

黄河三角洲退化刺槐林不同改造方式对土壤酶活性及理化性质的影响

夏江宝¹, 许景伟², 李传荣³, 王月海², 刘京涛¹

(1. 滨州学院, 山东省黄河三角洲生态环境重点实验室, 山东 滨州 256603;

2. 山东省林业科学研究院, 山东 济南 250014; 3. 山东农业大学 林学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 采用野外典型抽样调查和室内分析测定相结合的方法, 选取黄河三角洲重度退化刺槐林的 4 种改造方式, 即棉田、白蜡林、白蜡+刺槐(混交林)、白蜡+棉花(农林间作), 以未改造的重度退化刺槐林地作为对照, 对改造 5 a 后的土壤酶活性、土壤容重、孔隙度、盐碱状况及养分含量进行了测定分析。结果表明: (1) 4 种改造方式都不同程度地增加了土壤磷酸酶、脲酶活性, 降低了多酚氧化酶活性。过氧化物酶虽有增加趋势, 但差异不显著。多酚氧化酶和脲酶活性排序均为: 混交林>白蜡林>农林间作>棉田; 混交林、农林间作、白蜡林、棉田改造方式下的磷酸酶活性分别是对照的 3.5、3.2、1.7、1.6 倍。(2) 改造林地的土壤容重、含盐量均表现降低趋势, 其均值大小均表现为: 混交林<农林间作<白蜡林<棉田, 分别比对照下降 14.5%、12.3%、9.0%、7.7% 和 35.3%、27.9%、13.2%、7.4%; 总孔隙度表现为增大趋势, 棉田、白蜡林改造方式表现出一定的增碱负效应。(3) 改造后土壤养分增加显著, 土壤有机质及有效 N、P、K 总体表现为混交林改造方式下最高, 农林间作高于白蜡林, 棉田波动较大。混交林和农林间作改造方式对土壤酶活性及理化性质的总体改善效果较好, 建议作为重度退化刺槐林的主要改造方式进行推广。

关键词: 黄河三角洲; 刺槐林; 改造方式; 酶活性; 土壤理化性状

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)05-0171-05

中图分类号: S714.6, S727.22

Effects of Different Improving Patterns for Degraded *Robinia Pseudoacacia* Plantation on Soil Enzyme Activity and Physicochemical Properties in Yellow River Delta

XIA Jiang-bao¹, XU Jing-wei², LI Chuan-rong³, WANG Yue-hai², LIU Jing-tao¹

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Eco-environmental Science for the Yellow River Delta,

Binzhou University, Binzhou, Shandong 256603, China; 2. Shandong Research Institute of Forestry, Ji'nan,

Shandong 250014, China; 3. College of Forestry, Shandong Agriculture University, Taian, Shandong 271018, China)

Abstract: In order to understand the effects of different improving patterns for badly degraded *Robinia pseudoacacia* plantation in the Yellow River Delta area, soil enzyme activity, soil density, porosity, saline-alkali content and soil nutrients under the plantation improved for five years were determined. Four improving measures, including cotton field, pure forest of *Fraxinus chinensis*, agro-forestry of *F. chinensis* + cotton and mixed forest of *F. chinensis* + *R. pseudoacacia*, were selected, with the badly degraded *R. pseudoacacia* plantation serving as the control (CK). Results are as follows: (1) The improving patterns clearly affected soil phosphatase, urease and polyphenol oxidase, but not soil peroxidase. Soil phosphatase and urease activity increased, but soil polyphenol oxidase decreased. The activities of polyphenol oxidase and urease showed such an order of mixed forest>pure forest>agro-forestry>cotton field. Phosphatase activities in mixed forest, agro-forestry, pure forest and cotton field were 3.5, 3.2, 1.7 and 1.6 times of that of CK, respectively. (2) Soil density and soil salt content decreased after adopting the four improving patterns, and these indexes were in the order of mixed forest<agro-forestry<pure forest<cotton field. Compared with CK, soil density decreased by 14.5%, 12.3%, 9.0% and 7.7%; and soil salt content decreased by 35.3%,

