

黄河三角洲盐碱地衰退林分的更替改造模式

乔艳辉¹, 王月海¹, 姜福成², 夏江宝³

(1. 山东省林业科学研究院, 山东 济南 250014; 2. 济南军区黄河三角洲综合训练基地, 山东 东营 257231;
3. 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)

摘要: [目的] 探索最优的林分更替改造模式, 为黄河三角洲盐碱地退化林分的恢复提供理论依据和技术支撑。[方法] 以黄河三角洲盐碱地衰退白榆林和八里庄杨树林为研究对象, 采用野外调查与实验室分析测定相结合的方法, 对两种衰退林分及各自不同更替改造模式的生长、土壤及植被效益进行分析与评价。[结果] ①衰退白榆林和八里庄杨林更替改造的不同模式在郁闭度、林木保存率和生长状况方面差异较大, 总体上混交林好于纯林, 耐盐能力强的树种好于耐盐能力差的树种。②衰退白榆林和八里庄杨林的不同更替改造模式在土壤理化性能上皆得到提高, 均能提升土壤涵蓄降水量和有效涵蓄量; 不同更替改造模式均不同程度地降低了土壤的 pH 值和含盐量; 两种衰退林分经更替改造为不同模式后的土壤有机质和养分状况得到较大改善, 随着林分模式的不同, 其提高程度差异较大。③不同林分模式的植被有所差异, 但总体来说, 更替改造模式的生境好于衰退林分, 出现耐盐能力较低的植物, 其植被种类增多, 但随着林分郁闭度的增加, 耐荫植物出现, 耐干旱耐盐植物种类减少。[结论] 综合分析两种衰退林分更替改造不同模式的林分生长、土壤及植被, 在衰退白榆林分的更替改造中, 以竹柳刺槐白榆混交林模式为最佳, 白榆纯林次之, 刺槐纯林亦可考虑, 竹柳纯林模式则不宜选择; 在衰退八里庄杨林分更替改造的两种模式中, 白榆纯林为最好, 盐柳纯林最差, 不宜选用。

关键词: 黄河三角洲; 盐碱地; 衰退林; 更替改造模式

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)04-0107-07

中图分类号: S756.9

文献参数: 乔艳辉, 王月海, 姜福成, 等. 黄河三角洲盐碱地衰退林分的更替改造模式[J]. 水土保持通报, 2019, 39(4): 107-113. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2019. 04. 017; Qiao Yanhui, Wang Yuehai, Jiang Fucheng, et al. Replacement and transformation modes of degraded forest stand in saline land of Yellow River delta[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(4): 107-113.

Replacement and Transformation Modes of Degraded Forest Stand in Saline Land of Yellow River Delta

Qiao Yanhui¹, Wang Yuehai¹, Jiang Fucheng², Xia Jiangbao³

(1. Shandong Academy of Forestry, Ji'nan, Shandong 250014, China; 2. Combined Training Base of Ji'nan Military Area Command, Dongying, Shandong 257231, China; 3. Shandong Provincial Key Laboratory of Eco-environmental Science for Yellow River Delta, Binzhou University, Binzhou, Shandong 256603, China)

Abstract: [Objective] The optimal replacement and transformation modes were analyzed and evaluated in order to provide theoretical basis and technical support for the restoration of degraded forest stand in saline land of the Yellow River delta. [Methods] Two kinds of forest stand in the Yellow River delta saline land degraded *Ulmus pumila* and *Populus × xiaozhuanica* were selected as the research objects. The growth, soil and vegetation benefits of the two degraded stands and their different replacement and transformation modes were studied by using the methods of field investigation and laboratory analysis and measurement. [Results] ① There

收稿日期: 2019-02-11

修回日期: 2019-04-12

资助项目: 山东省林业科技创新项目“滨海盐碱地退化防护林提质增效关键技术研究与示范”(LYCX07-2018-38); 山东省重点研发计划项目“黄河三角洲盐碱地低效防护林恢复及重建关键技术研究”(2017GSF17115)

第一作者: 乔艳辉(1974—), 女(汉族), 山东省烟台市人, 本科, 工程师, 主要从事生态、森林培育等方面的研究。E-mail: qiaoyanhui66@163.com。

