

黄土丘陵区不同林龄人工刺槐林下 植被及土壤系统演变特征

董生健^{1,2}, 何小谦^{1,2}

(1. 甘肃省定西市临洮农业学校, 甘肃 临洮 550002; 2. 定西市农业科学院, 甘肃 定西 730070)

摘要: [目的] 研究黄土丘陵区人工刺槐林生长过程中土壤—植被系统演变特征, 揭示刺槐林对草地生态系统恢复产生的生态效应。[方法] 以陕西省黄土地区 5, 10, 15, 20 年生人工刺槐林为对象, 通过调查每个样地的土壤性质和地表植被特征, 分析黄土丘陵区人工刺槐林生长过程中土壤—地表植被的变化。[结果] 随着人工刺槐林的发育, 刺槐的冠幅、树高、分枝数和基径显著增加 ($p < 0.05$), 但 20 a 刺槐林有所降低; 林下地表草本植物物种数目、盖度和高度均显著降低, 林下地表草本植物密度在不同林龄之间差异不显著 ($p > 0.05$); 土壤电导率和容重呈先增加后降低趋势, 土壤 pH 值在不同林龄之间差异不显著 ($p > 0.05$), 土壤总孔隙度显著降低 ($p < 0.05$); 土壤有机碳、全氮、全磷、全钾、碱解氮和有效磷含量显著增加 ($p < 0.05$), 但 20 a 刺槐林有所降低, 并且土壤全磷含量在不同林龄之间差异不显著 ($p > 0.05$); 不同林龄人工刺槐林土壤养分均表现出明显的“表聚性”, 相同土层内土壤养分表现为 15 a > 20 a > 10 a > 5 a, 局部有所波动。相关分析表明, 土壤养分含量和刺槐形态特征是影响地表植物种数、个体数和盖度分布的主要因素。[结论] 黄土丘陵区人工刺槐林能够改善土壤养分含量和地表草本植被恢复, 以 15 a 人工刺槐林改善土壤养分含量效果最佳, 但随着林龄的增加, 其改善效果有所降低, 这种改善效果并没有影响土壤养分含量的垂直分布特征; 随林龄的增加, 人工刺槐林对地表草本植被的影响滞后于对土壤养分含量的影响。

关键词: 黄土丘陵区; 人工刺槐林; 土壤性质; 地表植被

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)05-0020-08

中图分类号: S181, S714.7

文献参数: 董生健, 何小谦. 黄土丘陵区不同林龄人工刺槐林下植被及土壤系统演变特征[J]. 水土保持通报, 2016, 36(5): 020-027. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.05.011

Evolution of Undergrowth Vegetation and Soil Properties with Development of Artificial *Robinia Pseudoacacia* in Loess Hilly Region

DONG Shengjian^{1,2}, HE Xiaoqian^{1,2}

(1. Lintao Agricultural School, Lintao, Gansu 730500, China;

2. Institute of Dingxi Agricultural Science, Dingxi, Gansu 730070, China)

Abstract: [Objective] To study the variation of undergrowth vegetation and soil properties during the growing process of artificial *Robinia pseudoacacia* in loess hilly region is of high significance to understanding the ecological impact of the plantations on the restoration of grassland ecosystem in loess hilly region. [Methods] We investigated the undergrowth vegetation and soil properties in 5, 10, 15, and 20 year artificial *R. pseudoacacia* in loess hilly region of Shaanxi Province, Northwest China, and analyzed the variations in undergrowth vegetation and soil properties during the growing process of the *R. pseudoacacia*. [Results] With the development of the plantations, the shrub crown width, height, sprout number, and basal diameter all increased significantly ($p < 0.05$), but decreased in the 20 a artificial *R. pseudoacacia*. The species number, coverage and height of undergrowth vegetation decreased significantly ($p < 0.05$), and the density of undergrowth vegetation had no significant differences among different development stages of artificial *R. pseudoacacia*. The soil conductivity and bulk density first increased and then decreased, soil pH had no significant

收稿日期: 2016-03-08

修回日期: 2016-05-16

资助项目: 甘肃省中小企业创新资助项目“野生濒危中药材羌活人工驯化繁殖示范研究”(1407GCCJ020)

第一作者: 董生健(1962—), 男(汉族), 甘肃省临洮县人, 本科, 高级讲师, 研究方向为农业基础理论研究和水土保持与荒漠化防治。E-mail: Dongshengjian@163.com.

differences among different development stages of artificial *R. pseudoacacia*, but the soil total porosity decreased significantly ($p < 0.05$). The soil nutrients increased significantly ($p < 0.05$), while they decreased in 20 a artificial *R. pseudoacacia*, and the soil total phosphorus had no significant differences in different development stages. The soil total nutrients of artificial *R. pseudoacacia* in loess hilly region had an obvious phenomena of "surface accumulation", which ordered 15 a > 20 a > 10 a > 5 a in the same soil layer with local fluctuation. Correlation analysis showed that the soil nutrients and morphological characteristics of *R. pseudoacacia* were the main factors affecting the species and individual number as well as the coverage of undergrowth vegetation. [Conclusion] It was suggested that in loess hilly region, the growing process of artificial *R. pseudoacacia* plantation is beneficial to the improvement of soil conditions and the recovery of undergrowth vegetation, and the 15 a artificial *R. pseudoacacia* produced the best effect in improving soil nutrient content. This effect decreased in 20 a artificial *R. pseudoacacia*, and did not changed the vertical distribution characteristics of soil nutrients. What is more, the influence on the undergrowth vegetation lagged behind its influence on soil nutrients.