收稿日期: 2011-07-15

修回日期: 2011-11-13

资助项目: 国家科技支撑计划课题“盐碱地改良沿海防护林体系研究与示范”(2009BADB2B0502); 国家科技支撑计划项目“重要海湾海岸带典型受损生境修复关键技术研究” (2010BAC68B01); 服务滨州科学发展行动计划立项项目 (BZX YFB20110503)

作者简介: 夏江宝(1978—), 男(汉族), 山东省安丘市人, 博士, 副教授, 主要从事植被恢复与生态重建研究。E-mail: xiajb@163.com。

通信作者: 许景伟(1963—), 男(汉族), 辽宁省朝阳市人, 博士, 研究员, 主要从事森林生态学研究。E-mail: xujingweisd@163.com。

27.9%, 13.2% and 7.4%, respectively. However, soil total porosity increased. (3) Soil nutrient content, such as soil organic matter, available N, P and K increased after adopting the four improving measures. These indexes were the highest in mixed forest, those in agro-forestry were higher than pure forest, and the data for cotton field were unstable. Soil enzyme activities and physicochemical properties for mixed forest and agro-forestry were better than pure forest and cotton field. Accordingly, we propose that mixed forest and agro-forestry should be fostered and managed firstly in the future.

Keywords: Yellow River Delta; *Robinia pseudoacacia* plantation; improving pattern; soil enzyme activity; soil physicochemical property

具有保持水土、防风固沙功能的刺槐 (*Robinia pseudoacacia*) 是黄河三角洲区域主要的防护林树种之一。自 20 世纪 70 年代中期它就开始被广泛种植, 主要分布在大汶流自然保护区、一千二自然保护区和黄河故道附近, 形成一千二和孤岛两大林场。至今刺槐林保存面积仍然达 8 000 hm², 这些刺槐林已成为黄河三角洲滩地重要的生态屏障。但从 20 世纪 90 年代初开始在黄河三角洲的许多林场出现人工刺槐林枯梢或成片死亡的现象^[1-2], 其产生原因除了刺槐生理特征因素外, 还与该区域天然降水不足、黄河断流及淡水资源缺乏导致的土壤干旱, 地下水位高、蒸降比大的气候条件导致的土壤次生盐碱化, 及人类干扰等诸多因素有关^[3-4]。为揭示该区域人工刺槐林的低质低效及林地衰退机理, 许多学者对人工刺槐林的林冠健康状况^[2-3]、土壤生态退化特征^[1,5]、土壤水盐动态^[4]、土壤理化性状^[6-7]及不同造林模式下的土壤酶活性^[8]等进行了研究, 但对退化人工刺槐林的改造模式及其效果分析研究较少。该区域人工刺槐林可分为未退化、轻度、中度、重度退化等基本类型^[1-2], 其中重度枯梢或死亡刺槐林的更新改造方式主要采取全面皆伐后新植物材料的恢复与重建。

土壤物理性状、养分含量及酶活性等指标是土壤生态环境效益研究的重要内容之一, 同时也是评价土壤质量的重要指标^[9-10]。土壤质量是影响植物生长的重要因素之一, 而植物的生长水平反过来也影响着土壤状况, 土壤物理性状对土壤的水、肥、气、热及其化学和生物学过程等都有一定的调控作用, 土壤养分状况直接影响植物的生长发育^[11-12], 而土壤酶类参与土壤中一切复杂的物理化学过程, 在一定程度上能够反映土壤养分转化的动态情况^[13-14]。为分析比较该区域重度退化人工刺槐林不同改造方式下的土壤环境质量状况, 本研究选择棉田、农林间作、混交林及单一纯林 4 种改造方式为研究对象, 并以未改造的重度退化刺槐林作为对照, 测定分析其改造后的土壤酶活性及主要土壤基本物理性状、pH 值、含盐量、土壤养分状况等理化指标, 探讨其改造效果, 明确改良土壤效应较好的改造方式, 以期黄河三角洲重度退化刺

