

黄土丘陵区不同退耕模式林下草本变化特征

师阳阳¹, 张光辉^{2,3†}, 陈云明^{1,2}, 王兵^{2,3}

(1. 西北农林科技大学林学院, 712100 陕西杨凌; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 712100 陕西杨凌; 3. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 100875 北京)

摘要 通过对黄土丘陵区纸坊沟流域退耕 37a 不同退耕模式的油松 + 紫穗槐混交林 (PA)、油松林 (PT)、刺槐林 (RP)、柠条林 (CKK) 及对照样地撂荒地 (CK) 草本植被进行调查与采样, 研究物种多样性、草本盖度、枯落物量、地上及根系生物量、根冠比、根长密度等植被的变化特征。结果表明: 1) 物种多样性撂荒地最高, 柠条林最低, 顺序为 CK > PA > PT > RP > CKK; 2) 草本盖度、地上生物量均为撂荒地最高, 油松林最低, 大小顺序分别为 CK > CKK > RP > PA > PT 和 CK > RP > CKK > PA > PT, 方差分析结果显示, 植被盖度差异不显著, 地上生物量差异极显著 ($P < 0.01$); 3) 样地枯落物量、草本根系生物量均为油松 + 紫穗槐混交林最高, 刺槐林最低, 大小顺序分别为 PA > CKK > PT > CK > RP 和 PA > CKK > CK > PT > RP, 方差分析结果表明, 枯落物量未达显著差异, 根系生物量差异显著 ($P < 0.05$); 4) 草本根冠比、根长密度均为油松 + 紫穗槐混交林最高, 撂荒地最低, 大小顺序分别为 PA > PT > CKK > RP > CK 和 PA > CKK > RP > PT > CK, 且均达显著性差异水平 ($P < 0.05$); 5) 土壤分层地下生物量与植被地上各指标达极显著相关 ($P < 0.01$), 且呈 $y = a^x$ 幂指数关系。

关键词 退耕模式; 植被调查; 物种多样性; 生物量; 根长密度; 黄土丘陵区

Characteristics of undergrowth herbage of different restoration models in the Loess Hilly region

Shi Yangyang¹, Zhang Guanghui^{2,3}, Chen Yunming^{1,2}, Wang Bing^{2,3}

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, 712100, Yangling, Shaanxi;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, 712100, Yangling, Shaanxi;

3. College of Geography, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China)

Abstract Taken abandoned farmland (CK) as control, the undergrowth vegetation investigation was conducted on four land-use types of *Caragana korshinskii* (CKK), *Robinia pseudoacacia* (RP), *Pinus tabulaeformis* (PT) and mixed forest of *Pinus tabulaeformis* and *Amorpha fruticosa* (PA) in the loess hilly region of Zhifanggou watershed. These five kinds of land types were restored for almost 37 years from slope farmland. The variations of vegetation coverage, aboveground and underground biomass, litter amount, ratio of root to shoot and root length density and the relationship among them were studied. After 37 years vegetation restoration and construction, abandoned farmland has the highest value of species diversity, vegetation coverage and aboveground biomass, while *Pinus tabulaeformis* land has the lowest species diversity, and *Caragana korshinskii* land has the lowest vegetation coverage and aboveground biomass. The orders of species diversity, vegetation coverage and aboveground biomass were given as follows: CK > PA > PT > RP > CKK, CK > CKK > RP > PA > PT and CK > RP > CKK > PA > PT,

收稿日期: 2012-05-21 修回日期: 2012-07-26

项目名称: 中国科学院百人计划项目“土壤侵蚀水动力学”(K318001110); “十二五”规划农田水土保持项目“梁峁丘陵沟壑区农田耕作及林草生物措施防蚀及关键技术集成与示范”(2011BAD31B05-02)