Keywords: loess hilly region; artificial *Robimia pseudoacacia*; soil property; ground vegetation

黄土丘陵区是水土流失最为严重、生态环境极其脆弱的特殊生态区之一,地形破碎,土壤结构疏松,再加上干旱的气候条件和人为活动的影响,草地沙化、土壤退化问题十分严重,是中国水土流失严重的地区之一,流失主要是自然因素(如独特的地质地貌、气候条件、低植被覆盖)和人类因素(不合理的土地使用管理)共同作用的结果,直接影响了黄河流域的生态安全^[1-2]。近年来开展的生态建设和退耕还林生态工程极大改善该区的生态环境,以退耕还林还草为核心的生态环境建设迅速展开,人工植被恢复对改善土壤性质有着显著作用,植被覆盖率有了明显的提高,生态环境得到了明显的改善^[3]。有研究表明人工刺槐林可通过次生演替恢复土壤特性和维持土壤肥力,从而达到恢复生态系统健康的目的^[4-6]。刺槐又名洋槐,豆科乔木植物,原生于北美洲,在黄土丘陵区大面积种植,是黄土丘陵区水土流失区引种最成功的造林树种之一,对改善该区的生态环境、防止水土流失、调节水文状况以及改善土壤质量发挥着非常重要的作用^[2,5,7]。由于生长快、适应性强、繁殖容易、固氮、耐寒、耐旱、对光照、水分、土壤要求不严,具有极强的固沟护坡、防风固沙和水土保持作用等特点,在20世纪20年代得到大面积引种和栽植,对于改善该区生态环境、调节黄河流域的水文状况起到了关键作用^[6]。目前,黄土丘陵区针对刺槐的研究,主要集中在刺槐的生理机能、生长特性及其对土壤的水文效应及养分效应^[8-9],而对于刺槐林下植被及土壤系统演变特征的研究相对较少;在刺槐林生长发育过程中,地表草本植物群落结构发生演替变化,土壤性质发生改变,二者共同作用于林地生态系统恢复过程及其结构与功能^[10-11]。

本文拟以不同林龄(5, 10, 15, 20 a)的人工刺槐

林为研究对象,通过调查地表草本植被特征,结合土壤演变特征以及刺槐自身形态特征,分析刺槐林的生态恢复过程中土壤及植被特征的演变特征,探讨土壤养分在评价刺槐造林过程的生态意义,对准确评价黄土丘陵区种植刺槐林的生态效应和制订合理的管理措施,从而为评价黄土丘陵区不同植被恢复模式生态环境效益和指导植被建设合理布局提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省安塞县纸坊沟流域,地理坐标为 $109^{\circ}13'46''$ — $109^{\circ}16'03''$ E, $36^{\circ}46'42''$ — $36^{\circ}46'28''$ N,海拔 $1\ 010\sim 1\ 400\text{ m}$,年均气温 $8.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降水量 505.3 mm ,年际变化大且年内分配不均,属暖温带半干旱季风气候。该区地形破碎,沟壑纵横,属黄土丘陵区丘陵沟壑地貌,植被类型处于暖温带落叶阔叶林向干草原过渡的森林草原带。土壤类型以黄土母质上发育而成的黄绵土为主,抗冲抗蚀能力差,其中砂粒($2.0\sim 0.05\text{ mm}$)含量占 19.0% ,粉粒($0.05\sim 0.02\text{ mm}$)含量占 65.2% ,黏粒($<0.02\text{ mm}$)含量占 15.8% 。纸坊沟流域是中国科学院安塞水土保持试验站生态恢复定位试验研究小流域,该流域生态系统先后经历严重破坏期(1938—1958年)、继续破坏期(1959—1973年)、不稳定期(1974—1983年)、稳定恢复改善期(1983—1990年)和良性生态初步形成期(1991年至今)。经过30 a多的水土保持综合治理,通过林草植被和工程等措施建设,有效遏制了该流域的土壤侵蚀,成功地恢复了退化生态系统,林地面积从1980年的不足 5% 增加到 40% 以上,生态系统进入良性循环阶段^[6,9]。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集 采样时间为 2015 年 8 月,根据地貌特征、植被以及不同年龄人工刺槐林地状况,以典型性和代表性为原则,采用时空互代法选择营造和管理方法一致,土壤与成土母质类型相同的 5, 10, 15, 20 a 人工刺槐林 4 个处理样地,每个样地面积设置为 80 m×140 m,每个样地设置 3 个采样点,每个样点相距 10 m 左右,每个采样点调查地表草本植被,林带下和林带间各随机设置 10 个草本样方,共计 120 个。同时,在每个样地中设置 5 个 10 m×10 m 样方,调查柠条灌丛的密度及其灌丛形态特征(调查指标:草本植物种类、密度、盖度和平均高度;刺槐林的密度、高度、冠幅、分枝数和基径。其中,5 a 生柠条的平均密度为 21 株/100 m²;10, 15, 20 a 生刺槐平均密度介于 15~20 株/100 m²)。每个采样点重复取 5 次作为平行,5 个平行之间间隔 3 m,为了保证取样的一致性,所取样的土壤坡度均小于 5°,采用四分法取样(保留 1 kg 左右),按“S”形多点采样法在每个样地用无菌小铁铲采集 0—10, 10—20, 20—30, 30—40 cm,采样时除去土壤表面动植物残体,所采土壤样品充分混匀后用聚乙烯无菌塑料袋密封包好,并迅速带回实验室内分析测定,所取土样分为 3 份,一份装自封袋中,测定土壤含水量(烘干法, %),一份新鲜