槐林的人工促进恢复与重建技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于黄河三角洲东营市河口区的济南军区军马场生产基地 (118°48'E, 37°53'N), 总面积约 4.8×10⁴ hm²。该区属于暖温带半湿润地区, 大陆性季风气候, 年均气温 12.1 °C, 无霜期长达 201 d, ≥10 °C 的积温约 4 200 °C, 年降水量 500~600 mm, 年蒸发量 1 800 mm 左右, 春季是强烈的蒸发期, 蒸发量占全年的 51.7%。土壤以盐化潮土和滨海盐土为主, 土壤盐分组成以氯化物为主, 占可溶性盐总量 80% 以上, 0~100 cm 土体加权平均含盐量 0.58%, 局部地段 0.5%~1.0%, 最高达 3.56%。土壤 pH 值 6.79~8.87, 平均 7.94; 地下水埋深一般 2~3 m, 地下水矿化度 10~40 g/L, 高者达 200 g/L^[15]。该林场内人工植被以刺槐 (*R. pseudoacacia*) 林为主, 兼有白蜡 (*Fraxinus chinensis*) 林、杨树 (*Populus euramericana*) 林、柽柳 (*Tamarix chinensis*) 林等, 天然植被以盐生、湿生的禾本科芦苇 (*Phragmites australis*)、茅草 (*Imperata cylindrica*) 以及翅碱蓬 (*Suaeda salsa*) 为主。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与样品采集 2006 年 3 月份将重度退化刺槐林皆伐后进行棉花种植 (棉田, C)、白蜡 (纯林, F)、白蜡+棉花 (农林间作, F+C)、白蜡+刺槐 (混交林, F+R, 行间混交, 混交比例均为 1:1) 4 种改造方式, 并以枯梢高度在 3 m 以上, 郁闭度为 0.50 的重度退化刺槐林地作为对照 (CK), 样地概况见表 1。2010 年 10 月中旬, 在研究区采用多点采样法进行土壤样品的采集与测定, 每种改造方式分别选取面积为 20 m×20 m 的样地 3 个, 每标准地按 S 型均匀布设 6 试验样点, 分层进行根区附近取样, 即在 0—20 cm 和 20—40 cm 分别进行采样, 相应层次取混合样约 1 kg, 实验室内风干、磨碎、过筛, 然后暂存冰箱进行冷藏待测。2 周内完成土壤酶活性的测定, 并进行相应层次土壤理化性质的测定, 求其平均值进行结果分析。

表 1 样地概况

样地类型	株行距/ (m×m)	树高/ m	胸径/ cm	林龄/ a
C	—	—	—	—
F	2.0×2.0	6.23	7.32	8
F+C	2.5×3.0	6.61	7.03	8
F+R	2.0×3.0	7.12	7.41	8
CK	2.5×3.0	11.52	13.82	25

注:C为棉田;F为纯林(白蜡);F+C为农林间作(白蜡+棉花);F+R为混交林(白蜡+刺槐);CK为重度退化刺槐林。下同。

1.2.2 测定方法 按中国林业标准(1999),pH值采用pH计(水土比5:1),可溶性盐采用重量法测定(水土比5:1)。烘干法测定土壤含水量,环刀浸水法测定土壤容重和孔隙度等各项水文物理参数。土壤有机质采用重铬酸钾氧化—外加热法测定,全N用凯氏定氮法,有效N用碱解扩散法,有效P用Olsen法(恒温水浴震荡浸提),有效K用中性NH₄AC浸提火焰光度法,以上测定方法参考章家恩法^[16]。土壤酶活性采用关松荫方法测定^[13],脲酶活性采用苯酚次氯酸比色法,多酚氧化酶和过氧化物酶活

性采用邻苯三酚比色法测定,磷酸酶用磷酸苯二钠比色法。利用SPSS 13.0,Excel进行有关数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同改造方式对土壤酶活性的影响

磷酸酶能促进磷酸酯水解释放出磷酸根,由表2可知,其活性为混交林>农林间作>纯林>棉田,差异显著($F=568.855, p<0.05$),分别是CK的3.5,3.2,1.7,1.6倍。多酚氧化酶与有机质的形成有关,反映土壤腐殖化状况^[17],其活性依次为混交林、纯林、农林间作、棉田,差异显著($F=44.177, p<0.05$),分别比CK下降14.2%,19.4%,24.3%,45.4%。脲酶能促进有机物水解成氨、二氧化碳和水,其活性与土壤中氮素转化的强弱密切相关^[13],其活性为混交林>纯林>农林间作>棉田,差异显著($F=1222.530, p<0.05$),分别是CK的5.8,4.4,2.1,1.1倍。过氧化物酶能氧化土壤有机物质,在腐殖质的形成过程中具有重要作用,过氧化物酶与CK相比有增加趋势,但差异不显著($F=2.087, p>0.05$)。