第一作者简介: 师阳阳(1987—), 女, 硕士研究生。主要研究方向: 流域生态。E-mail: shiyangyang@nwsuaf.edu.cn

† 责任作者简介: 张光辉(1969—), 男, 博士, 教授。主要研究方向: 水土保持与土壤侵蚀。E-mail: ghzhang@bnu.edu.cn

respectively. The results of ANOVA showed that there was a significant difference in aboveground biomasses ($P < 0.01$), while no difference was found in underground biomass. Mixed forest of *Pinus tabulaeformis* and *Amorpha fruticosa* has the highest value of the litter amount and underground biomass, while *Robinia pseudoacacia* was the lowest. The orders of litter amount and underground biomass were given as follows: PA > CKK > PT > CK > RP and PA > CKK > CK > PT > RP, respectively. The results of ANOVA showed that there was a significant difference in underground biomass ($P < 0.05$), while no difference was found in litter amount. Mixed forest of *Pinus tabulaeformis* and *Amorpha fruticosa* has the highest value of the ratio of root to shoot and root length density, while abandoned farmland was the lowest. The orders of the ratio of root to shoot ratio and root length density were given as follows: PA > PT > CKK > RP > CK and PA > CKK > RP > PT > CK, respectively. Root biomasses of different soil layers could be simulated well by indices of aboveground vegetation characteristics with serious of power functions ($P < 0.01$). The results of ANOVA showed that there was a significant difference in the ratio of root to shoot ($P < 0.05$) and root length density ($P < 0.05$).

Key words restoration models; vegetation investigation; species diversity; biomass; root length density; Loess Hilly region

植被具有截留降雨、减缓径流、防沙治沙、保土固土等功能,良好的植被覆盖对控制水土流失效果显著。C. Carroll 等^[1]对弃土与矿区土壤上的植被恢复进行了调查研究,发现对于不同类型的土壤侵蚀,植被影响占主导地位,植被覆盖可削弱雨滴击溅土壤,减少地表径流。也有学者^[2]对陕西子午岭林区森林恢复前的土壤侵蚀模数进行了计算,发现土壤侵蚀模数为 8 000 ~ 10 000 t/km²,恢复后坡面侵蚀和沟谷侵蚀得到了有效控制。草被对减少黄土坡面土壤侵蚀具有显著作用,覆盖度 70% ~ 80% 的黄土坡面产沙量不足裸坡产沙量的 10%^[3]。作为黄土丘陵区主要土地利用模式的农田是该地区土壤侵蚀最严重的土地类型。由于受人活动干扰较大,农田土壤分解能力远高于林地、灌木林、草地及荒地,水土流失严重。为了遏制水土流失,自 1970 年起,植树造林、种草、将坡耕地改为水平梯田等生态恢复措施的实施改变了该区的土地利用方式,仅 1984—1996 年间,林地、草地面积分别增加了 36%、5%,与此同时,坡耕地减少了 43%,水土流失从一定程度上得到了缓解,但仍不能得到有效控制。1999 年,退耕还林(草)工程正式启动,该工程的实施加速了黄土丘陵区的植被恢复,对实现可持续发展目标、促进经济和社会协调发展有着极为重要的意义。科学评价退耕后植被恢复产生的生态效益对退耕还林(草)工程的开展具有指导作用,不少学者就此展开了调查研究。退耕还林(草)后退耕区内植被群落结构会发生一定程度的变化,白文娟等^[4]对退耕地植物多样性的演替规律进行了总结,罗志

军等^[5]指出,增加植被盖度可以通过林冠截流而保持水土、涵养水源,从而有效控制水土流失,王秋生^[6]、焦菊英^[7]进一步对林草有效盖度进行了研究,发现不同坡度的林地、草地有效盖度值不同,郭雨华^[8]、王坤凯等^[9]针对退耕地枯落物层持水特性进行了研究,表明枯落物持水量与林龄及其自身蓄积量均呈显著正相关,赵丽等^[10]调查了退耕地群落地上生物量的变化规律,得出了退耕地地上生物量与退耕时间、植被密度和高度具有强相关性的结论,刘孝勇等^[11]对不同模式建植地甘草(*Radix glycyrrhizae*)根系生物量进行研究后,发现种植模式不同对其根系生物量影响很大,从而直接影响到了甘草建植的经济效益。众多学者指出,退耕还林(草)工程实施以来,不同退耕模式林下植被群落生长状况、物种构成的不同势必会导致植被水土保持效益有所不同^[12-15]。黄土丘陵区土壤侵蚀主要由少数大暴雨引起,林冠截留降水能力有限,近地面草本覆盖对防止土壤侵蚀有着至关重要的意义^[16];但目前就近地面草本植被的研究不够全面、系统,因此,笔者以黄土丘陵区安塞县纸坊沟流域为研究区,以草本植被为主要研究对象,系统研究 4 种不同退耕模式林地及对照样地撂荒地草本植被的物种多样性、盖度、枯落物量、地上及根系生物量、根冠比、根长密度等指标变化特征,以期有效控制水土流失提供基础数据支持。

