

黄土丘陵沟壑区人工林地的土壤抗蚀性评价

韩鲁艳^{1,2}, 郝乾坤³, 焦菊英¹

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 以延安、安塞、吴旗的人工刺槐林、柠条林为研究对象, 选取同一地区的自然恢复草地和坡耕地为对照, 通过对 5 个表征土壤抗蚀性的指标即 > 0.25 mm 水稳性团粒含量、> 0.5 mm 水稳性团粒含量、平均重量直径、团聚状况和团聚度的比较分析, 对人工刺槐林、人工柠条林相对于自然恢复草地和坡耕地改善土壤抗蚀性的效果进行了评价, 同时分析了不同林龄人工林土壤抗蚀性的变化。研究表明, 人工林地相对于坡耕地, 显著提高了土壤抗蚀性, 但不及自然恢复草地, 尤其在安塞和吴旗表现更明显; 随着林龄的增长, 人工林地土壤抗蚀性能增强, 并趋于稳定。并通过对样地的聚类分析, 也得出与上述相似的结果。综合分析表明, 封禁条件下的植被自然恢复是黄土丘陵沟壑区比较适宜的植被恢复方式和控制土壤侵蚀的有效措施。

关键词: 人工刺槐林; 人工柠条林; 自然恢复草地; 土壤抗蚀性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)03-0159-06 中图分类号: S152.3, S157.5

Soil Anti-erodibility of Artificial Woodlands in the Hilly-gullied Region of the Loess Plateau

HAN Lu-yan^{1,2}, HAO Qian-kun³, JIAO Ju-ying¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Yangling Vocational & Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on the data obtained in artificial *Robinla pseudoacacia* and *Caragana korshinskii* woodlands of Ya'an City, An'sai County and Wuqi County on the hilly-gullied area of the Loess Plateau, soil anti-erodibility of woodlands was studied by choosing natural restoration lands and slope croplands as controls and comparing the 5 anti-erodibility indexes (> 0.25 mm water-stable aggregates, > 0.5 mm water-stable aggregates, mean weight diameter, aggregation status, and degree of aggregation). By comparative analysis of the 5 indexes, soil anti-erodibility of artificial woodlands is much better than slope croplands, but not better than natural restoration lands. This is more significant in An'sai and Wuqi. Soil anti-erodibility increases with increasing woodland age and then tends to be steady. All the plots in the three areas can be clustered into three kinds based on the 5 indexes and the same results obtained as the above comparative analysis. It is suggested that natural vegetation restoration without disturbance could be the more adaptive type of vegetation restoration and the better measure for soil erosion control in the hilly-gullied region of the Loess Plateau.

Keywords: artificial *Robinla pseudoacacia* woodland; artificial *Caragana korshinskii* woodland; natural restoration grassland; soil anti-erodibility

黄土丘陵区地形破碎, 土壤结构疏松, 自然植被遭到破坏, 水土流失极为严重, 是国家生态建设的重点区域^[1]。植被建设是水土保持和生态建设的根本

措施, 同时人工林是植被建设的重要内容, 已有的研究表明人工林不仅能显著改善土壤的理化性质, 而且能够改善土壤抗蚀性^[2-3]。

收稿日期: 2008-12-13

修回日期: 2009-01-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(40771126, 40571094); 国家自然科学基金委员会中俄(NSFC-PRBR)协议项目(40811120032); 西北农林科技大学创新团队建设计划项目(01140202)

作者简介: 韩鲁艳(1983-), 女(汉族), 山东省滨州市人, 在读硕士, 研究方向为植被恢复与环境效益评价。E-mail: shuibae-hanluyan@163.com。
通信作者: 焦菊英(1965-), 女(汉族), 陕西省宝鸡市人, 研究员, 主要研究方向为植被恢复与水土保持环境效应评价。E-mail: jyjiao@ms.iswc.ac.cn。

土壤抗蚀性(soil anti-erodibility)是指土壤抵抗分散和悬浮的能力,即土壤对侵蚀的易损性或敏感性的倒数,是控制土壤承受降雨和径流分离及输移等过程的综合效应^[4]。土壤抗蚀性是土壤质量的一个重要方面,可反映土壤潜在的水土流失特征,是生态恢复的基础,其强弱影响着土壤侵蚀强度和环境质量^[5]。