表 2 不同改造方式下的土壤酶活性

mg/g

改造方式	磷酸酶	多酚氧化酶	脲酶	过氧化物酶
C	0.064+0.003b	0.334+0.025b	0.123+0.004a	0.460+0.008b
F	0.071+0.004c	0.493+0.045cd	0.517+0.016c	0.458+0.008b
F+C	0.132+0.008d	0.463+0.055c	0.242+0.012b	0.455+0.012a
F+R	0.142+0.002e	0.524+0.024d	0.683+0.034c	0.456+0.004a
CK	0.043+0.004a	0.612+0.037a	0.118+0.003a	0.454+0.008a

注:同一列的不同小写字母表示差异显著($p\leq 0.05$)。下同。

2.2 不同改造方式对土壤容重和孔隙度的影响

数据分析表明(表3),改造后土壤容重均低于重度退化刺槐林地,土壤容重均值大小表现为混交林<农林间作<纯林<棉田,差异显著($F=37.782, p<0.05$),分别比CK下降14.5%,12.3%,9.0%,7.7%,改造后土壤变的疏松,利于水分的渗透和贮存。土壤总孔隙度、非毛管孔隙度和孔隙比均高于CK,而毛管孔隙度除混交林稍高外,其他改造方式差异不显著($F=2.540, p>0.05$)。总孔隙度、孔隙比均值大小

均表现为混交林>农林间作>纯林>棉田,其中总孔隙度均值分别比CK增加13.6%,9.0%,4.3%,3.0%;孔隙比均值分别比CK增加26.5%,16.7%,7.6%,5.2%;改造后非毛管孔隙度增加显著($F=28.210, p<0.05$),是CK的1.4~2.4倍,非毛管孔隙度的增加,有利于降水的下渗,减少地表径流。可见,重度退化刺槐林被改造后,表现出土壤容重减小、孔隙度增大的变化趋势,其中混交林和农林间作的土壤透水性、通气性和持水能力比较协调,其次为纯林和棉田。

表 3 不同改造方式下的土壤容重和孔隙度

改造方式	容重/(g·cm ⁻³)	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%	孔隙比
C	1.43+0.03b	44.42+0.29b	40.19+0.08a	4.23+0.42b	0.80+0.03ab
F	1.41+0.03b	44.98+0.98b	39.34+0.43b	5.64+0.56c	0.82+0.04b
F+C	1.36+0.03c	47.01+1.50c	40.00+0.46a	7.01+0.13d	0.89+0.04c
F+R	1.33+0.03c	49.00+0.83d	42.74+0.60c	6.26+1.42cd	0.96+0.03d
CK	1.55+0.04a	43.14+1.11a	40.18+0.59a	2.96+0.52a	0.76+0.04a

2.3 不同改造方式对土壤 pH 值和含盐量的影响

由图 1 可知,农林间作、混交林地土壤 pH 值有下降趋势,分别比 CK 下降 1.2%,1.9%,压碱效果显著。而棉田、纯林地土壤 pH 值有上升趋势,分别比 CK 增加 1.1%,1.2%,表现出一定的增碱负效应。改造后土壤含盐量均表现出降低趋势,均值大小表现为混交林<农林间作<纯林<棉田,与 CK 相比分别降低 35.3%,27.9%,13.2%,7.4%,可见混交林、农林间作降盐效果显著,这与混交林地土壤物理性状得到改善,树木和作物生长旺盛,促进对盐分的吸收等有一定关系。可见,混交林、农林间作压碱抑盐的效果好于单一的农作物种植或纯林栽植,并且混交林好于农林间作。