土样过 2 mm 筛后测定土壤养分,一份自然风干(20 d)去除碎片和部分根后过 0.5 mm 筛测定土壤养分及理化性质,并在取样点附近挖取剖面测定土壤容重(环刀法, g/cm³)计算土壤总孔隙度(%)^[13]。

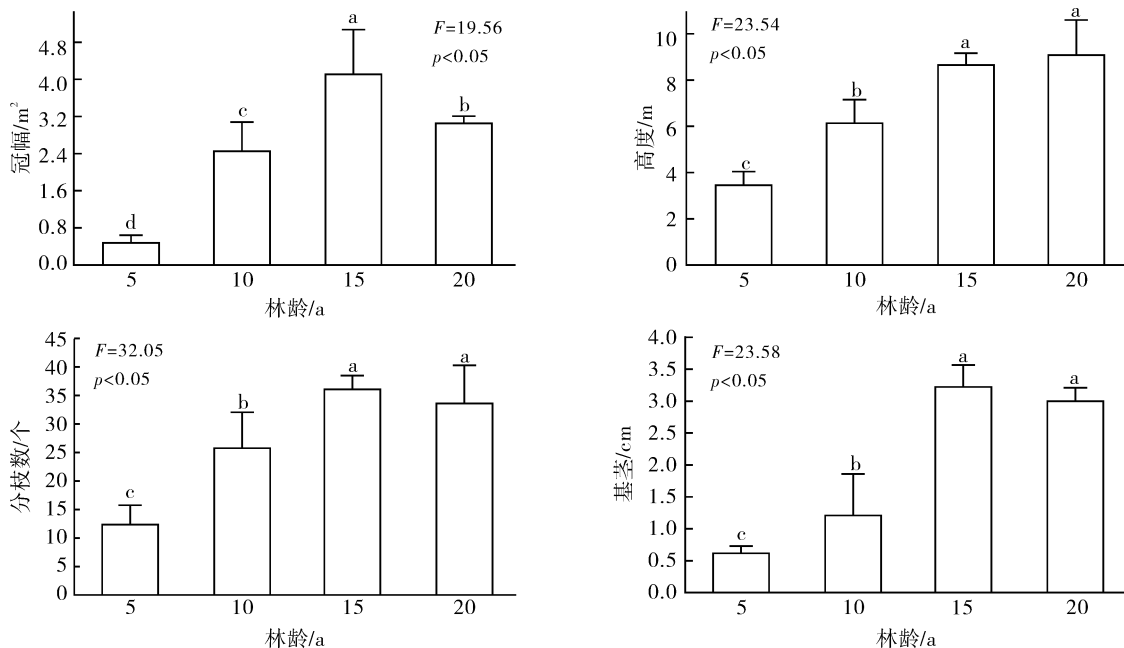
1.2.2 样品的测定 土壤理化性质及养分含量的测定:pH 采用电极电位法(1:2.5 土水比);土壤电导率(5:1 水土比浸提液, μS/cm)采用 P4 多功能测定仪测定;全盐采用电导法(%);土壤有机碳含量(g/kg)采用重铬酸钾氧化外加热法;土壤全氮含量(g/kg)用全自动凯氏定氮法;土壤全磷(g/kg)用 NaOH 熔融—钼锑抗比色法;有效磷含量(mg/kg)采用 NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法测定;碱解氮含量(mg/kg)采用 NaOH—H₃BO₃ 法测定;全钾含量(g/kg)采用火焰分光光度法^[12]。

统计分析:利用 Excel 2003 和 SPSS 18.00 软件对数据进行分析,采用 Origin 8.2 作图,单因素方差进行分析(one-way ANOVA),显著性分析采用 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 不同林龄人工刺槐林形态特征

不同林龄人工刺槐林形态特征具有明显差异,随着林龄的增加,人工刺槐林的冠幅、平均高度、分枝数和地径均发生了极显著变化(图 1)。



注:不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同。

图 1 黄土丘陵区不同林龄人工刺槐林形态特征

各指标表现为随着林龄的增加,冠幅、平均高度、分枝数和地径呈先增加后降低趋势,以 15 a 人工刺槐林的冠幅、平均高度、分枝数和地径达到最大;其中

15 a 人工刺槐林的冠幅、平均高度和地径显著高于其他生长年限($p < 0.05$),不同林龄人工刺槐林冠幅大小基本表现为:15 a > 20 a > 10 a > 5 a,不同林龄之间

差异均显著($p < 0.05$);不同林龄人工刺槐林平均高度基本表现为:20 a > 15 a > 10 a > 5 a, 20 和 10 a 差异不显著($p > 0.05$),显著高于 5 a($p < 0.05$);不同林龄人工刺槐林分枝数基本表现为:15 a > 20 a > 10 a > 5 a, 15 a 和 20 a 差异不显著($p > 0.05$),显著高于 5 a($p < 0.05$);不同林龄人工刺槐林地径基本表现为:15 a > 20 a > 10 a > 5 a, 15 a 和 20 a 差异不显著($p > 0.05$),显著高于 5 和 10 a($p < 0.05$)。

