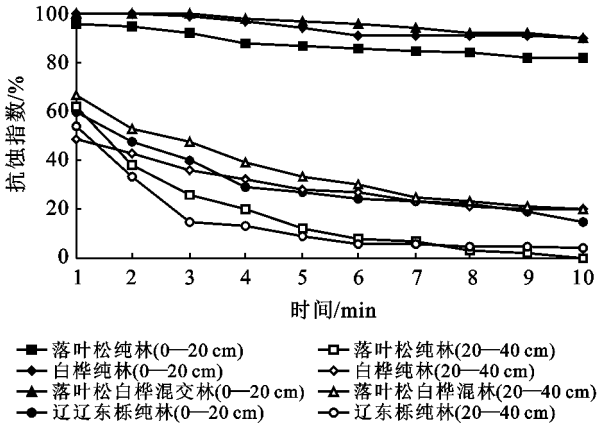


图 1 研究区 4 种防护林各层土壤抗蚀指数随时间的变化

本研究利用 SPSS 20.0 软件对不同防护林各层土壤抗蚀指数 S 随浸水时间 t 的动态变化过程进行拟合，得出三次函数的相关系数最高，和以往的研究结果相符[8]，因此采用三次多项式，其通式为：

$$S=at^3+bt^2+ct+d$$

式中：a，b，c——常数，$0<t\leqslant 10$。其抗蚀指数与时间的决定系数 R^2 均大于 0.95，4 种防护林土壤各层抗蚀指数动态模拟参数详见表 3。

3.3 不同防护林土壤抗蚀性的主要影响因子

研究区 4 种防护林土壤基本理化性质详见表 4。采用 SPSS 20.0 对防护林土壤抗蚀指数与土壤理化性质进行 Pearson 相关性分析。由表 5 可以看出，土壤抗蚀性指数与粒径＞0.25 mm 水稳性团聚体含量在 0.05 水平上呈显著正相关，与有机质含量、全氮含量在 0.01 水平上呈显著正相关，与其它理化性质也有一定的相关性，但是相关性较低。这说明＜0.25 mm 水稳性团聚体含量是衡量土壤抗蚀性的指标之一，而土壤有机质是土壤水稳性结构的胶结剂，有机质含量丰富的土壤可以形成良好的土壤结构，从而增强的土壤的抗蚀性。余新晓等[11]认为土壤容重和大于 0.25 mm 的土壤水稳性团聚体含量是决定土壤抗蚀性大小的主导因素，吴淑安等[12]认为土壤中黏粒含量、有机质含量和全氮含量愈高，土壤的抗侵蚀能

力愈强。本研究得出的结果与前人的研究结果基本相符,但是本研究认为土壤抗蚀性与土壤中黏粒含量的关系不大,其原因可能是土壤抗蚀性存在区域差异。

表 3　研究区 4 种防护林土壤各层抗蚀指数模拟参数 T

林地类型	土层深度/cm	方程系数				决定系数 R^2
		a	b	c	d	
落叶松纯林	0—20	−0.004	0.200	−3.387	99.867	0.979
	20—40	−0.164	3.698	−29.260	85.968	0.993
白桦纯林	0—20	0.040	−0.561	0.611	100.400	0.958
	20—40	−0.016	0.628	−8.448	56.900	0.995
落叶松+白桦	0—20	0.021	−0.407	1.057	99.400	0.987
	20—40	−0.035	1.167	−14.085	79.067	0.995
辽东栎纯林	0—20	−0.123	2.639	−20.450	78.700	0.993
	20—40	−0.215	4.629	−32.657	81.333	0.987

表 4　研究区 4 种防护林土壤基本理化性质

林地类型	土层深度/cm	土壤容重/(g·cm^{-3})	机械组成/%			孔隙度/%		0.25 mm 水稳性团聚体含量/%	有机质/(g·kg^{-1})	全 N/%	速效 P/(mg·kg^{-1})	有效 K/(mg·kg^{-1})
			砂粒(2～0.02 mm)	粉粒(0.02～0.002 mm)	黏粒(<0.002 mm)	毛管孔隙度	非毛管孔隙度					
落叶松纯林	0—20	1.01	52.87	15.81	31.32	54	12	34.42	32.59	0.81	26.54	64.55
	20—40	1.18	42.75	13.84	43.41	48	11	27.54	11.56	0.27	24.53	46.95
白桦纯林	0—20	1.15	53.36	15.31	31.33	48	13	36.44	35.59	0.63	28.32	68.55
	20—40	1.26	45.34	15.32	39.34	49	8	31.62	18.22	0.28	21.69	34.55
落叶松+白桦	0—20	1.23	57.75	14.73	27.52	44	10	37.41	44.62	0.79	18.32	61.50
	20—40	1.32	56.32	14.81	28.87	40	9	31.75	14.72	0.20	15.53	28.90
辽东栎纯林	0—20	1.04	54.14	16.24	29.62	58	7	23.94	30.03	0.59	34.08	68.45
	20—40	1.14	54.87	15.98	29.15	52	9	9.02	13.29	0.25	31.84	34.75