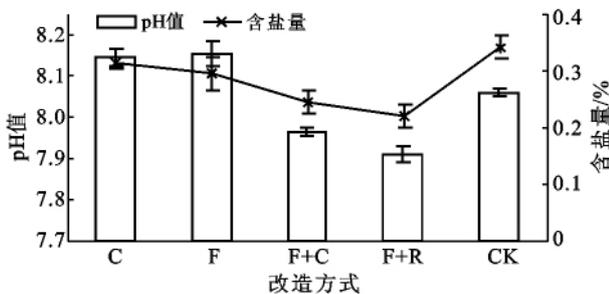


图 1 不同改造方式下的土壤 pH 值和含盐量

2.4 不同改造方式对土壤养分的影响

数据分析表明(表 4),土壤有机质均值大小表现为纯林<农林间作<混交林<棉田,分别是 CK 的 1.43,1.98,2.24,2.30 倍,棉田和混交林土壤有机质含量差异不显著($F=0.431, p>0.05$)。棉田有机质含量最高主要与增施有机肥等农耕措施有关,混交林地可能与其枯落物分解产生腐殖质有关。不同改造方式下土壤有效氮($F=3.002, p>0.05$)、总氮($F=1.193, p>0.05$)差异均不显著,有效磷差异性显著($F=54.708, p<0.05$),除棉田有效 P 与 CK 相比降低之外,改造后的其他土壤养分含量均比 CK 增加显著;有效 K 均值表现为混交林>农林间作>纯林>棉田,但差异不显著($F=2.368, p>0.05$),与 CK 相比,仅分别增加 42.9%,34.1%,26.9%,19.2%。有效 P 表现为混交林最高,其次为纯林;有效 N 和全 N 均值均表现为混交林>棉田>农林间作>纯林,分别比 CK 增加 52.2%,38.7%,36.7%,29.9%和 42.7%,26.4%,21.8%,12.7%。表明棉田受人为因素的干扰,其土壤有效养分和有机质含量因施肥因素等影响波动较大,而混交林能明显改善退化林地的土壤养分状况,对防止水土流失、土壤退化具有一定作用,农林间作改善土壤养分效果中等,而单一纯林相对较差。

表 4 不同改造方式下的土壤养分状况

改造方式	有机质/(g·kg ⁻¹)	有效钾/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	有效氮/(mg·kg ⁻¹)	总氮/(g·kg ⁻¹)
C	14.60±1.20d	97.44±4.27ab	5.83±0.57b	43.64±12.58b	0.70±0.18ab
F	9.08±1.15b	103.75±21.33ab	10.57±0.78c	40.88±8.29a	0.62±0.23ab
F+C	12.58±0.78c	109.65±14.16b	9.80±0.24c	43.01±4.14b	0.67±0.18ab
F+R	14.21±0.80d	116.80±21.38b	12.39±1.43d	47.87±5.19b	0.79±0.19b
CK	6.35±1.96a	81.74±33.52a	8.72±0.44a	31.46±9.98a	0.55±0.20a

3 讨论

结构良好的土壤容重为 1.25~1.35 g/cm³[5,12];该研究区域重度退化刺槐林不同改造方式下的土壤容重为 1.33~1.43 g/cm³,表明改造后土壤上层的结构和性能改善较好。水气关系协调的土壤总孔隙度为 40%~50%,非毛管孔隙度在 10%以上,非毛管孔隙度与毛管孔隙度比例在 0.25~0.50[5,12],改造后土壤总孔隙度为 44.42%~49.00%,非毛管孔隙度为 4.23%~7.01%,非毛管与毛管孔隙度比例仅为 0.11~0.18,表明 4 种改造方式对总孔隙度状况改善较好,但非毛管孔隙度明显偏低,潜在的涵养水源功能较弱。已有研究表明[7],棉田 0—50 cm 土壤容重均值高于乔木林、灌木林,与该研究结论一致,即采取棉田改造方式后,土壤变的密实、土壤保水性能降低,这

可能与棉花种植表层采取覆膜、深翻及人为频繁作业等措施有关,破坏了土壤机械结构,表层土壤板结严重,导致其容重较大。而混交林和农林间作改造方式下枯落物相对丰厚,人为干扰弱,能较好维持和改善土壤颗粒结构,且较多的残次根系使毛管孔隙度增大,在一定程度上改善了土壤通气状况和透水性能。