2.2 不同林龄人工刺槐林下植被特征

由图 2 可知,人工刺槐林生长过程对地表植被的物种数、盖度和高度均存在显著影响。

人工刺槐林下草本植物物种数随林龄的增加呈

先降低后增加趋势,基本表现为:5 a > 20 a > 15 a > 10 a, 5 a, 20 a 和 15 a 人工刺槐林下物种数差异不显著($p > 0.05$);人工刺槐林下草本植物密度随林龄的增加呈先降低后增加趋势,基本表现为:5 a > 10 a > 20 a > 15 a, 不同林龄人工刺槐林下草本植物密度差异均不显著($p > 0.05$);人工刺槐林下草本植物盖度随林龄的增加呈降低趋势,基本表现为:5 a > 10 a > 15 a > 20 a, 5 a, 10 a 和 15 a 人工刺槐林下草本植物盖度差异不显著($p > 0.05$);人工刺槐林下草本植物高度随林龄的增加呈先降低后增加趋势,基本表现为:5 a > 10 a > 20 a > 15 a, 5 a, 10 a 和 20 a 人工刺槐林下草本植物高度差异不显著($p > 0.05$)。

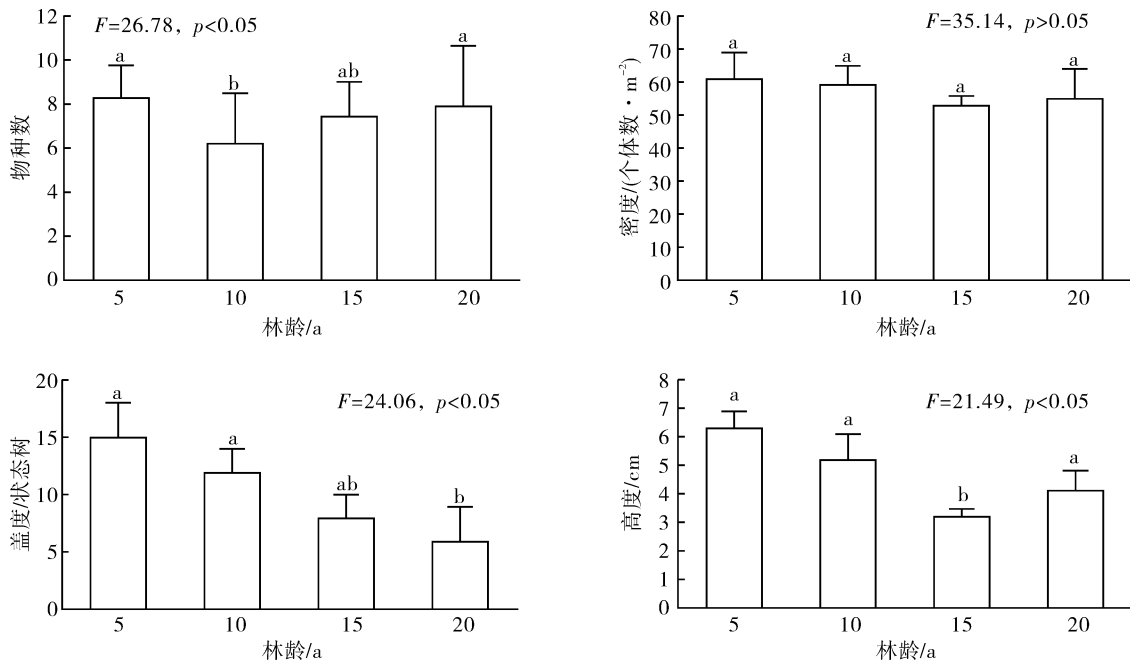


图 2 黄土丘陵区不同林龄人工刺槐林下植被特征

2.3 不同林龄人工刺槐林下土壤理化性质

由图 3 可知,不同林龄人工刺槐林土壤理化性质(0—40 cm 土层平均值)具有明显差异,不同林龄人工刺槐林土壤 pH 值变化范围为 7.52~8.01,随林龄的增加呈先增加后降低趋势,基本表现为:15 a > 10 a > 20 a > 5 a,而不同林龄人工刺槐林土壤 pH 差异不显著($p > 0.05$);土壤电导率变化范围为:62.51~92.15 $\mu\text{s}/\text{cm}^2$,基本表现为:15 a > 10 a > 20 a > 5 a,其中以 15 a 土壤电导率最大,显著高于其他生长年限($p < 0.05$),10 和 20 a 土壤电导率差异不显著($p > 0.05$),显著高于 5 a($p < 0.05$);土壤容重变化范围为 1.02~1.23 g/cm^3 ,基本表现为 15 a > 10 a > 20 a > 5 a,其中以 15 a 土壤容重最大,显著高于其他生长年限($p < 0.05$),10 和 20 a 土壤电导率差异不

显著($p > 0.05$),显著高于 5 a($p < 0.05$);土壤总孔隙度变化范围为 35.26%~42.35%,随林龄的增加呈先降低后增加趋势,基本表现为:5 a > 10 a > 20 a > 15 a,其中以 5 a 土壤容重最大,显著高于其他生长年限($p < 0.05$),10 和 20 a 土壤电导率差异不显著($p > 0.05$),显著高于 15 a($p < 0.05$)。

2.4 不同林龄人工刺槐林下土壤养分含量

由表 1 可知,不同林龄人工刺槐林土壤养分含量(0—40 cm 土层平均值)具有明显差异,不同林龄人工刺槐林土壤有机碳变化范围为:10.28~13.56 g/kg ,随林龄的增加呈先增加后降低趋势,基本表现为:15 a > 20 a > 10 a > 5 a,其中以 15 a 土壤有机碳含量最大,显著高于其他生长年限($p < 0.05$),15 和 20 a 土壤有机碳差异不显著($p > 0.05$),显著高于 5 a($p <$