刺槐(*Robinia pseudoacacia*)属豆科植物,落叶乔木,具有抗旱、速生和耐瘠薄等特点,是黄土高原干旱半干旱区植物恢复的主要人工林树种之一^[6];柠条(*Caragana korshinskii*)为豆科灌木类植物,具有耐旱、耐寒、耐瘠薄、耐牧等特点,是最适宜于黄土高原干旱半干旱区人工造林的优良灌木树种^[7]。刺槐和柠条均被视为水土保持中的先锋树种^[8-9]。

近年来,关于人工林地的研究主要集中在土壤水分平衡^[10-11]和土壤养分循环^[12-15],土壤入参与土壤抗冲性^[16],以及土壤水稳性团聚体特征^[17-18]等方面,而关于黄土丘陵沟壑区人工林地土壤抗蚀性的研究鲜见报道^[2-3]。

为此,本研究在黄土丘陵沟壑区具有代表性的延安市、安塞县和吴旗县 3 地进行了取样调查,根据选取的土壤抗蚀性指标,分析人工刺槐与柠条林地、坡耕地、自然恢复草地植被群落不同植被类型土壤抗蚀性的差异,以及不同恢复年限人工林的土壤抗蚀性特点及随时间变化情况,对黄土丘陵沟壑区人工林的土壤抗蚀性做出评价,以期对黄土高原进一步有效地退耕还林还草及生态建设提供科学依据。

1 研究区概况

研究区设在水土流失严重的黄土丘陵沟壑区的延安市、安塞县和吴旗县,分别代表着黄土丘陵区典型的植被类型区和地貌气候条件。

延安市以梁状丘陵沟壑区为主,间或有大型的孤立的峁,海拔变化在 900~1 400 m 之间;安塞县属典型的梁峁状丘陵沟壑区,地形复杂,梁峁连绵,海拔在 997~1 731 m 之间;吴旗县属黄土高原梁状丘陵沟壑区,谷宽梁缓,间有少数残丘低峁,海拔在 1 233~1 809 m 之间。

研究区属于干旱半干旱气候区,降水量在 300~550 mm 之间,年际变化大且年内分配不均。土壤主要为黄绵土粉沙质,土质疏松,抗冲抗蚀性差,水土流失严重,属于极强度侵蚀区。

延安市、安塞县、吴旗县分别处于暖温带落叶阔

叶林带向森林草原带过渡的中间地带、森林草原带和草原带^[1, 19-20]。

人工林以刺槐、柠条、小叶杨(*Populus Simoni*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)等为主,其中刺槐是黄土高原人工造林的主要乔木树种之一,在黄土丘陵沟壑区乔木林中占 80% 以上^[7];柠条是黄土高原人工造林最适宜的灌木树种之一,是黄土丘陵区面积最大的人工灌木林类型^[8-9]。

2 研究方法

2.1 野外调查

在延安、安塞和吴旗各选择有代表性的人工刺槐林地 5 块、4 块、2 块,人工柠条林地各 2 块,样方大小为 10 m × 10 m,并选同一地区的坡耕地和退耕 20 a 以上的自然恢复草地作为对照。

观测并记录样地的地形、坡度、海拔和植被等环境因子,以及林内的主要植物种类、数量和分布,通过访问土地使用者和长者确定样地的恢复年限。样地具体状况见表 1。

2.2 土壤样品的采集与分析

用团粒盒取 0—20 cm 土层的原状土(每个样地采集 3 个重复)来测定土壤机械组成与微团聚体组成(采用激光粒度分析仪测定)、土壤水稳性团粒含量(采用邱林法测定^[21])。

2.3 土壤抗蚀性指标的选取

土壤抗蚀性指土壤抵抗降雨、径流及其分散和悬浮能力,在侵蚀外力一定的情况下,可反映土壤潜在的水土流失特征。

参考王佑民^[22-23]、胡建忠^[24-25]、张振国^[26]等的方法,选取以下 5 个土壤抗蚀性指标:

(1) > 0.25 mm 水稳性团粒含量。

(2) > 0.5 mm 水稳性团粒含量。

(3) 平均重量直径(mm): $MWD = x_i$

式中: X_i ——任意一个粒级范围内水稳性团粒的平均直径; W_i ——对应于 X_i 的团聚体百分含量(以小数表示)。

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

(5) 团聚度 = 团聚状况 / > 0.05 mm 微团聚体分析值 × 100。

对 5 个土壤抗蚀性指标采用比较分析与聚类分析的方法,分别在植被类型、地域和林龄水平与样地水平上评价人工林地的土壤抗蚀性能大小。

表1 样地基本信息

植被类型	样地号	恢复年限/a	坡度/(°)	坡向	坡位	主要草树种
人工刺槐林	YA ₁	4	25	北	坡中	猪毛蒿(<i>Artemisia scoparia</i>)
	YA ₂	4	26	东	坡中	猪毛蒿
	YA ₃	28	26	北	坡中	铁杆蒿(<i>Artemisia gmelinii</i>)
	YA ₄	28	27	北	坡下	铁杆蒿, 达乌里胡枝子(<i>Lespedeza davurica</i>)
	YA ₅	45	25	东北	坡中	猪毛蒿, 长芒草(<i>Stipa bungeana</i>)
	AS ₁	8	17	北	坡中	猪毛蒿, 阿尔泰狗娃花(<i>Heteropappus altaicus</i>)
	AS ₂	29	25	东南	坡中	长芒草
	AS ₃	29	35	东南	坡下	铁杆蒿
	AS ₄	40	17	东南	坡中下	铁杆蒿
	WQ ₁	20	29	东北	坡中	长芒草, 达乌里胡枝子
人工柠条林	WQ ₂	46	27	东南	坡中	铁杆蒿, 芨芨蒿(<i>Artemisia giralaai</i>)
	YA ₆	28	18	西南	梁坡	铁杆蒿, 长芒草
	YA ₇	28	20	东北	梁坡	铁杆蒿, 长芒草
	AS ₅	29	20	西北	梁坡	铁杆蒿, 长芒草
	AS ₆	29	25	东北	坡中	铁杆蒿, 长芒草
	WQ ₃	15	25	南	坡中	糙隐子草(<i>Cleistogenes squarrosa</i>), 长芒草
	WQ ₄	21	33	南	卯坡上部	白羊草(<i>Bothriochloa ischaemum</i>), 长芒草
	自然恢复草地	YA ₈	20	35	东	梁坡上
YA ₉		21	27	北	坡中	达乌里胡枝子, 长芒草
AS ₇		30	20	东北	坡上	白羊草
AS ₈		老荒坡	20	北	梁坡	白羊草
WQ ₅		40(封禁)	30	西北	梁坡上部	长芒草, 猪毛蒿
WQ ₆		40(封禁)	31	东北	梁坡上部	赖草(<i>Leymus scalinus</i>), 猪毛蒿
坡耕地	YA ₁₀		22	东	坡中	玉米(<i>Zea mays</i>)
	YA ₁₁		24	北	坡中	休闲地
	AS ₉		18	东	坡中	谷子(<i>Setaria italica</i>)
	AS ₁₀		27	西北	坡中	大豆(<i>Glycine max</i>)
	WQ ₇		26	西南	坡中	马铃薯(<i>Solanum tuberosum</i>), 甘草
	WQ ₈		20	西北	坡下	燕麦(<i>Avena sativa</i>)

注: YA, AS, WQ 分别代表延安、安塞、吴旗不同的取样地点。

3 结果与分析

3.1 不同地类土壤抗蚀性的比较

在延安, 人工刺槐林地的5个土壤抗蚀性指标仅次于自然恢复草地; 而人工柠条林地 > 0.25 mm水稳性团粒含量、 > 0.5 mm水稳性团粒含量、平均重量直径、团聚状况、团聚度分别比自然恢复草地的低19.10%、20.35%、1.01 mm、2.48%、7.78%。人工刺槐林地上述5个土壤抗蚀性指标依次是坡耕地的3.12、4.11、6.92、1.30、1倍, 而人工柠条林地依次是坡耕地的2.47、3.18、5.15、1.20、0.90倍。