改造后土壤 pH 值有所降低但仍显碱性,主要与退化刺槐林地本身盐碱化较高有关;同时与地表的枯枝落叶量及其离子含量少有关[15]。由于深翻熟耕、施有机肥等农耕措施,黄河三角洲盐碱地农田盐碱含量要低于林地[7]。但也有研究表明[18],黄河三角洲盐碱地采取棉田种植后,含盐量比林地要高,这与本研究结果类似,主要由于棉田灌水盐措施抬高了地下水位,大的蒸降比导致入秋后土壤返盐严重。而混交林、农林间作等改造方式比单一棉田种植含盐

量低,一方面由于地表覆盖度相对增大,蒸发量减小;同时与枯枝落叶、残死根系进入土壤,改善土壤结构等有关,抑制土壤返盐^[15,19]。棉田和混交林地有机质含量、有效 N 及全 N 明显高于农林间作和纯林改造方式,这与黄河三角洲盐碱地相关研究结果一致^[18-19]。棉田有机质含量、有效 N 及全 N 相对较高主要与人为增施有机肥、对土地集约经营有关,同时随着土壤有机质的逐步矿化,氮素被逐渐释放也提高了全 N 的含量。有效 P、有效 K 含量较低,可能与棉花生长消耗大量养分有关,同时其植物材料的采收也易导致 P、K 养分的流失^[18]。可见棉田受人为因素的干扰,其土壤盐碱含量、有效养分和有机质含量波动较大。混交林植被覆盖率、生物生产能力相对较高,林下草本植物的根系和枯落物等经微生物分解后产生较多的有机质,腐殖化作用明显;而土壤有机质能够促进植物生长,利于土壤微生物和动物活动,能较好改善土壤养分状况。研究表明^[6,18],在黄河三角洲盐碱地土壤理化性状有所改善的阶段,如进行单一的农业持续利用或纯林栽植,易导致地带性植被类型的形成机率降低,次生盐碱化、地力衰退发生率增大。

不同植被类型下土壤酶活性存在一定差异,本研究表明,混交林、农林间作磷酸酶含量较高,表明此类改造方式利于有机磷化合物的分解,这也是混交林地有效 P 含量较高的原因之一,而棉田磷酸酶含量较低,供应有效磷的潜在能力较弱,与该区域不同土地利用方式下耕地高于林地有一定差异^[15,19],可能与耕种年限较短有关。混交林多酚氧化酶含量高于纯林,与混交林地有机质含量较高有关^[20],这与马尾松低效林改造模式下的结论相一致^[17]。随着黄河滩地人为经营强度的增加,不同造林模式下多酚氧化酶有降低趋势^[8],这与该研究农林间作、棉田改造方式下多酚氧化酶含量较低的结论一致,即经营活动的加强,特别是棉田连作易导致土壤含酚量升高、芳香族化合物减少,抑制酶活性^[8,21]。黄河三角洲盐碱地棉田、梨园等不同土地利用方式下,有机质及 N 素水平较低,脲酶活性差异不显著^[22];但也有研究发现^[23],该区域农田及林地脲酶活性高于草地、灌木丛地。本研究表明,混交林、纯林脲酶活性较高,而农林间作、棉田相对较低,与 N 素营养水平变化规律也不完全一致(表 4),可见棉田施肥、深翻熟耕等农耕措施可能对脲酶活性影响较大。综上所述,造成土壤酶活性变化的原因较多,可能与低效林改造年限、耕作管理水平^[21]、成熟林本身的根系分泌物^[20]或特定养分的缺乏或富集有关^[8,17],盐碱条件下影响土壤酶变化的因素还有待进一步深入研究。

4 结论

混交林和农林间作方式对土壤酶活性及理化性质的改善效果较好,对于维持土壤可持续利用有积极作用,具体表现为 4 种改造方式都不同程度地增加了土壤磷酸酶、脲酶活性,降低了多酚氧化酶活性。改造林地的土壤容重、含盐量均表现降低趋势,均值大小均表现为混交林 < 农林间作 < 白蜡林 < 棉田。总孔隙度表现为增大趋势,棉田、白蜡林改造方式表现出一定的增碱负效应。改造后土壤养分增加显著,土壤有机质及有效 N、P、K 总体表现为混交林改造方式下最高,农林间作高于白蜡林,棉田波动较大。