通讯作者: 王月海(1962—), 男(汉族), 山东省莱阳市人, 本科, 研究员, 主要从事生态、森林培育、植被恢复及盐碱地改良等方面的研究。E-mail: wyuehai@163.com。

were great differences in canopy density and forest preservation rate between the replacement and transformation modes of the degraded *U. pumila* and *P. × xiaozhuanica*, but mixed forest was better than pure forest on the whole, and the species with strong salt tolerance were better than those with poor salt tolerance. ② The different replacement and transformation modes of the decaying *U. pumila* forest and *P. × xiaozhuanica* forest had been improved in soil physicochemical properties, and both of them could improve soil conservation and effective conservation. The pH value and salinity of the soil were decreased by different alternation modes. The soil organic matter and nutrient status of the two degraded stands were improved greatly after being replaced and transformed into different modes. ③ The vegetation of different stands was different, but in general, the habitat of the replacement and transformation mode was better than that of the degraded forest stands, and the plants with low salt tolerance appeared, and the vegetation types increased, but with the increase of stand canopy density, shade plants appeared, and the drought and salt tolerant plant species decreased. [Conclusion] Based on the analysis of forest stand growth, soil and vegetation of two different modes of forest stand replacement and transformation in the two degraded forest stands, in the replacement and transformation of degraded *U. pumila* stands, the mixed forest mode of *Salix americana* and *Robinia pseudoacacia* and *U. pumila* was the best, followed by pure forest of *U. pumila* and pure forest of *Robinia pseudoacacia*, while the pure forest mode of *S. americana* was not suitable. Among the two modes of replacement and transformation of *P. × xiaozhuanica* degraded forest, *U. pumila* forest was the best, *S. cheilophila* pure forest was the worst.

Keywords: Yellow River delta; saline land; degraded forest; replacement and transformation mode

从 20 世纪 80—90 年代,黄河三角洲地区营造了以刺槐(*Robinia pseudoacacia*)树种为主,还有绒毛白蜡(*Fraxinu velutina*)、白榆(*Ulmus pumila*)、八里庄杨(*Populus × xiaozhuanica*)、国槐(*Sophora japonica*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、旱柳(*Salix matshudana*)等树种的大面积人工防护林。由于林龄较大、土壤次生盐渍化、天然降水不足、蒸降比大等因素,加速了防护林衰退的进程^[1-4],如出现了林木重度枯梢、枯冠甚至死亡,导致防护功能降低、林地退化等现象发生^[1,5-6]。针对衰退林的更替改造,生产中主要采取全面皆伐后进行新植物材料的重建^[7]。目前,对黄河三角洲盐碱地衰退林分改造的研究仅限于刺槐林,主要集中于不同改造方式对土壤的影响^[7-8],而未涉及改造后的林木生长和林地植被等因素,尤其缺乏其它树种的研究。本文在前期研究的基础上,针对生产中衰退白榆和八里庄杨两种纯林更替改造模式进行了林分生长、土壤及植被效益等方面的分析与评价,以明确更替改造效益较好的模式,为黄河三角洲盐碱地退化林分的改造提供理论依据和技术支撑。

1 试验地概况与研究方法

1.1 试验地概况

研究地点位于黄河三角洲地区北部的山东省东营市河口区黄河三角洲综合训练基地内(37°47′8.1″N, 118°48′49.8″E),属于暖温带半湿润大陆性季风气候

区。自 2000 年以来的年均气温 12.1 ℃,无霜期 201 d, ≥10 ℃的积温 4 200 ℃,年均降水量 533 mm,多集中于夏季,7—8 月降水量占全年的 1/2 以上,且多暴雨,降水量年际变化大,年均蒸发量 1 746 mm。试验区地下水位浅、矿化度高、地势平坦,滩涂土壤为冲积性黄土母质在海浸母质上沉淀而成,机械组成以粉砂和淤泥质粉砂为主,沙粘相间,易于压实,渗透性差,层次变化复杂。目前试验区的人工林主要以刺槐、绒毛白蜡、竹柳(*Salix americana*)、白榆、欧美类杂交杨(*Populus*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)等树种的中、幼龄林为主。天然植被主要以芦苇(*Phragmites australis*)、白茅(*Imperata cylindrical*)、獐毛(*Aeluropus littoralis*)、翘碱蓬(*Suaeda heteroptera*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、藜(*Chenopodium album*)、苦苣菜(*Ixeris denticulata*)、萝藦(*Metaplexis japonica*)和茵陈蒿(*Artemisia capillaris*)等耐盐植物为主。