1 研究区概况

纸坊沟流域(E 109°19'30", N 36°51'30")位于

陕西省安塞县,流域面积 8.27 km²,平均海拔 1 200 m。该区地形破碎,沟壑纵横,属典型的黄土丘陵沟壑区,水土流失严重,多年平均输沙模数达 8 373 t/km²,是西北典型的生态环境脆弱区,也是退耕还林(草)重点区域。纸坊沟流域属暖温带半干旱大陆性季风气候,多年平均降水量 505.1 mm 左右,且分布不均匀,集中分布在 7—9 月;年平均蒸发量 1 463 mm,无霜期 160~180 d,年日照时间 2 415 h,≥0℃积温 3 733.5℃,年均气温 8.8℃。植被类型处于暖温带落叶阔叶林向干旱草原过渡的森林草原带。

2 研究方法

2.1 样地布设与调查

纸坊沟流域作为生态恢复长期定位实验研究区,自 1974 年起就开始实施退耕还林(草)生态建

设工程,对遭到极大破坏的林草植被进行了恢复重建,主要建植树种有柠条(*Caragana korshinskii*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)等。综合实地踏查并根据当地退耕现状,试验选取了立地条件相似、退耕年限均为 37a 的柠条(CKK)、刺槐(RP)、油松(PT)、油松+紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)(PA)4 种不同植被退耕模式林地作为研究对象,其乔灌郁闭度分别为 0.65、0.40、0.50、0.60,同时选取退耕年限一致的撂荒地(CK)作为对照。

2011 年 7—8 月,分别对纸坊沟流域不同退耕模式样地内植物群落进行调查与采样。样地调查包括海拔、经纬度、坡度、坡向、植物群落等,每个样地选取林下具代表性的 3 个 1 m×1 m 样方,进行植物种类、盖度、高度、株数、地上及地下生物量、枯落物的调查。样地基本情况见表 1。

表 1 样地基本情况

Tab. 1 Basic situation of sample plots

退耕模式	土壤类型	地理位置	坡度/%	坡向	海拔/m	林下群落优势种
撂荒地	黄绵土	E 109°15.98', N 36°45.91'	10.45	阴坡	1 213	铁杆蒿+达乌里胡枝子+长芒草
油松+紫穗槐林	黄绵土	E 109°15.97', N 36°46.02'	20.79	阴坡	1 136	铁杆蒿+茭蒿
柠条林	黄绵土	E 109°15.98', N 36°45.90'	14.78	阴坡	1 210	铁杆蒿+甘青针茅
刺槐林	黄绵土	E 109°15.94', N 36°45.89'	15.64	阴坡	1 203	铁杆蒿+甘青针茅
油松林	黄绵土	E 109°16.01', N 36°45.97'	19.08	阴坡	1 164	铁杆蒿+异叶败酱+披针苔草

注:铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*);达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*);长芒草(*Stipa bungeana*);茭蒿(*Artemisia giraldii*);甘青针茅(*Stipa przewalskyi* Roshev.);异叶败酱(*Patrinia heterophylla*);披针苔草(*Carex lanceolata*)。

2.2 测定方法

样方总盖度采用数码相机照相法并用 PCOVER-ER^[17] 软件处理得到。PCOVER 中的植被覆盖自动判读模型是根据植被图像的真彩色特征以及不同颜色空间的颜色分量图像采用逐步判别法建立获得。

地上生物量和枯落物量采用全收获法测定。采集草本植物地上部分和枯落物后装袋,在 65℃ 恒温箱内烘 24 h,烘干称量得到地上生物量及枯落物量。

地下生物量采用根钻法分层(0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm、40~60 cm)获取。根钻直径为 9 cm,每个样方取 3 钻,将采集的根系土样进行冲洗、阴干,然后装入信封放置冰箱内保鲜(6℃)直至扫描。

根系长度采用 CIAS 2.0 图像分析系统^[18] 计算获取。扫描后将根系装袋烘干(65℃ 24 h)称量,得到根系生物量。

2.3 分析方法

植物多样性分析选常用的多样性指数、丰富度指数和均匀度指数计算,其公式如下:

$$D = 1 - \sum P_i^2$$

$$H' = - \sum P_i \ln P_i$$

$$M_a = (S - 1) / \lg N$$

$$J_p = H' / \lg S$$

式中: D 为 Simpson 多样性指数; H' 为 Shannon-wiener 多样性指数; M_a 为 Margalef 丰富度指数; J_p 为 Pielou 均匀度指数; P_i 为种 i 的相对重要值, $P_i = R_c + R_i$, R_c 为物种盖度, R_i 为物种多度; S 为样方内物种数目; N 为所有物种个体数之和。