0.05);土壤全氮含量变化范围为 0.51~0.78 g/kg,随林龄的增加呈先增加后降低趋势,基本表现为:15 a>20 a>10 a>5 a,其中以 15 a 土壤全氮含量最大,显著高于其他生长年限($p<0.05$),15 和 20 a 土壤全氮差异不显著($p>0.05$),显著高于 5 a($p<0.05$);土壤全磷含量变化范围为 1.02~1.36 g/kg,随林龄的增加呈先增加后降低趋势,基本表现为:15 a>10 a>20 a>5 a,其中以 15 a 土壤全磷最大,不同林龄人工刺槐林土壤全磷含量差异均不显著($p<0.05$);土壤全钾含量变化范围为 16.87~29.41 g/kg,随林龄的增加呈先增加后降低趋势,基本表现为 15 a>20 a>10 a>5 a,其中以 15 a 土壤全钾含量最

大,显著高于其他生长年限($p<0.05$),10 和 20 a 土壤全氮差异不显著($p>0.05$),显著高于 5 a($p<0.05$)。

土壤碱解氮含量变化范围为 43.15~61.23 g/kg,随林龄的增加呈增加趋势,基本表现为:15 a>20 a>10 a>5 a,其中以 20 a 最大,显著高于其他生长年限($p<0.05$),15 和 20 a 土壤全氮含量差异不显著($p>0.05$),显著高于 5 a($p<0.05$);土壤有效磷含量变化范围为 2.32~3.24 mg/kg,随林龄的增加呈增加趋势,基本表现为:15 a>20 a>10 a>5 a,其中以 20 a 土壤有效磷最大,不同年限土壤有效磷含量差异均显著($p<0.05$)。

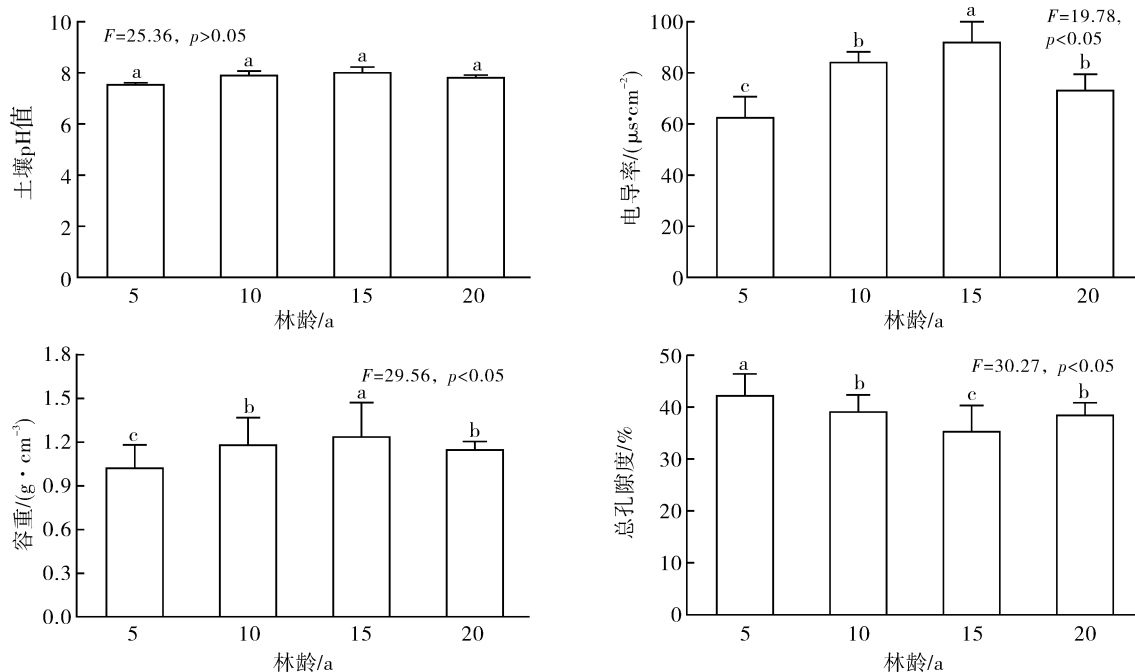


图 3 不同林龄人工刺槐林土壤理化性质

2.5 不同林龄人工刺槐林下土壤养分垂直分布特征

从土壤剖面上看,图 4 反应了不同林龄人工刺槐林土壤养分含量垂直分布规律。由图 4 可知,土壤有机碳、全氮、全磷、全钾、碱解氮和有效磷含量随土层深度的增加呈下降趋势,表现出上肥下瘦的特点,土

壤养分含量均以 0—10 cm 土层(表层)最高,呈现出明显的“表聚性”,30—40 cm 土层内土壤养分含量最低,10 cm 土层以下土壤养分含量急剧下降,相同土层内土壤养分含量表现为 15 a>20 a>10 a>5 a,局部有所波动,40 cm 土层不同林龄土壤养分含量基本达到一致。

表 1 不同林龄人工刺槐林土壤养分

林龄/a	有机碳/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全氮/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全磷/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全钾/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	碱解氮/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有效磷/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
5	10.28±2.03 ^c	0.51±0.08 ^c	0.98±0.09 ^a	16.87±2.54 ^c	43.15±3.69 ^c	2.32±0.13 ^d
10	12.17±1.16 ^b	0.64±0.13 ^b	1.03±0.05 ^a	23.56±3.01 ^b	56.32±4.25 ^b	2.77±0.32 ^c
15	13.56±1.83 ^a	0.72±0.09 ^a	1.05±0.13 ^a	29.41±2.04 ^a	58.37±2.47 ^{ab}	3.24±0.21 ^a
20	13.05±1.47 ^a	0.78±0.11 ^a	1.01±0.06 ^a	24.78±3.56 ^b	61.23±3.27 ^a	2.90±0.31 ^b
平均值	12.27±1.53	0.66±0.12	1.02±0.08	23.66±2.85	54.77±3.68	2.78±0.29
p 值	<0.01**	<0.01**	>0.05	<0.01**	<0.01**	<0.01**
F 值	36.29	23.78	31.04	36.79	26.74	29.03