农林间作在最初阶段有一定的经济效益,但随着树木遮地作用的加强,农林间作几年后,农田生产力下降,需进行相应的林分补置或改造。棉田和纯林改造方式均为单一种植类型,在地下水位较高、蒸降比大的黄河三角洲重度退化刺槐林地上实施,易出现次生盐碱化和地力衰退现象,在该区域以生态防护为主要目的的林业生态建设中,从生物多样性和生态功能强化的角度出发,建议重度退化刺槐林皆伐后不易作为棉田进行连年种植或单一模式的纯林营建,混交林和农林间作建议作为重度退化刺槐林的主要改造方式进行推广。在今后重度退化刺槐林恢复与重建过程中,应进一步加强不同造林模式及其优化配置方面的相关改造实验研究。

[参 考 文 献]

- [1] 张建锋,邢尚军. 环境胁迫下刺槐人工林地土壤退化特征研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(5): 1086-1091.
- [2] 姚玲,刘高焕,刘庆生,等. 利用影像分类分析黄河三角洲人工刺槐林健康[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2010, 35(7): 863-867.
- [3] 刘庆生,刘高焕,姚玲. 利用 Landsat ETM+ 数据检测人工刺槐林冠健康[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(2): 142-146.
- [4] 曹帮华,吴丽云,宋爱云,等. 滨海盐碱地刺槐混交林土壤水盐动态[J]. 生态学报, 2008, 28(3): 939-945.
- [5] 夏江宝,许景伟,李传荣,等. 黄河三角洲退化刺槐林地的土壤水分生态特征[J]. 水土保持通报, 2010, 30(6): 75-80.
- [6] 邢尚军,张建锋. 黄河三角洲土壤退化机制与植被恢复技术[M]. 北京:中国林业出版社, 2006.
- [7] 夏江宝,许景伟,陆兆华,等. 黄河三角洲滩地不同植被类型改良土壤效应研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(2): 148-152.
- [8] 李传荣,许景伟,宋海燕,等. 黄河三角洲滩地不同造林模式的土壤酶活性[J]. 植物生态学报, 2006, 30(5): 802-809.

(下转第 181 页)

和含水量之间的土壤孔隙对水流运动的影响,在田间持水量和饱和含水量之间,侧柏林、落叶松林、山榆林、椴树林、蒙古栎林水流在约 40 s 时就达到了稳定,不同层次水分出流速之间波动范围较小,而刺槐林、油松林、山杨林水流在约 70 s 时才达到了稳定,不同层次水分出流速之间波动范围较大;除榆树林土外,其他 7 种植被下土壤稳定出流速率均以 40~60 cm 最低。

(2) 不同植被下土壤大孔隙半径分布在 0.5~2.3 mm,主要集中在 0.6~1.5 mm,各个土层土壤大孔隙的加权平均半径变化在 0.61~1.85 mm,均值为 0.95 mm,均值为粗通气孔隙标准的近 2 倍,>1.4 mm 的特大孔隙仅大孔隙总数的 2.73%,0.5~1.4 mm 的孔隙占 97.27%,表现出大半径孔隙少而小半径孔隙多的特点;不同植被下大孔隙度在 0.95%~5.24%,大部分小于 5%。

(3) 土壤大孔隙平均半径与稳定出流速率和饱和导水率之间存在极显著线性相关关系,决定了稳定出流速率 71% 的变异和饱和导水率 50% 的变异。

[参 考 文 献]