2.4 数据处理方法

采用 Excel 2003 进行数据处理,用 SPSS12.0 统计分析软件进行 ANOVO 单因素方差分析,不同指标间多重比较采用 Duncan 新复极差法。

3 结果与分析

3.1 物种多样性

调查发现,经过 37 年的退耕演替,4 种不同退

耕模式林地林下草本植被均以铁杆蒿为优势种,但不同退耕模式下群落物种组成仍存在一定的差异。综合图 1 中 Margalef 丰富度指数、Simpson 多样性指数、Shannon-wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数 4 个指数变化规律可知: 撂荒地草本植被 Margalef 丰富度指数为 3.20, 介于 4 种林地之间, 大小依次为油松 + 紫穗槐混交林 > 油松林 > 撂荒地 > 刺槐林 > 柠条林; 柠条林、刺槐林郁闭度和密度较大, 因此林下草本物种相对较少, Margalef 丰富度指数分别为 2.80、3.13; 物种均匀度则表现为撂荒地草本植被最高, 为 1.47, 分别为 4 种林地的 1.9 ~ 2.5 倍, 大小依次为撂荒地 > 油松 + 紫穗槐混交林 > 油松林 > 刺槐林 > 柠条林; 物种多样性可反映群落中物种数目的多少及各物种个体差异, 是丰富度和均匀度的综合体现, 大小依次为撂荒地 > 油松 + 紫穗槐混交林 > 油松林 > 刺槐林 > 柠条林。综上, 林地草本植被由于受灌乔影响, 种间竞争激烈, 物种多样性和撂荒地相比较低, 但 4 种林地物种多样性总体上规律一致, 为油松 + 紫穗槐混交林 > 油松林 > 刺槐林 > 柠条林。

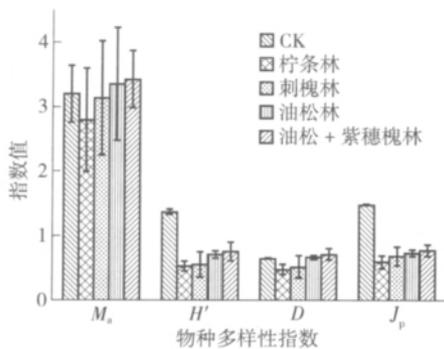


图 1 不同退耕模式植被物种多样性
Fig. 1 Vegetation species diversity of different restoration models

3.2 草本盖度

4 种不同退耕模式林地及撂荒地草本盖度、草本地上生物量、样地枯落物量及草本根冠比值测定结果见表 2。可以看出, 草本盖度大小依次为撂荒地 > 柠条林 > 刺槐林 > 油松 + 紫穗槐混交林 > 油松林, 但 ANOVO 单因素方差分析结果显示, 各样地草本盖度差异未达到显著水平。撂荒地草本盖度最高, 达 63.33%, 林下草本层由于受上层灌乔层影响, 草本盖度较低, 在 45.67% ~ 62.83% 之间, 柠条和刺槐林地草本盖度接近植被有效盖度 63%^[19]。

3.3 生物量

3.3.1 草本地上生物量 地上生物量可直观地反

表 2 不同退耕模式草本盖度、草本地上生物量、样地枯落物量及草本根冠比值

Tab. 2 Coverage, aboveground biomass, litter amount and root/shoot ratio of herbaceous plants of different restoration models

退耕模式	草本盖度 %	草本地上生物量 g·m ⁻²	样地枯落物量 g·m ⁻²	草本根冠比
撂荒地	63.33	318.20	750.52	1.65
柠条林	62.83	201.20	1 090.99	3.16
刺槐林	60.67	244.58	587.58	1.86
油松林	45.67	92.89	846.15	6.29
油松 + 紫穗槐林	46.93	104.63	1 377.88	7.42