1.2 研究方法

1.2.1 样地调查及样品采集 试验地点分别设在黄河三角洲综合训练基地六分场和十二分场。六分场的试验林建于 2010 年春季,是针对 26 a 生的退化白榆林分(U₂)更替改造,分别营造竹柳纯林(S)、刺槐纯林(R)、白榆纯林(U₁)和竹柳刺槐白榆混交林(S+R+U₁)4 种模式,株行距为 2 m×4 m;十二分场的试验林是 2015

年春季针对 30 年生的成过熟衰退八里庄杨树林分(P) 实施皆伐更替改造为盐柳纯林(*Salix cheilophila*) (SC)和白榆纯林(U_3)2 种模式,株行距为 2 m×3 m。

2017 年 10 月下旬,对 2 个试验地点不同更替改造模式的林分生长、林地土壤及植被进行了调查,并以各自未更替改造的衰退林分作为对照。在上述林分内分别设置 3 个 20 m×20 m 的样地进行每木检尺和林分外观生长状况观测,然后在每个乔木样地中设置 3 个 1 m×1 m 的样方调查林下植被。土壤调查采用多点采样法采集土样,每个样地按照 S 形均匀布设 5 个样点,每个样点在 0—20 cm 的树木根区附近调查并取样用于实验室测定土壤理化指标。

1.2.2 土壤理化性质测定方法 土壤理化性质的测定方法,按中国林业标准(1999 年),采用烘干法测定土壤含水量,环刀浸水法测定土壤容重、孔隙度、贮水性等各项水分物理指标,pH 值测定采用 pH 计(水土比 5:1),可溶性盐含量采用重量法测定(水土比 5:1)。参考章家恩法^[9],土壤有机质采用重铬酸钾氧化—外加热法测定,有效磷用 Olsen 法(恒温水浴震荡浸提)测定,速效钾用中性 NH_4OAC 浸提火焰光度法,硝态氮及铵态氮测定采用 SmartChem 全自动间断化学分析仪测定。

1.2.3 数据分析与处理 试验数据先用 Excel 软件进行统计处理,采用 SAS 9.2 软件进行分析处理,制图采用 Origin 75,土壤理化指标采用单因素方差分析(one-way ANOVA)检验。

2 结果与分析

2.1 不同更替改造模式的林分生长

由表 1 可知,六分场衰退白榆林更替改造的 4 种林分模式 8 a 后的郁闭度以竹柳刺槐白榆混交林郁

闭度(0.9)为最高,白榆纯林(0.8)次之,刺槐纯林为 0.6,竹柳林分的郁闭度最低,仅有 0.4。竹柳刺槐白榆混交林的林木平均保存率虽然只有 86%,但竹柳、刺槐和白榆 3 个树种的保存率皆超过纯林模式中的相同树种,分别超出 92.1%,18.4%和 6.7%,以竹柳树种保存率提高幅度最大,刺槐树种提高次之,白榆树种的保存率亦有一定提高。由此可见,在盐碱地上营造混交林比单一纯林更有利于提高林分郁闭度和林木保存率。十二分场的衰退八里庄杨树林分更替改造为盐柳和白榆 2 种纯林模式 3 a 后,白榆林分的郁闭度高达 0.95,而盐柳林分的郁闭度仅有 0.6;从保存率看,白榆纯林的林木保存率达到 100%,而盐柳纯林只有 82%。从表 1 可以看出,六分场竹柳刺槐白榆混交林中的白榆和刺槐的胸径、树高和冠幅与各自的纯林相比较都有所提高,但不显著,而竹柳树种明显大于纯林竹柳,分别提高 24.7%,50.3%和 45.3%。十二分场更替改造的盐柳和白榆 2 个林分虽然树种不同,生长速度不一致,但在地力和管理措施一致的情况下,作为速生树种盐柳的生长指标(树高、胸径和冠幅)却低于生长速度较慢的白榆,尤其是二者的胸径相差较大,树高和冠幅相差相对较小。从林分的外观生长状况看不同更替改造模式,衰退白榆林的更替模式竹柳纯林有 92%的林木树冠上部枯死,叶片受盐害率高达 98%,生长势很差;刺槐纯林叶片受盐害率只有 15%,生长势差;而白榆纯林叶片未受到盐害,但生长势一般;竹柳刺槐白榆混交林的刺槐和白榆树冠完好,且叶片皆未受到盐害,生长势分别表现为较好和好,但竹柳中有 18%的树冠上部出现枯死现象,叶片受盐害率为 21%,生长势较差。衰退八里庄杨的更替改造模式盐柳纯林叶片受害率高达 95%以上,生长势差;而白榆纯林叶片无盐害症状,生长旺盛。