通过对比分析, 结出得出延安土壤抗蚀性排序为: 自然恢复草地 \approx 人工刺槐林地 $>$ 人工柠条林地 $>$ 坡耕地(表2)。

在安塞县, 人工刺槐林地的土壤抗蚀性指标与自然恢复草地相比, > 0.25 mm水稳性团粒含量、团聚度分别比自然恢复草地低0.70%、1.48%、1.98%、 > 0.5 mm水稳性团粒含量、平均重量直径分别比自然恢复草地的高0.20%、0.3 mm; 与坡耕地相比, 各土壤抗蚀性指标均高于坡耕地(1.38~2.68倍)。

人工柠条林地对应的土壤抗蚀性指标分别比自然恢复草地低7.46%、6.85%、0.09 mm、0.80%、0.94%; 分别是坡耕地的1.73、1.92、2.19、2.07、2.42倍。安塞县不同植被类型的土壤抗蚀性排序与延安类似。

在吴旗, 人工刺槐林地 > 0.25 mm水稳性团粒含量、 > 0.5 mm水稳性团粒含量、平均重量直径、团聚状况、团聚度分别比自然恢复草地低20.48%、

20.93%, 0.94 mm, 1.15%, 1.3%; 人工柠条林地 > 0.25 mm 水稳性团粒含量、> 0.5 mm 水稳性团粒含量、平均重量直径、分别比自然恢复草地低 10.58%, 10.48%, 6 mm; 而与延安市和安塞县不同的是, 人工柠条林的各个土壤抗蚀性指标都高于人工刺槐林地, 尤其是水稳性团粒含量高 10% 左右。

表 2 不同地类土壤抗蚀性指标

地点	植被	> 0.25 mm 水稳性 团粒含量/ %	> 0.5 mm 水稳性 团粒含量/ %	平均重量 直径/ mm	团聚 状况/ %	团聚度/ %
延安	人工刺槐林地	82.83	81.93	3.94	9.71	28.32
	人工柠条林地	65.60	63.55	2.94	8.95	25.54
	自然恢复草地	84.70	83.90	3.95	11.43	33.32
	坡耕地	26.55	19.95	0.57	7.47	28.46
安塞	人工刺槐林地	51.00	48.80	2.18	2.90	9.22
	人工柠条林地	44.30	41.75	1.79	3.58	10.25
	自然恢复草地	51.70	48.60	1.87	4.38	11.20
	坡耕地	25.55	21.80	0.82	1.73	4.23
吴旗	人工刺槐林地	52.30	50.85	2.40	5.27	12.71
	人工柠条林地	62.20	61.30	2.88	6.43	16.76
	自然恢复草地	72.78	71.78	3.34	6.29	16.07
	坡耕地	24.65	21.15	0.86	1.74	4.42
平均	人工刺槐林地	62.04	60.53	2.84	5.57	15.09
	人工柠条林地	57.37	55.53	2.53	4.76	13.41
	自然恢复草地	69.73	68.09	3.05	7.37	20.19
	坡耕地	25.58	20.97	0.75	5.60	18.14

从延安、安塞、吴旗的平均值来分析, 土壤抗蚀性表现为自然恢复草地 > 人工林地 > 坡耕地。但是, 不同地域人工林地对土壤抗蚀性的改善效果不同, 在延安和安塞, 人工刺槐林改善土壤抗蚀性的效果略次于自然恢复草地, 并且好于人工柠条林地; 在吴旗县, 以自然恢复草地的抗蚀效果最好, 且人工刺槐林的抗蚀效果远不及自然恢复草地和人工柠条林地。