应群落的物质生产量^[20]。由表 2 可知, 4 种不同退耕模式林地草本层及撂荒地草本地上生物量大小依次为撂荒地 > 刺槐林 > 柠条林 > 油松 + 紫穗槐混交林 > 油松林, 撂荒地草本植被由于光照、水分条件较好, 长势茂盛, 地上生物量最大, 为 318.20 g/m², 分别是 4 种林地草本地上生物量的 1.30 ~ 3.43 倍。对各样地草本地上生物量进行 ANOVO 单因素方差分析, 结果表明差异达极显著水平 ($P < 0.01$), 说明退耕模式不同对植被地上生物量影响较大。

3.3.2 样地枯落物量 枯落物是连接植物和土壤的纽带, 对水源涵养、水土保持具有重要作用。由表 2 可知, 不同退耕模式林地及撂荒地的样地枯落物量大小依次为油松 + 紫穗槐混交林 > 柠条林 > 油松林 > 撂荒地 > 刺槐林。该结果可能与各林地树种生物学特性有关: 油松是常绿针叶树种, 针叶有厚的角质层, 有助于减少水分蒸发, 保水性能较好, 且油松林凋落物油脂成分含量高, 凋落后不易分解, 故枯落物量大; 柠条适应性强, 萌发力也很强, 株丛茂密, 因此, 林内枯落物大量堆积; 撂荒地无乔灌层, 刺槐叶片薄, 凋落后易分解, 枯落物量均较少。ANOVO 单因素方差分析结果表明, 各样地枯落物量差异未达极显著水平。许多研究指出, 枯落物单位面积现存量与最大持水量关系密切^[21-22], 不同退耕模式样地枯落物量的差异可间接反映出各样地水土保持效益存在差异。

3.3.3 草本根系生物量 植物根系对稳定土壤结构、提高土壤抗冲性、防止土壤侵蚀有着重要作用^[23]。不同退耕模式林地草本根系生物量变化如图 2 所示。可以看出, 0 ~ 60 cm 土层根系生物量大小依次为油松 + 紫穗槐混交林 > 柠条林 > 撂荒地 > 油松林 > 刺槐林。各样地根系生物量均随土层深度

增加呈减少趋势,且大部分根系集中分布在表层0~20 cm 土壤中,占根系总生物量的65.3%~86.8%,退耕至此阶段,草本层群落以多年生植物为主,根系集中分布在土壤表层可增强土壤的抗冲性。进一步对多样地草本植被0~20 cm 土层根系生物量进行ANOVO 单因素方差分析,结果显示差异达显著水平($P < 0.05$),根系生物量的差异势必会导致根系固土作用差异显著。

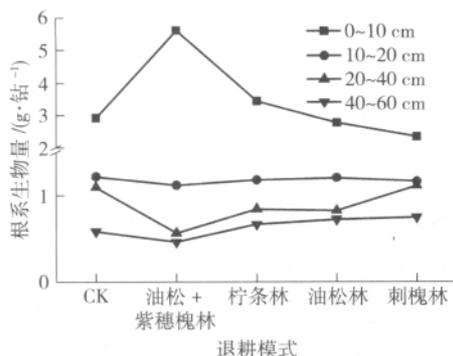


图2 不同退耕模式草本根系生物量

Fig. 2 Root biomass of different restoration models

3.3.4 草本根冠比 根冠比可反映分配给地下的光和产物的比例。不同退耕模式林下植被根冠比不同(表2)油松+紫穗槐混交林、油松林、柠条林3种模式林下植被根冠比值明显高于刺槐林及撂荒地,分别为刺槐林的3.99、3.38、1.70倍和撂荒地的4.49、3.80、1.91倍。对多样地林下植被根冠比采用ANOVO 单因素方差分析,结果显示差异显著($P < 0.05$)。油松+紫穗槐混交林林下植被根冠比最大,为7.42,说明该样地林下植被生物量绝大部分分布在地下,巨大的地下根系生物量可充分发挥根系固土作用,对减少水土流失效果显著。

3.4 草本根长密度

不同退耕模式林下草本根长密度均随土层深度增加而减少(图3),这与根系生物量的变化趋势是一致的,且不同土层根长密度差异显著($P < 0.05$)。对不同退耕模式林下草本植物不同土层根长密度进