注:同列不同小写字母表示具有差异性;* *表示差异性特别显著。下同。

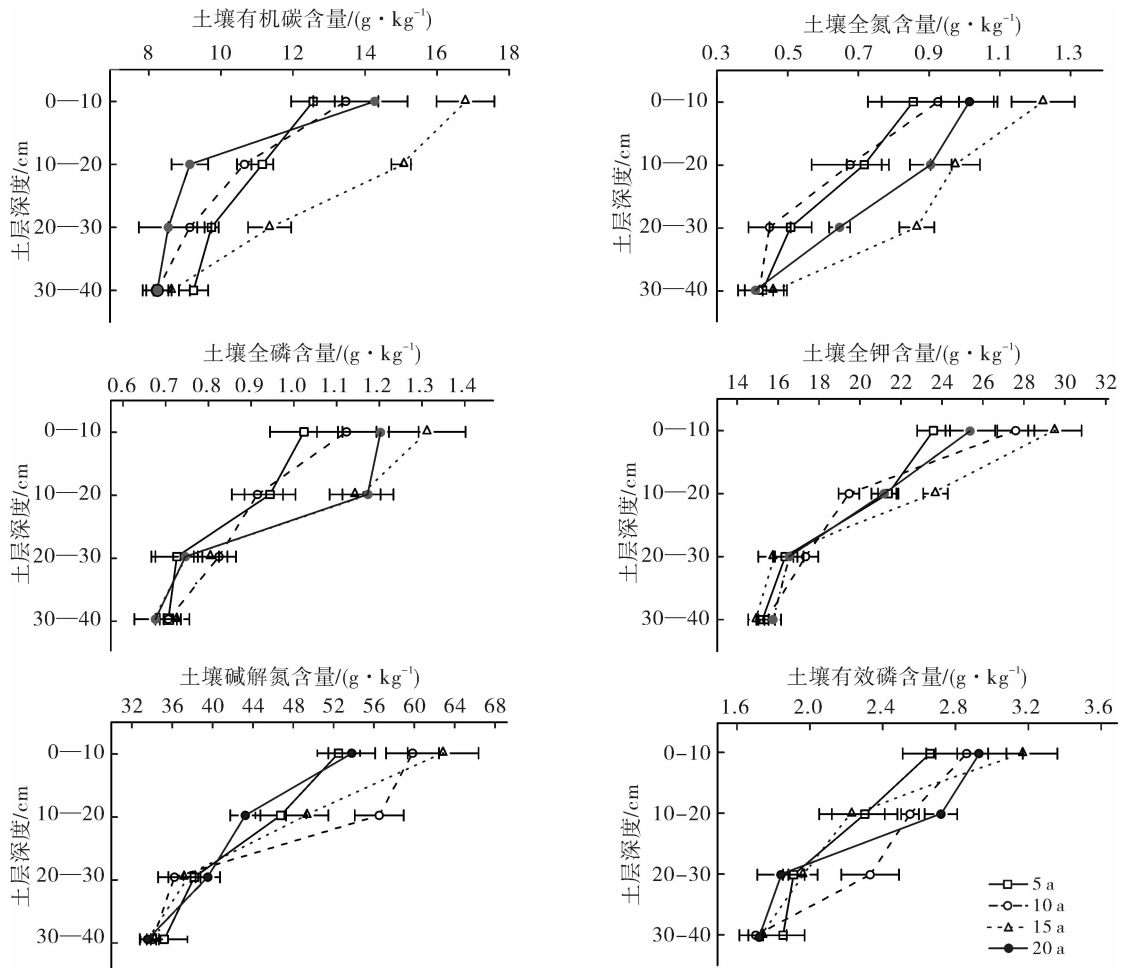


图 4 不同林龄人工刺槐林土壤养分垂直分布

2.6 不同林龄人工刺槐林下植被与土壤性质间的关系

不同林龄人工刺槐林下植被属性与土壤性质间存在不同的相关关系,表 2 的结果表明:人工刺槐林下植被物种数与土壤有机碳、全氮、碱解氮和有效磷呈极显著正相关($p < 0.01$),与刺槐高度、地径、土壤总孔隙度呈显著正相关($p < 0.05$),与土壤容重呈显著负相关($p < 0.05$);人工刺槐林下植被密度与刺槐高度、地径、土壤全氮和有效磷呈极显著正相关($p < 0.01$),与刺槐冠幅、分枝数、土壤有机碳和碱解氮呈显著正相关($p < 0.05$);人工刺槐林下植被盖度与土壤有机碳、全氮呈极显著正相关($p < 0.01$),与土壤碱解氮和与线路呈显著正相关($p < 0.05$),与刺槐地径显著负相关($p < 0.05$);人工刺槐林下植被高度与土壤全钾和有效磷呈极显著正相关($p < 0.01$),与土壤有机碳、全氮、全磷和碱解氮呈显著正相关($p < 0.05$),与刺槐高度呈显著负相关($p < 0.05$)。