表 1 不同更替改造模式的林分因子调查

试验地点	林分模式	树种	年龄/a	郁闭度	保存率/%	胸径/cm	树高/m	冠幅/m
马场六分场	竹柳纯林(S)	竹柳	8	0.4	38	8.5±0.26	5.03±0.13	2.56±0.11
	刺槐纯林(R)	刺槐	8	0.6	76	10.2±0.35	7.82±0.27	3.91±0.08
	白榆纯林(U_1)	白榆	8	0.8	89	11.9±0.64	9.14±0.46	4.27±0.21
	竹柳刺槐白榆混交林(S+R+ U_1)	竹柳	8	0.9	73	10.6±0.27	7.56±0.63	3.72±0.06
		刺槐	8		90	11.8±0.26	8.75±0.42	4.37±0.15
		白榆	8		95	12.3±0.64	9.50±0.63	4.53±0.22
马场十二分场	盐柳纯林(SC)	盐柳	3	0.6	82	6.0±0.24	6.94±0.35	2.25±0.16
	白榆纯林(U_3)	白榆	3	0.95	100	9.2±0.37	8.70±0.16	2.86±0.14

2.2 不同更替改造模式的林地土壤改良效应

2.2.1 土壤容重和孔隙度 土壤容重及土壤孔隙度能够较准确地反映土壤透水性、持水性、结构性及疏

松性等方面的状况,是评价土壤水分物理特性的基本指标^[10]。从表 2 可以看出,衰退白榆纯林更替改造为 4 种不同模式 8 a 后,竹柳刺槐白榆混交林、白榆纯

林和刺槐纯林 3 种模式的土壤容重分别降低 14.4%、12.1%和 7.2% ($p < 0.01$); 竹柳纯林仅降低 2.4% ($p > 0.05$)。衰退八里庄杨树纯林更替为白榆纯林和盐柳纯林 3 a 后, 其土壤容重降低明显, 分别降低 13.8%和 10.4% ($p < 0.05$)。

由表 2 得知, 衰退白榆纯林更替改造的 4 种模式和衰退八里庄杨更替改造的 2 种模式的土壤结构(总孔隙度、毛管孔隙度、孔隙比和非毛管孔隙度)皆有所提高, 其中前 3 项指标与各自对照的差异极显著 ($p < 0.01$)和显著。

表 2 不同更替改造模式的林地土壤容重和孔隙度

试验地点	林分模式	土壤容重/ ($g \cdot cm^{-3}$)	总孔隙度/ %	毛管孔隙度/ %	非毛管孔隙度/ %	孔隙比
马场六分场	竹柳纯林(S)	1.392±0.021 ^A	49.465±1.259 ^B	46.525±0.383 ^C	2.940±0.011 ^C	0.983±0.007 ^C
	刺槐纯林(R)	1.323±0.016 ^B	50.543±0.494 ^B	47.342±0.817 ^{BC}	3.201±0.014 ^C	0.995±0.002 ^C
	白榆纯林(U ₁)	1.254±0.003 ^C	54.332±0.489 ^A	50.261±0.917 ^{AB}	4.071±0.136 ^A	1.129±0.027 ^B
	竹柳刺槐白榆混交林(S+R+U ₁)	1.221±0.007 ^C	55.356±0.981 ^A	51.617±1.149 ^A	3.739±0.107 ^B	1.280±0.051 ^A
	衰退白榆纯林(U ₂)	1.426±0.009 ^A	46.871±0.103 ^C	43.799±0.940 ^D	3.072±0.021 ^C	0.833±0.008 ^D
马场十二分场	盐柳纯林(SC)	1.303±0.050 ^b	49.533±1.102 ^b	46.873±0.721 ^a	2.660±0.103 ^b	1.098±0.042 ^b
	白榆纯林(U ₃)	1.250±0.015 ^b	56.378±1.103 ^a	50.918±1.087 ^a	5.460±0.078 ^a	1.292±0.041 ^a
	衰退八里庄杨树纯林(P)	1.454±0.007 ^a	45.396±1.103 ^c	42.522±0.869 ^b	2.874±0.069 ^b	0.876±0.102 ^c