行比较可知,20~60 cm 土层差异不明显,差异主要表现在表层0~20 cm 土层,大小变化为油松+紫穗槐混交林>柠条林>刺槐林>油松林>撂荒地。

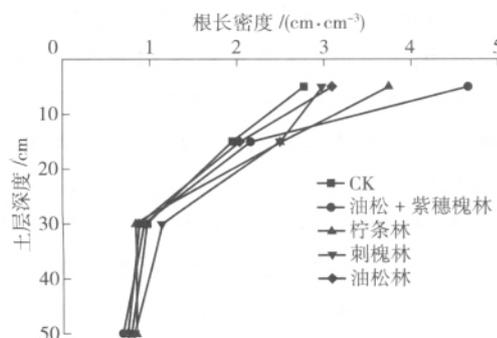


图3 不同退耕模式不同土层深度根长密度

Fig. 3 Comparison of root length density in different soil layers with different restoration models

M. R. Gale 等^[24]曾在1987年就通过研究不同树种不同演替阶段根系垂直分布特征提出了根系垂直分布模型

$$Y = 1 - \beta^d$$

式中: Y 为一定土层深度根系累积比例,%; d 为土层深度,cm; β 为根系消减系数。 β 值越小,说明根系越集中分布于表层土壤中,反之则在深层土壤中分布较多。许多学者利用此公式拟合了草地植被根系的垂直分布特征^[25-26]得到了较好的拟合效果。

将退耕均为37年的不同退耕模式样地土层深度为20 cm 的草本植被的根系生物量(Y_1)和根长密度(Y_2)分别代入公式 $Y = 1 - \beta^d$,对根系垂直分布特征参数 β 求解,拟合结果见表3。用根系生物量和根长密度拟合出的根系消减系数 β 在数值上是有差异的,ANOVO 单因素方差分析结果显示差异未达显著水平;但总体趋势是相似的,即油松+紫穗槐混交林、柠条林、油松林3种林下草本植被根系消减系数较小。说明经过37年退耕后,草本根系在表层土壤20 cm 深处分布比例较大,而撂荒地和刺槐林下草本植被根系消减系数相对较大,草本根系在深层土壤中分布比例较大。

表3 不同退耕模式林地林下草本植被根系消减系数

Tab. 3 Root cut coefficient of herbaceous vegetation in different restoration models

退耕模式	根系生物量			根长密度		
	$Y_1 (d=20 \text{ cm}) / \%$	$1 - Y$	β	$Y_2 (d=20 \text{ cm}) / \%$	$1 - Y$	β
撂荒地	71.110	0.289	0.940	73.000	0.270	0.937
油松+紫穗槐林	86.790	0.132	0.904	80.840	0.192	0.921
柠条林	75.380	0.246	0.932	78.860	0.211	0.925
油松林	71.990	0.280	0.938	76.140	0.239	0.931
刺槐林	65.310	0.347	0.948	73.730	0.263	0.935

3.5 土壤分层根系生物量与植被地上指标关系

对 4 种不同退耕模式林地及撂荒地土壤各层根系生物量与地上指标(草本盖度、草本地上生物量、样地枯落物量)进行相关分析并建立方程,结果见表 4。可知,各层根系生物量与植被地上指标均达到极显著相关($P < 0.01$),且呈良好的 $y = x^a$ 的幂指数关系。式中: y 为根系生物量; x 为地上指标; a 为幂指数。

3.6 草本植被各参数间相关性

不同退耕模式样地草本植被各指标间相关性分析结果见表 5。对照样地撂荒地,草本盖度与根长密度相关性不显著,油松 + 紫穗槐和刺槐样地草本盖度与草本地上生物量、根长密度,草本地上生物量与根长密度间无显著相关性,柠条样地仅草本盖度与根长密度间相关性不显著,油松样地草本盖度与根长密度,样地枯落物与根系生物量间无显著相关性,各样地其他指标间均达显著或极显著正相关。

表 4 植被不同土层根系生物量与地上指标回归关系

Tab. 4 Regression relation between root biomass of each soil layer and indices above the ground

土层/cm	地上指标	回归方程	R^2	P
0 ~ 10	草本盖度	$y = x^{1.437}$	0.997	0.000**
	草本地上生物量	$y = x^{1.099}$	0.990	0.000**
	样地枯落物	$y = x^{0.853}$	0.999	0.000**
10 ~ 20	草本盖度	$y = x^{1.202}$	0.995	0.000**
	草本地上生物量	$y = x^{0.920}$	0.992	0.000**
	样地枯落物	$y = x^{0.712}$	0.995	0.000**
20 ~ 40	草本盖度	$y = x^{1.135}$	0.997	0.000**
	草本地上生物量	$y = x^{0.872}$	0.995	0.000**
	样地枯落物	$y = x^{0.672}$	0.996	0.000**
40 ~ 60	草本盖度	$y = x^{1.045}$	0.995	0.000**
	草本地上生物量	$y = x^{0.801}$	0.990	0.000**
	样地枯落物	$y = x^{0.619}$	0.995	0.000**