3.2 不同林龄土壤抗蚀性的比较

对延安林龄为 4, 28, 45 a 的人工刺槐林地土壤抗蚀性的分析表明(表 3), 各土壤抗蚀性指标随着人工刺

槐林的生长发育和林龄的增长呈增大趋势, 特别是 4 a 林地到 28 a 林地增加幅度较大, 28 a 林地的 > 0.25 mm 水稳性团粒含量、> 0.5 mm 水稳性团聚体含量、平均重量直径、团聚状况、团聚度分别是 4 a 林地的 1.59, 1.75, 2.21, 1.13, 1.26 倍; 而 45 a 林地各土壤抗蚀性指标是 28 a 林地的 1.06, 1.07, 1.07, 1.21, 1.07 倍, 也就是说从 28 a 林地到 45 a 林地, 土壤抗蚀性也有提高, 但增加幅度甚微。可见, 从 4 a 林地到 28 a 林地的土壤抗蚀性明显提高, 到人工林生长后期, 土壤抗蚀性能提高较缓慢。

表 3 不同林龄人工刺槐林的土壤抗蚀性指标

林龄/a	> 0.25 mm 水稳性 团粒含量/ %	> 0.5 mm 水稳性 团粒含量/ %	平均重量 直径/ mm	团聚 状况/ %	团聚度/ %
4	51.15	45.65	1.74	8.64	25.36
28	81.20	80.05	3.85	9.83	31.93
25	86.10	85.70	4.13	11.85	34.24

3.3 土壤抗蚀性的聚类分析

为了更客观地反映人工林在当地水土保持中的地位, 探索人工林地与对比样地土壤抗蚀性的相似、

相异关系, 以选取的 5 个土壤抗蚀性指标(为了消除各指标单位不同带来的干扰, 将这 5 项指标标准化处理)为聚类变量, 用欧式距离计算样本点之间的距离,

采用系统聚类法(hierarchical clustering method)的离差平方和(Ward法),对29个样地的土壤抗蚀性进行聚类分析,得到29个样地抗蚀性的聚类谱系图(图1)。由图1可以看出,阈值为4时,可将不同样地的土壤抗蚀性划分为3类。

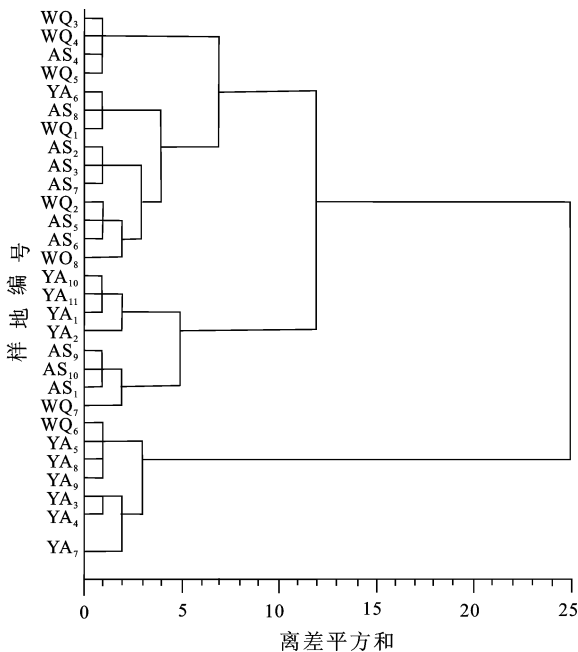


图1 不同样地抗蚀性指标模糊聚类谱系图

第一类样地为YA₃, YA₄, YA₅, YA₇, YA₈, YA₉, WQ₆, 主要为延安林龄28 a以上人工刺槐林地、自然恢复草地和人工柠条林地及吴旗封禁下自然恢复草地,其抗蚀性最强。主要体现在高的> 0.25 mm水稳性团粒含量、> 0.5 mm水稳性团粒含量、平均重量直径、团聚状况和团聚度,其变化范围分别为77.00%~86.10%, 76.00%~85.70%, 3.50~4.13 mm, 8.44%~12.13%和25.19%~35.62%,平均值依次为81.77%, 80.84%, 3.84 mm, 10.78%和30.64%。