注:小写字母表示差异性显著($p < 0.05$),大写字母表示差异性极显著水平($p < 0.01$),同一指标不同字母表示差异显著或极显著。下同。

2.2.2 土壤的蓄水性能 土壤蓄水量是评价不同林地土壤理水调洪和涵养水源的重要指标,多用来反映林地土壤贮蓄和调节水分的潜在能力^[11-13]。由表 3 可知,衰退白榆纯林和其不同更替模式的土壤饱和蓄水量、毛管最大蓄水量、非毛管最大蓄水量均表现为:竹柳刺槐白榆混交林>白榆纯林>刺槐纯林>竹柳纯林>衰退白榆林,但因模式的不同,差异较大。其中的土壤饱和蓄水量中,竹柳刺槐白榆混交林、白榆纯林和刺槐纯林 3 种模式分别比衰退白榆林高 20.0%、12.9%和 7.3% ($p < 0.01$);竹柳纯林模式比衰退白榆林仅高 1.8%。土壤毛管最大蓄水量中,竹柳刺槐白榆混交林、白榆纯林和刺槐纯林分别比衰退白榆林高 16.9%、11.0%和 6.1% ($p < 0.01$);竹柳纯林仅高 1.5%。土壤非毛管最大蓄水量中,竹柳刺槐

白榆混交林、白榆纯林和刺槐纯林分别比衰退白榆林高 107.2%、66.2%和 39.9% ($p < 0.01$);竹柳纯林仅高 11.8%。由此可见,4 种更替模式的涵养水源功能提高幅度更大一些。4 种更替模式林分均能提高土壤涵蓄降水量和有效涵蓄量,表现为:竹柳刺槐白榆混交林>白榆纯林>刺槐纯林>竹柳纯林>衰退白榆林,但因更替模式的不同,差异亦较大,其中的竹柳刺槐白榆混交林、白榆纯林和刺槐纯林 3 种模式与竹柳纯林和衰退白榆林相比,提高明显 ($p < 0.01$)。衰退八里庄杨更替的盐柳和白榆纯林 2 种模式的土壤饱和蓄水量、毛管最大蓄水量、非毛管最大蓄水量、土壤涵蓄降水量和有效涵蓄量均明显大于对照衰退八里庄杨 ($p < 0.01$);两种更替模式之间在这 5 项指标上亦有明显差异 ($p < 0.01$)。

表 3 不同更替林分模式的土壤涵蓄指标

试验地点	林分模式	土壤含水量/mm	土壤饱和蓄水量/mm	土壤毛管最大蓄水量/mm	土壤非毛管最大蓄水量/mm	涵蓄降水量/mm	有效涵蓄量/mm
马场六分场	竹柳纯林(S)	35.07±0.79 ^a	77.66±0.70 ^D	74.72±0.85 ^D	2.94±0.05 ^C	42.59±2.31 ^C	39.65±1.70 ^C
	刺槐纯林(R)	32.94±0.23 ^{bc}	81.82±0.23 ^C	78.14±0.58 ^C	3.68±0.07 ^B	48.38±1.04 ^B	45.20±1.25 ^B
	白榆纯林(U ₁)	31.72±0.44 ^c	86.13±1.06 ^B	81.76±1.27 ^B	4.37±0.23 ^B	54.41±1.12 ^A	50.04±1.30 ^A
	竹柳刺槐白榆混交林(S+R+U ₁)	33.25±0.24 ^{bc}	91.55±0.68 ^A	86.10±0.75 ^A	5.45±0.43 ^A	58.30±1.11 ^A	52.85±1.42 ^A
	衰退白榆纯林(U ₂)	34.21±0.34 ^{ab}	76.27±0.64 ^D	73.64±0.5 ^D	2.63±0.17 ^C	42.06±1.03 ^C	39.43±0.20 ^C
马场十二分场	盐柳纯林(SC)	32.08±0.29 ^a	82.54±0.57 ^B	78.42±1.05 ^B	4.12±0.23 ^B	50.46±1.35 ^B	46.34±1.05 ^B
	白榆纯林(U ₃)	30.48±0.14 ^b	92.36±1.50 ^A	86.25±0.96 ^A	6.11±0.24 ^A	61.88±2.19 ^A	55.77±1.48 ^A
	衰退八里庄杨树纯林(P)	31.65±0.12 ^a	70.18±0.84 ^C	67.65±1.77 ^C	2.53±0.12 ^C	38.53±0.92 ^C	36.00±0.06 ^C