3 讨论与结论

在黄土丘陵区,随着人工刺槐林的生长发育,其冠幅、高度、分枝数和地径呈增加趋势,土壤性质和地表草本植被均发生显著性变化^[7-9]。不同年龄刺槐林地地表草本植被具有不同的生长情况(表 2)。

分析不同林龄间地表植被特征,在 5 a 生林地地表草本植物物种数高于其他刺槐林地,反映了这些地表植物物种对于林龄的适应性;15,20 年生刺槐林冠幅较大,加上土壤养分的条件,地表草本植物的定居情况出现明显的不同。综上可知地表草本植物物种数、密度和高度在刺槐林龄 5 a 时受林龄的影响较小,在 10 a 之后受到林龄的显著影响,而且均随林龄增加呈先降低后增加趋势,林下地表草本植物密度在不同林龄之间差异不显著($p > 0.05$),在 15 a 表现出对地表植被特征的显著影响,主要是由于在 5 a 刺槐林地中,不利于地表植被的生长,地表植被个体更多的是呈现出“机会性”特征,稳定性较差,但在生长 10 a 以后,其冠幅和高度的显著增加,能够提供比 5 a

刺槐林地更好的微气候条件,地表草本植被个体数呈现出相对的稳定性^[13-14]。相关分析表明,地表草本植物个体数与土壤养分和刺槐形态特征亦存在相关关系,也说明了这一点。表 2 中,土壤养分和刺槐形态特征是影响地表植被物种数、个体数和盖度分布的主要因素,而地表草本植被属性与刺槐形态特征均呈负相关,由此说明地表草本植被盖度和高度受刺槐形态的限制较小,而均受到林龄的显著影响。此外,相关性分析的结果表明:物种数大量的根系活动通过改变其土壤团聚体结构,进而导致其土壤更加疏松和孔隙度增加,具体表现为土壤容重降低和土壤总孔隙度的增加;而土壤容重对其高度则是通过改善土壤通气状况间接性促进地上植被的生长;刺槐的高度为地表植被提供了良好的栖息地和遮阴条件,导致林型地表植被数目增加,而由于地表植被和刺槐均需要大量的土壤养分,从而受到养分限制性,这种情况下,林型地表植被通过降低高度权衡与土壤养分的吸收及其与刺槐的竞争。

表 2 不同林龄人工刺槐林土壤养分因子相关性

项 目	刺槐林型地表植被			
	物种数	密度	盖度	高度
冠 幅	0.512	0.762*	-0.283	-0.365
刺槐 高度	0.623*	0.814**	-0.124	-0.593*
特征 分枝数	0.168	0.703*	-0.356	-0.214
地 径	0.725*	0.822**	-0.617*	-0.058
pH 值	-0.165	0.035	0.132	0.025
土壤 电导率	-0.239	-0.278	-0.136	0.165
性质 容 重	-0.610*	-0.127	0.236	-0.534*
总孔隙度	0.639*	0.368	0.317	0.389
有机碳	0.885**	0.756*	0.866**	0.639*
全 氮	0.893**	0.803**	0.873**	0.765*
土壤 全 磷	0.531	0.136	0.356	0.623*
养分 全 钾	0.742*	0.532	0.217	0.814**
碱解氮	0.903**	0.699*	0.697*	0.712*
有效磷	0.912**	0.814**	0.723*	0.863**

注:*,** 分别表示在 0.05,0.01 水平上差异显著。

从 5 年生到 20 年生刺槐林地,土壤养分含量呈先增加后降低趋势,说明刺槐林生长发育过程中改变了土壤养分含量,主要是由于种植刺槐林后,大量的枯枝落叶和营养元素等物质返回到生态系统中,土壤中的有机物含量增多,为微生物提供充足的碳源,同时刺槐可以形成固氮菌,固定更多的空气中氮素,为土壤系统提供更多氮素,促进微生物生理代谢活动,因此种植刺槐后,土壤养分含量显著增加^[15];其次,每年有大量的枯枝落叶的输入以及土壤微生物和土

壤动物的作用,土壤表层发生物理化学变化,逐渐形成了灰褐色的结皮层,经过长时间的腐殖质化过程,土壤养分含量明显提高^[14];但 20 a 人工刺槐林土壤养分有所降低,说明刺槐这种改善土壤的效应有一定的林龄阈值。在此过程中,土壤全磷含量并没有明显的变化趋势,主要是由于磷素是一种沉积性元素,由母质类型和成土条件决定,在土壤中的存在形式较稳定、不易流失。

在植被恢复过程中,除土壤水热条件、结构组成、养分丰缺等外界条件外,林木的生长特性也影响土壤养分的变化,并呈现出一定的规律性:在生长前期,随着林龄增加,植物生物量迅速积累,枯枝落叶和营养物质急剧增加,土壤养分增加;到了中龄或成熟林期(>15 a),刺槐生长旺盛,林分郁闭度增加,林下光照强度显著降低,土壤水分剧烈消耗,形成土壤干层,高密度林分下的植被生长受到强烈抑制,林下地表植被种类、生物量显著降低,土壤养分积累下降,根系微生物活性减慢,所以在此时期土壤养分基本保持稳定或者有降低趋势,成熟林后期,在自然稀疏等因素的作用下,林冠逐渐疏透,林下光照增强,林下植物群落的盖度、生物量和植物种类增加,但土壤养分有所降低^[16-17]。另外,土壤根系活动亦有利于促进刺槐林地土壤表层发育,土壤结构变得疏松而导致土壤容重降低;在刺槐林发育过程中,根系有机酸的分泌及其与微生物的相互作用均可能导致土壤 pH 值有所变化,而土壤电导率的增加,可能与刺槐林地枯落物中可溶性盐的积累和沉积有关,但是由于土壤电导率值在相对较低的范围内变化,这种枯落物中盐分的积累并没有导致土壤盐渍化^[18-19]。