表 5　抗蚀性指数与土壤理化性质的 Pearson 相关系数

指标	物理性质							化学性质			
	土壤容重	砂粒	粉粒	黏粒	毛管孔隙度	非毛管孔隙度	>0.25 mm 水稳性团聚体	有机质	全 N	速效 P	有效 K
相关系数	0.857**	0.446	0.646	−0.420	−0.148	0.646	0.733**	0.886**	0.857**	−0.190	0.674
双侧显著性	0.007	0.268	0.083	0.300	0.727	0.083	0.390	0.003	0.007	0.652	0.067

注:**表示相关性达显著水平($p<0.05$)。

以研究区内 4 种防护林 0—40 cm 土层土壤抗蚀指数为因变量,以其相同土壤深度的土壤容重、土壤机械组成、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、>0.25 mm 水稳性团聚体含量、有机质、全 N 含量、速效 P 含量、有效 K 含量为自变量,利用 SPSS 20.0 软件对其进行多元回归分析,得出土壤物理性质、化学性质与抗蚀指数存在一定的线性关系,其关系式为:

$$S=7.211x_1+0.884x_2-1.521x_6+2.548x_7+0.941x_9-1.264x_{10}-64.634 \quad (2)$$

式中:x_1——土壤容重(g/cm^3);x_2——砂粒(2～0.02 mm)含量(%);x_3——粉粒(0.02～0.002 mm)含量(%);x_4——毛管孔隙度(%);x_5——非毛管孔隙度(%);x_6——粒径>0.25 mm 水稳性团聚体含量(%);x_7——有机质含量(g/kg);x_8——全 N 含量(%);x_9——速效 P 含量(mg/kg);x_{10}——有效 K 含量(mg/kg)。

4　结 论

(1) 根据土壤抗蚀指数的大小,可以得出 4 种防护林土壤抗蚀性强弱顺序为:落叶松白桦混交林>白桦纯林>落叶松纯林>辽东栎纯林,这与地表林地枯落物的储量有一定关系。对于同一种防护林来说,深层土壤(20—40 cm)比表层土壤(0—20 cm)的抗蚀性明显要差。为减少土壤侵蚀,建议营造针阔混交林,加强多林下枯落物与表层土壤的保护。

(下转第 31 页)

时，可拦蓄相当于 50 年一遇（$H_{P2\%}$ = 63.8 mm）暴雨产生的径流。可见适当加高水平阶的埂高，可大幅度提高水平阶的防御标准。

4 结 论

下垫面不同是导致产生径流量差异的直接原因。尽管植物措施具有一定的拦蓄径流效应（其减流幅度变化在 8.28%～78.41%），其草灌下垫面的径流深与降雨强度有显著地的线性关系，刈割草地会增大径流深，水平阶整地则能够完全拦蓄降水。

研究表明，当埂高每加高 0.1 m，相应可防护的坡面长度可增加 4～6 m，在半干旱地区适当增高地埂放长坡长既可以减少工程量和投资，也可增加阶内水分蓄积，提供植物生长所需的水分。建议该区域水平阶设计和施工埂高按 0.2 m、坡长根据坡度不同按 8～10 m 进行。

在半干旱黄土丘陵区 15°～25°的坡面上，应按 5 年一遇最大 6 h 降雨设计布设水平阶，当埂高 0.1 m 就可达到防御目标，此时的允许最大坡面长度在 3.9～8.2 m。当埂高达 0.2 m 时，则允许最大坡面长度在 7.8～14.0 m。

[参 考 文 献]

[1] 傅伯杰，陈利顶，邱扬，等. 黄土丘陵沟壑区土地利利用结构与生态过程[M]. 北京：商务出版社，2002：28-29.