2.2.3 土壤盐碱性 土壤 pH 值及含盐量能够反映土壤的盐碱状况,对土壤肥力和植物生长发育具有重

要的影响。由图 1 可知,2 个地点的不同更替模式下的林地土壤仍然偏碱性,但总体上看,与各自的纯林

相比较,不同更替模式均不同程度地降低了土壤的 pH 值。

方差分析表明,马场六分场的竹柳刺槐白榆混交林、白榆纯林和刺槐纯林 3 种更替模式与衰退白榆林差异性达到了显著水平,马场十二分场的盐柳和白榆纯林与衰退八里庄杨皆差异显著。从土壤盐分含量看(图 1),马场六分场的刺槐纯林、白榆纯林和竹柳刺槐白榆混交林的土壤含盐量均小于 0.3%,属于轻度盐碱地,方差分析表明其盐分含量与衰退白榆林差异显著;竹柳纯林的林地土壤含盐量(0.38%)虽然低于衰退白榆林(0.41%),但下降的幅度较小,差异不显

著($p>0.05$),亦属于中度盐碱地。十二分场更替的盐柳和白榆两种模式的含盐量都在 0.3%以下,属于轻度盐碱地,与衰退八里庄杨树林分的盐分含量(0.39%)差异显著。

由以上分析可以看出,衰退林分经更替改造后的林分模式皆具有压碱降盐的效果,但随着更替改造模式不同,其效应差异较大。从衰退白榆林更替改造后的 4 种模式看,以竹柳刺槐白榆混交林、白榆纯林和刺槐纯林压碱降盐效果较好,竹柳纯林最差;衰退八里庄杨对林更替改造后的两种模式都具有较好的压碱降盐效果,其中以白榆纯林最为明显。