土壤养分垂直分布特征取决于有机物质和腐殖质的淋溶、迁移和淀积过程。大量枯枝落叶在土壤表层进行分解,除直接被植物吸收利用外,便进入表层土壤中,土壤枯枝落叶和动植物残体随土层的深度而减少,深层土壤性质更接近于母质,造成土壤养分含量急剧降低,而表层土壤结构疏松、通气性和微生物活动强烈,有机碳分解较快,下层土壤机构及稳定性较强^[20-21]。因此,本研究中不同林龄人工刺槐林土壤养分均表现出明显的“表聚性”(图 3),30—40 cm 土层内土壤养分含量最低,10 cm 土层以下土壤养分急剧下降,相同土层内土壤养分表现为:15 a>20 a>10 a>5 a,局部有所波动,40 cm 土层不同林龄土壤养分基本达到一致,由此表明黄土丘陵区人工刺槐林能够改善土壤养分和地表草本植被恢复,以 15 a 人工刺槐林改善土壤养分效果最佳,但随着林龄的增加,其改善效果有所降低,这种改善效果并没有影响

土壤垂直分布特征;随林龄的增加,人工刺槐林对草本植被的影响滞后于对土壤养分的影响。

刺槐生长过程中林地土壤性质的改变和土壤肥力的提高,对地表草本植被亦产生了显著的影响,与刺槐林生长过程中土壤质地改善、土壤养分含量增加有关。随着林龄的增加,土壤条件改善有利于地表植物存活和生长,对于草地生态系统的恢复有重要意义,而20年生刺槐林存在老化现象,严重影响地表植被盖度和高度的提高,说明20年生刺槐林需要采取一定的管理措施,才能促使地表植被盖度和高度的增加,具体原因尚需进一步分析。综合分析表明,随着人工刺槐林生长,土壤性质和地表草本植被特征均发生显著变化,土壤养分以及刺槐形态特征影响地表草本植物物种数、个体数和盖度的分布,随着刺槐林生长和林龄增加,土壤条件改善和地表草本植被共同作用。

[参 考 文 献]

- [1] 傅伯杰,陈利顶,马克明.黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响:以延安市羊圈沟流域为例[J].地理学报,1999(3):241-246.
- [2] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J].应用生态学报,2004,15(12):2292-2296.
- [3] 陈利顶,傅伯杰,王军.黄土丘陵区典型小流域土地利用变化研究[J].地理科学,2001,21(1):46-51.
- [4] 王国梁,刘国彬.黄土丘陵区纸坊沟流域植被恢复的土壤养分效应[J].水土保持通报,2002,22(1):1-5.
- [5] 王国梁,刘国彬,常欣,等.黄土丘陵区小流域植被建设的土壤水文效应[J].自然资源学报,2002,17(3):339-344.
- [6] 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.
- [7] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵区小流域植被恢复的土壤养分效应研究[J].水土保持学报,2005,19(1):93-96.
- [8] 杨新民,杨文治.黄土丘陵区人工林地土壤水分平衡初探[J].林业科学,1989,25(6):549-553.
- [9] 高艳鹏,赵廷宁,骆汉,等.黄土丘陵沟壑区人工刺槐林土壤水分物理性质[J].东北林业大学学报,2011,39(2):64-66.
- [10] 肖洪浪,李新荣,段争虎,等.流沙固定过程中土壤—植被系统演变对水环境的影响[J].土壤学报,2003,40(6):809-814.
- [11] 李新荣,张景光,刘立超,等.我国干旱沙漠地区人工植被与环境演变过程中植物多样性的研究[J].植物生态学报,2000,24(3):257-261.
- [12] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [13] 刘任涛,柴永青,徐坤,等.荒漠草原区柠条固沙人工林地地表草本植被季节变化特征[J].生态学报,2014,34(2):500-508.
- [14] 焦菊英,焦峰,温仲明.黄土丘陵沟壑区不同恢复方式下植物群落的土壤水分和养分特征[J].植物营养与肥料学报,2006,12(5):667-674.
- [15] 胡娟娟,傅伯杰,靳甜甜,等.黄土丘陵沟壑区植被恢复对土壤微生物生物量碳和氮的影响[J].应用生态学报,2009,20(1):45-50.
- [16] 吕贻忠,马兴旺.荒漠化土壤养分变化的影响因素研究进展[J].生态环境学报,2003,12(4):473-477.
- [17] 刘任涛.荒漠草原区柠条人工固沙林生长过程中地表植被对土壤的变化[J].应用生态学报,2012,23(11):2955-2960.
- [18] 王新平,李新荣,肖洪浪,等.干旱半干旱地区人工固沙灌木林生态系统演变特征[J].生态学报,2005,25(8):1974-1980.
- [19] 杨新国,赵伟,陈林,等.荒漠草原人工柠条林土壤与植被的演变特征[J].生态环境学报,2015(4):15-20.
- [20] 张心昱,陈利顶,李琪,等.不同农业土地利用类型对北方传统农耕地土壤养分含量及垂直分布的影响[J].农业环境科学学报,2006,25(2):377-381.
- [21] 安慧,韦兰英,刘勇,等.黄土丘陵区油松人工林和白桦天然林细根垂直分布及其与土壤养分的关系[J].植物营养与肥料学报,2007,13(4):611-619.