第二类样地有YA₆, AS₂, AS₃, AS₄, AS₅, AS₆, AS₇, AS₈, WQ₁, WQ₂, WQ₃, WQ₄, WQ₅, WQ₈, 主要为安塞的人工刺槐林地、人工柠条林地和自然恢复草地,以及吴旗的人工刺槐林地,其抗蚀性能次之。各土壤抗蚀性指标特征为:> 0.25 mm水稳性团粒含量、> 0.5 mm水稳性团粒含量、平均重量直径、团聚度和团聚状况的变化范围分别为38.40%~68.15%, 35.30%~67.55%, 1.54~3.17 mm, 0.45%~9.24%, 1.62%~29.19%,平均值依次为52.48%, 50.36%, 2.24 mm, 4.61%, 14.50%。

第三类有YA₁, YA₂, YA₁₀, YA₁₁, AS₁, AS₉, AS₁₀, WQ₇, 主要为坡耕地和新退耕还林地,其抗蚀

性能最差。> 0.25 mm水稳性团粒含量、> 0.5 mm水稳性团粒含量、平均重量直径、团聚度和团聚状况的变化范围分别为10.90%~38.70%, 7.00%~36.30%, 0.19~1.57 mm, 1.25%~10.42%, 3.16%~34.66%,平均值依次为24.30%, 19.46%, 0.61 mm, 4.44%, 16.61%。

聚类结果表明,以延安的人工林和自然恢复草地以及吴旗封禁下自然恢复草地的土壤抗蚀性能最好,坡耕地和新退耕还林地的抗蚀性能最差。

4 结论

通过对> 0.25 mm水稳性团粒含量、> 0.5 mm水稳性团粒含量、平均重量直径、团聚度和团聚状况5个反映土壤抗蚀性指标的对比分析表明,人工刺槐和柠条林地的土壤抗蚀性低于自然恢复草地,但显著高于坡耕地,说明人工林可有效地提高土壤的抗蚀性能,起到水土保持的作用。人工林地的土壤抗蚀性随着林龄的增加不断增强,人工林地生长后期土壤抗蚀性趋于稳定。以选取的5个土壤抗蚀性指标为变量的聚类分析也表明延安市的人工林地和自然恢复草地、及吴旗封禁下自然恢复草地的土壤抗蚀性最好,而坡耕地和新退耕还林地的土壤抗蚀性能最差。

尽管人工林提高了土壤抗蚀性,但其效果不及自然恢复草地。而且,在黄土丘陵区刺槐林的生长年限一般为50 a^[15],柠条林一般20 a后就进入老龄期^[9],同时由于土壤干层的存在^[27],林分生长后期迅速衰败,导致土壤出现严重退化,从而影响了人工林的持续生长及其对土壤环境的改善,形成恶性循环。在延安,土壤水分条件相对较好,人工林可维持正常生长,而在安塞和吴旗,降水量相对减少,林木因生长对土壤贮水的消耗大量增加,土壤含水量处于极度亏缺状态而形成土壤干层,导致人工刺槐林生长逐渐恶化^[28],进而影响植物个体和养分的积累,造成成片的“小老树”^[29]。可见,在黄土高原地区,通过人工植被建设起到了一定的水土保持作用,但是也存在诸多问题,如土壤干层的存在,造成土壤显著退化、植物生长速率明显减慢、群落衰败以至造成大片死亡^[30]。黄土高原成片“小老头树”就是典型土壤干层发育的结果^[31]。

综上所述,封禁下的植被自然恢复是黄土丘陵沟壑区比较适宜的植被恢复方式和控制土壤侵蚀的有效措施。

[参 考 文 献]