[2] 吴杨，唐亚，许宇慧，等. 植物篱模式下小流域退耕还草生态农业可持续发展模式研究[J]. 草业科学，2009，26(4)：59-63.

[3] 徐志友，余峰，高红军，等. 半干旱黄土丘陵区不同坡位退耕还林还草地土壤养分的变异规律[J]. 中国水土保持，2010(8)：39-41.

[4] 徐学选，琚彤军，郑世清. 延安燕沟流域次降雨泥沙来源分析[J]. 中国水土保持科学，2008，6(3)：38-42.

[5] 王占礼，黄新会，张振国，等. 黄土裸坡降雨产流过程试验研究[J]. 水土保持通报，2005，25(4)：1-4.

[6] 靳婷，赵文武，赵明月，等. 黄土丘陵区缓坡地不同土地利用方式的产流效应[J]. 中国水土保持科学，2012，10(4)：30-36.

[7] 鲁子瑜，关秀琦，程积民，等. 黄土丘陵区集流整地造林技术研究[J]. 水土保持通报，1994，13(2)：9-17.

[8] 邢贵，张新民，费喜亮，等. 孙家岔流域坡面不同土地利用的土壤水分变化分析[J]. 干旱地区农业研究，2012，30(2)：225-229.

[9] 曾伯庆，王贵平. 晋西黄土高原的土壤侵蚀与防治[J]. 中国水土保持，1990(11)：37-41.

[10] 卫正新，李树怀. 不同林地林冠截留降雨特征的研究[J]. 中国水土保持，1997(5)：32-35.

[11] 赵鹏宇. 黄土丘陵区草、灌地不同经营方式下的降雨—入渗—产流研究[D]. 陕西 杨凌：西北农林科技大学，2009：40-46.

（上接第 27 页）

（2）研究区 4 种防护林土壤抗蚀指数随着土粒浸水时间的增加而减小，两者呈三次多项式函数关系。随着降雨历时的延长，地表积水变多，土壤颗粒易被分散崩塌，影响雨水下渗，有利于地表径流的形成。地表径流会带走崩塌的土壤颗粒从而发生土壤流失。

（3）土壤抗蚀性指数与容重、粒径＞0.25 mm 水稳性团聚体、全氮含量和有机质含量 4 项指标呈显著正相关关系，与其它指标有一定的相关性，但相关性相对较低。土壤抗蚀指数与土壤基本物理、化学性质存在一定的线性相关关系。

[参 考 文 献]

[1] 郭培才，张振中，杨开宝. 黄土区土壤抗蚀性预报及评价方法研究[J]. 水土保持学报，1992，6(3)：48-51.

[2] 王佑民，郭培才，高维森. 黄土高原土壤抗蚀性研究[J]. 水土保持学报，1994，8(4)：11-16.

[3] Elliot W J，Laflen J M，Aprocess based rill erosion model[J]. Trans. of the ASAE，1993，39(1)：65-72.

[4] 高维森. 土壤抗蚀性指标及其适用性初步研究[J]. 水土保持学报，1991，5(2)：60-65.

[5] 张德刚，汤利，陈永川. 滇池流域典型城郊村镇排放污水氮、磷特征分析[J]. 农业环境科学学报，2007，26(6)：2245-2250.

[6] 郑子成，杨玉梅，李廷轩. 不同退耕模式下土壤抗蚀性差异及其评价模型[J]. 农业工程学报，2011，27(10)：199-203.

[7] 张会儒，王晓慧，吴蝉有，等. 中阳县林业生态建设规划研究[J]. 林业调查规划，2006，31(1)：67-70.

[8] 韩鲁艳，郝乾坤，焦菊英. 黄土丘陵沟壑区人工林地的土壤抗蚀性评价[J]. 水土保持通报，2009，29(3)：159-164.

[9] 周利军，齐实，王云琦. 三峡库区典型林分林地土壤抗蚀抗冲性研究[J]. 水土保持研究，2006，13(1)：186-188.

[10] 娄胜德. 谈混交林优点及营造原则[J]. 林业勘察设计，2009(1)：23-24.

[11] 余新晓，陈丽华. 黄土高原沟壑区土壤抗蚀性的初步研究[J]. 北京林业大学学报，1988，10(1)：28-34.

[12] 吴淑安，蔡强国，张光远，等. 王家沟流域不同土壤的抗蚀性研究[M]//王福堂. 晋西黄土高原土壤侵蚀管理与地理信息系统应用研究. 北京：科学出版社，1992.