- [1] 吕刚,曹小平,卢慧. 辽西海棠山森林枯落物持水与土壤贮水能力研究[J]. 水土保持学报,2010,24(3):203-208.
- [2] German P, Edwards W M, Owens L M. Profiles of bromide and increased soil moisture infiltration into soils with macropore[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1984, 48(2):237-244.
- [3] Flury M, Flühler H, Jury W A, et al. Susceptibility of soils to preferential flow of water: A field study[J]. Water Resources Research, 1994,30(7): 1945-1954.
- [4] 石辉,陈凤琴,刘世荣. 岷江上游森林土壤大孔隙特征及其对水分出流速率的影响[J]. 生态学报,2005,25(3): 507-511.
- [5] 石辉,王峰,李秧秧. 黄土丘陵区人工油松林地土壤大孔隙定量研究[J]. 中国生态农业学报,2007,15(1):28-32.
- [6] 李伟莉,金昌杰,王安志. 长白山主要类型森林土壤大孔隙数量与垂直分布规律[J]. 应用生态学报,2007,18(10):2179-2184.
- [7] 时忠杰,王彦辉,徐丽宏. 六盘山典型植被下土壤大孔隙特征[J]. 应用生态学报,2007,18(12):2675-2680.
- [8] 王伟,张洪江,程金花. 四面山阔叶林土壤大孔隙特征与优先流的关系[J]. 应用生态学报,2010,21(5):1217-1223.
- [9] Radulovich R, Solorzano E, Sollins P. Soil macropore size distribution from water breakthrough curves[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1989,53(2):556-559.
- [10] 希勒尔 D. 土壤和水[M]. 北京:农业出版社,1981:127-129.
- [11] 李红丽,董智,王林和,等. 浑善达克沙地榆树根系分布特征及生物量研究[J]. 干旱区资源与环境,2002,16(4):99-105.
- [12] 林伯群,祝宁,关继义. 山杨林下土壤条件与林木生长的关系[J]. 土壤,1975(2):85-90.
- [13] 朱祖祥. 土壤学:上册[M]. 北京:农业出版社,1983:57-63.
- [9] Singh B, Sharma K N. Tree growth and nutrient status of soil in a poplar (*Populus deltoids* Bartr.)-based agroforestry system in Punjab, India[J]. Agroforest Syst., 2007,70(2):125-134.
- [10] 胡景田,马琨,王占君,等. 荒地不同压砂年限对土壤微生物区系、酶活性与土壤理化性状的影响[J]. 水土保持通报,2010,30(3):53-58.
- [11] Fisher R F, Binklet D. Ecology and management of forest soils[M]. 3rd ed. New York: John Wiley and Sons, 2000:282-284.
- [12] 丁绍兰,扬宁贵,赵串串,等. 青海省东部黄土丘陵区主要林型土壤理化性质[J]. 水土保持通报,2010,30(6):1-6.
- [13] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986.
- [14] Askin T, Kizilkaya R. The spatial variability of urease activity of surface agricultural soils within an urban area[J]. Journal of Central European Agriculture, 2005, 6(2):161-166.
- [15] 孙启祥,张建锋, Franz M. 不同土地利用方式土壤化学性状与酶学指标分析[J]. 水土保持学报,2006,20(4):98-101.
- [16] 章家恩. 生态学常用实验研究方法[M]. 北京:化学工业出版社,2007.
- [17] 郑伟,霍光华,骆昱春,等. 马尾松低效林不同改造模式土壤微生物及土壤酶活性的研究[J]. 江西农业大学学报,2010,32(4):743-751.
- [18] 李庆梅,侯龙鱼,刘艳,等. 黄河三角洲盐碱地不同利用方式土壤理化性质[J]. 中国生态农业学报,2009,17(6):1132-1136.
- [19] 邢尚军,张建锋,宋玉民,等. 黄河三角洲盐碱地不同土地利用方式下土壤化学性状与酶活性的研究[J]. 林业科技,2008,33(2):16-18.
- [20] 朱延林,贡超,赵蓬晖. 杨树人工林土壤生态环境分析[J]. 上海农业学报,2010,26(2):53-57.
- [21] 刘瑜,梁永超,褚贵新,等. 长期棉花连作对北疆棉区土壤生物活性与酶学性状的影响[J]. 生态环境学报,2010,19(7):1586-1592.
- [22] 崔晓东,侯龙鱼,马风云,等. 黄河三角洲不同土地利用方式土壤养分特征和酶活性及其相关性研究[J]. 西北林学院学报,2007,22(4):66-69.

(上接第 175 页)