注: ** 指在 0.01 水平上显著相关。

上述结果表明,草本盖度、草本地上生物量、样地枯落物量、草本根系生物量和根长密度 5 个指标间相互作用,共同影响着植被的生长进程。

表 5 不同退耕模式林下草本植被各测定指标相关性分析

Tab. 5 Correlation analysis about the determined indices of herbaceous vegetation in different restoration models

指标	退耕模式	草本盖度	草本地上生物量	样地枯落物量	草本根系生物量	草本根长密度
草本地上生物量	撂荒地	0.002**	1			
	油松 + 紫穗槐林	0.827	1			
	柠条林	0.004**	1			
	油松林	0.002**	1			
	刺槐林	0.703	1			
样地枯落物量	撂荒地	0.000**	0.000**	1		
	油松 + 紫穗槐林	0.000**	0.001**	1		
	柠条林	0.000**	0.000**	1		
	油松林	0.000**	0.001**	1		
	刺槐林	0.000**	0.000**	1		
草本根系生物量	撂荒地	0.000**	0.008**	0.005**	1	
	油松 + 紫穗槐林	0.017*	0.026*	0.041**	1	
	柠条林	0.000**	0.000**	0.000**	1	
	油松林	0.000**	0.002**	0.604	1	
	刺槐林	0.002**	0.003**	0.035*	1	
草本根长密度	撂荒地	0.352	0.001**	0.000**	0.000**	1
	油松 + 紫穗槐林	0.863	0.697	0.000**	0.013*	1
	柠条林	0.128	0.000**	0.000**	0.000**	1
	油松林	0.346	0.000**	0.000**	0.000**	1
	刺槐林	0.721	0.465	0.000**	0.001**	1

注: * 指在 0.05 水平上显著相关, ** 指在 0.01 水平上显著相关。

4 结论与讨论

1) 经过 37 年左右的植被恢复重建,不同退耕模式林下草本植被及撂荒地草本植被均呈现良好的演替趋势,均以铁杆蒿为优势种,但撂荒地光照、水分条件较好,不受乔灌木影响,草本植被的物种多样性及均匀度、草本盖度、草本地上生物量最高。

2) 退耕模式不同,样地枯落物量、草本根系生物量及草本根长密度不同。油松 + 紫穗槐混交林与柠条林 2 种退耕模式下的样地枯落物量、草本根系生物量、草本根长密度高于其他 3 个样地,且油松 + 紫穗槐混交林和柠条林草本根系在表层 20 cm 土层分布最集中,可以更好地发挥表层根系的固土作用。

3) 不同退耕模式下的草本根系生物量均与地

上各指标呈很好的幂指数关系,可以通过草地上各指标来预测根系生物量,草本植被各指标间总体呈很好的相关性。

根系生物量作为反映植被地下生长特征的重要参数,受到植被类型、土壤性状、生长时间等因素的影响,同时,由于地下根系的不可视性,其采样过程及难度往往较植被地上特征复杂;因此,通过构建根系生物量与植被地上特征参数间的函数关系,并以植被地上特征来表征根系生物量变化情况就显得尤为重要。本文对不同恢复模式林下草本植被土壤中根系生物量与植被地上特征指标的拟合结果可为今后研究根系生物量提供参考。此外,根系作为土壤侵蚀预测模型(如 WEPP 模型)的初始参数,这种通过植被地上特征来表征根系的方法可为土壤侵蚀预测模型提供借鉴。