[1] 梁一民. 黄土高原植被建设[M]. 郑州: 黄河水利出版

- 社, 2003: 9-13.
- [2] 王佑民, 刘秉正, 廖超英, 等. 刺槐林地土壤抗蚀性的研究[J]. 林业实用技术, 1984, 5(5): 9-13.
- [3] 高维森, 王佑民. 黄土丘陵区柠条林地土壤抗蚀性规律研究[J]. 西北林学院学报, 1991, 6(3): 70-78.
- [4] 胡建忠, 范小玲. 黄土高原沙棘人工林地土壤抗蚀性指标探讨[J]. 水土保持通报, 1998, 18(2): 25-30.
- [5] 戴全厚, 薛蕙, 刘国彬, 等. 侵蚀环境撂荒地植被恢复与土壤质量的协同效应[J]. 中国农业科学, 2008, 41(5): 1390-1399.
- [6] 李克亮. 中国林业发展战略问题研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1986: 3-21.
- [7] 牛西午, 张强, 杨治平, 等. 柠条人工林对晋西北土壤理化性质变化的影响研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(4): 628-632.
- [8] 王佑民, 刘秉正. 黄土高原防护林生态特征[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993: 21-65.
- [9] 程积民, 万惠娥, 王静, 等. 半干旱区柠条生长与土壤水分消耗过程研究[J]. 林业科学, 2005, 41(2): 37-41.
- [10] 刘晨峰, 尹婧, 贺康宁. 林下植被对半干旱区不同密度刺槐林地土壤水分环境的指示作用[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(2): 62-67, 79.
- [11] 单长卷, 梁宗锁. 黄土高原刺槐人工林根系分布与土壤水分的关系[J]. 中南林学院学报, 2006, 26(1): 19-21, 40.
- [12] 安韶山, 黄懿梅. 黄土丘陵区柠条林改良土壤作用的研究[J]. 林业科学, 2006, 42(1): 70-74.
- [13] 刘增文, 李雅素. 黄土残塬沟壑区刺槐人工林生态系统的养分循环通量与平衡分析[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 630-630.
- [14] 刘增文, 李雅素, 吕月玲, 等. 刺槐主要养分内循环及外循环研究[J]. 南京林业大学学报, 1997, 21(4): 6-10.
- [15] 许明祥, 刘国彬. 黄土丘陵区刺槐人工林土壤养分特征及演变[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1): 40-46.
- [16] 侯喜禄, 白岗栓. 刺槐、柠条、沙棘林土壤入渗及抗冲性对比试验[J]. 水土保持学报, 1995, 9(3): 90-95.
- [17] 戴全厚, 刘国彬, 薛蕙, 等. 侵蚀环境人工刺槐林土壤水稳性团聚体演变及其养分效应[J]. 水土保持通报, 2008, 28(4): 56-59.
- [18] 张社奇, 刘云鹏, 张国桢, 等. 黄土高原刺槐人工林地土壤颗粒分形特征研究[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(1): 96-99.
- [19] 吴钦孝. 黄土高原植被建设与持续发展[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 70-117.
- [20] 陈云明, 梁一民. 黄土高原林草植被建设的地带性特征[J]. 植物生态学报, 2002, 26(3): 339-345.
- [21] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤物理性质测定法[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 34-88.
- [22] 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.
- [23] 王佑民, 郭培才. 黄土高原土壤抗蚀性研究[J]. 水土保持学报, 1994, 8(4): 11-16.
- [24] 胡建忠, 范小玲. 黄土高原沙棘人工林地土壤抗蚀指标探讨[J]. 水土保持通报, 1998, 18(2): 25-30, 93.
- [25] 胡建忠, 张伟华, 李文忠, 等. 北川河流域退耕地植物群落土壤抗蚀性研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(6): 854-863.
- [26] 张振国, 范变娥, 白文娟, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕地植物群落土壤抗蚀性研究[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(1): 7-13.
- [27] 王力, 邵明安, 李裕元. 陕北黄土高原人工刺槐林生长与土壤干化的关系研究[J]. 林业科学, 2004, 40(1): 84-91.
- [28] 陈云明, 刘国彬, 杨勤科. 黄土高原人工林土壤水分效应的地带性特征[J]. 自然资源学报, 2004, 19(2): 195-200.
- [29] 邹厚远. 关于黄土高原植被恢复的生态学依据探讨[J]. 水土保持学报, 1995, 9(4): 1-4.
- [30] 王力, 邵明安, 王全九, 等. 黄土区土壤干化研究进展[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 27-31.
- [31] 赵景波. 陕西黄土高原土壤干层对植树造林的影响[J]. 中国沙漠, 2005, 25(3): 370-373.