试验中得到了中国科学院安塞水土保持试验站的大力支持,在样地选择上侯喜禄老师给予了大力的帮助,在此表示衷心的感谢。

5 参考文献

- [1] Carroll C, Merton L, Burger P. Impact of vegetation cover and slope on runoff erosion, and water quality for field plots in a range of soil and spoil material on central Queensland Coal Mines[J]. Aust J Soil Res, 2000, 38: 313-327
- [2] 唐克丽, 张科利, 郝粉莉, 等. 子午岭林区自然侵蚀与人为侵蚀剖析[J]. 中国科学院水利部水土保持研究所集刊, 1993(17): 17-18
- [3] 吴卿, 杨春霞, 甄斌, 等. 草被覆盖度对黄土坡面径流产沙影响的试验研究[J]. 中国水土保持, 2010(9): 56-58
- [4] 白文娟, 焦菊英, 马祥华, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕地自然恢复植物群落的分类与排序[J]. 西北植物学报, 2005, 25(7): 1317-1322
- [5] 罗志军, 刘耀林. 基于 RS 与 GIS 的植被覆盖度与水土流失关系研究: 以三峡库区秭归县为例[J]. 国土资源科技管理, 2008, 25(3): 6-10
- [6] 王秋生. 植被控制土壤侵蚀的数学模型及其应用[J]. 水土保持学报, 1991, 5(4): 68-72
- [7] 焦菊英. 黄土高原林草水土保持有效盖度分析[J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 608-612
- [8] 郭雨华. 黄河上游退耕还林地枯落物层持水特性研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(5): 105-108
- [9] 王坤凯, 费东红. 退耕还林地枯落物层容水特性研究[J]. 中国林业, 2010(15): 60
- [10] 赵丽, 张连根, 余伟莅, 等. 多伦县退耕还林地林下植被地上生物量年变化及影响因子研究[J]. 内蒙古林业科技, 2011, 37(1): 14-17
- [11] 刘孝勇, 宋乃平, 何秀珍. 盐池县不同建植类型甘草地下生物量分布规律及其草地经济效益[J]. 宁夏工程技术, 2010, 9(4): 345-348
- [12] 赵护兵, 刘国彬, 曹清玉. 黄土丘陵区不同植被类型对水土流失的影响[J]. 水土保持研究, 2004, 11(2): 153-155
- [13] 赵健, 魏天兴, 陈致富, 等. 陕西吴起县退耕还林地不同植被水土保持效益分析[J]. 水土保持学报, 2010, 24(3): 31-34
- [14] 张学权, 胡庭兴. 退耕地不同植被恢复模式对坡面径流的影响[J]. 四川林业科技, 2005, 26(1): 28-31
- [15] 刘洁, 李贤伟, 纪中华, 等. 元谋干热河谷三种植被恢复模式土壤贮水及入渗特性[J]. 生态学报, 2011, 31(8): 2331-2340
- [16] 王晗生, 刘国彬. 植被结构及其防止土壤侵蚀作用分析[J]. 干旱区资源与环境, 1999, 13(2): 62-68
- [17] 章文波, 路炳军, 石伟. 植被覆盖度的照相测量及其自动计算[J]. 水土保持通报, 2009, 29(2): 39-42
- [18] 王国梁, 周东. 黄土丘陵区退耕地先锋群落演替过程中细根特征的变化[J]. 西北植物学报, 2009, 29(2): 0356-0364
- [19] 郭忠升. 水土保持植被建设中的三个盖度: 潜势盖度、临界盖度和有效盖度[J]. 中国水土保持, 2000(4): 30-31
- [20] 张玉勋, 李建东. 草地植物群落地上生物量非破坏性估测方法的探讨[J]. 植物生态学报, 1991, 16(2): 177-182
- [21] 薛立, 何跃君, 屈明, 等. 华南典型人工林凋落物的持水特性[J]. 植物生态学报, 2005, 29(3): 415-421
- [22] 覃勇荣, 曾艳兰, 蒋光敏, 等. 不同植被恢复模式凋落物水分涵养能力比较研究: 以桂西北喀斯特石漠化地区为例[J]. 中国农学通报, 2008, 24(10): 179-184
- [23] Al-Humaid A, Moftah A E. Moftah. Effects of hydrophilic polymer on the survival of buttonwood seedlings grown under drought stress[J]. European Journal of Plant Nutrition, 2007, 30(1): 53-66
- [24] Gale M R, Grigal D E. Vertical root distribution of northern tree species in relation to successional status[J]. Can J For Res, 1987, 17: 829-834
- [25] 王俊明, 张兴昌. 退耕草地演替过程中植被根系的动态变化及其垂直分布[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(4): 67-72
- [26] 李鹏, 李占斌, 澹台湛. 黄土高原退耕草地植被根系动态分布特征[J]. 应用生态学报, 2005, 16(5): 849-853

(责任编辑: 宋如华)