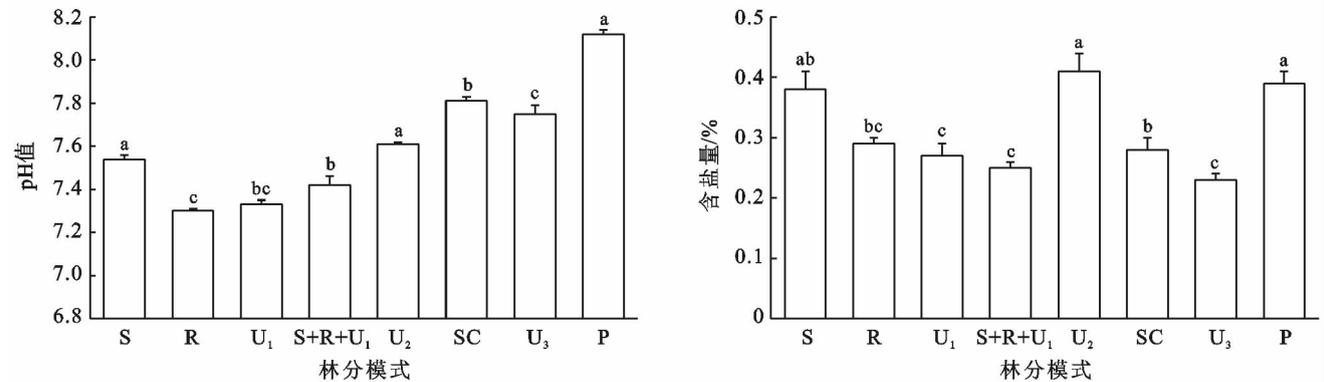


图 1 不同更替改造模式的林地土壤 pH 值和含盐量

2.2.4 土壤肥力状况 土壤有机质能够促进土壤团粒结构的形成,增强对土壤水分、养分的供应和保持良好的土壤肥力,对于分析土壤盐分的组成和性质、盐渍土的改良具有重要的参考意义,是评价土壤质量的一个重要指标^[14]。由表 4 可以看出,马场六分场更替改造的 4 种模式的林地有机质与衰退白榆林地相比,都有不同程度的提高,但提高的幅度差异较大,竹柳刺槐白榆混交林和白榆纯林提高幅度最大,分别提高 51.4%和 49.9%,与衰退白榆林差异极显著($p<0.01$);刺槐纯林提高 39.4%,与衰退白榆林差异显著($p<0.05$);而竹柳纯林仅提高 6.9%,与衰退白榆林差异不显著($p>0.05$)。十二分场更替改造的白

榆和盐柳 2 种林分的土壤有机质含量皆明显高于衰退八里庄杨,分别提高 41.1%和 74.2%,差异皆达到了显著性($p<0.05$)。评价土壤肥力的主要指标除了土壤有机质外,速效钾、有效磷、铵态氮和硝态氮含量的多少也是土壤肥力的重要标志^[14]。由表 5 得知,马场六分场和十二分场 2 个地点更替改造模式的速效养分 N,P,K 与各自衰退林分相比较,与有机质的变化规律基本相一致。六分场 5 种林分模式的速效养分含量从大到小的顺序为:竹柳刺槐白榆混交林>白榆纯林>刺槐纯林>竹柳纯林>衰退白榆纯林;十二分场 3 种林分模式的速效养分含量从大到小的顺序为:白榆纯林>盐柳纯林>衰退八里庄杨。

表 4 不同更替改造模式的林地土壤有机质和养分

试验地点	林分模式	有机质含量/ (g · kg ⁻¹)	有效磷含量/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾含量/ (mg · kg ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N/ (mg · kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N/ (mg · kg ⁻¹)
马场六分场	竹柳纯林(S)	13.430±0.732 ^{bc}	3.200±0.375 ^c	109.960±12.384 ^c	132.311±4.284 ^{bc}	72.156±2.485 ^c
	刺槐纯林(R)	17.522±0.385 ^b	4.126±0.235 ^{ab}	160.256±11.353 ^b	164.268±2.535 ^b	85.669±2.452 ^b
	白榆纯林(U ₁)	18.833±0.573 ^{ab}	4.866±0.284 ^{ab}	185.361±10.383 ^a	169.325±4.294 ^a	86.723±2.485 ^b
	竹柳刺槐白榆混交林(S+R+U ₁)	19.034±0.472 ^a	5.370±0.143 ^a	206.390±9.384 ^a	175.998±2.863 ^a	90.999±1.385 ^a
	衰退白榆林(U ₂)	12.567±0.284 ^c	3.025±0.274 ^c	107.242±4.921 ^c	129.882±2.586 ^c	70.945±2.852 ^c
马场十二分场	盐柳纯林(SC)	15.962±0.735 ^b	2.830±0.143 ^{ab}	143.468±1.384 ^b	105.075±2.193 ^b	67.535±1.342 ^b
	白榆纯林(U ₃)	19.711±1.283 ^a	3.430±0.294 ^a	151.368±1.375 ^a	136.717±1.842 ^a	78.358±2.482 ^a
	衰退八里庄杨纯林(P)	11.312±0.284 ^c	2.789±0.184 ^b	110.323±2.496 ^c	101.854±2.485 ^b	57.551±1.394 ^c

表 5 不同更替改造模式的林下植被情况

试验地点	林分模式	植物种类	密度/ (株·m ⁻²)	高度/ cm	盖度/ %	生长 状况	总盖度/ %	植物类型
马 场 六 分 场	竹柳纯林(S)	白茅	23	40	26	差	5	耐旱耐中度盐碱 的植物
		獐毛	20	25	15	差		
		狗牙根	18	17	20	差		
		结缕草	15	18	12	差		
	刺槐纯林(R)	白茅	28	50	30	中	8	耐旱耐轻—中度 盐碱的植物
		獐毛	30	55	27	中		
		狗牙根	20	21	22	中		
		结缕草	17	20	15	中		
	白榆纯林(U ₁)	白茅	35	62	43	好	2	耐荫耐轻度盐碱 的植物
		马唐	33	40	35	中		
		堇菜	12	13	22	中		
	竹柳刺槐白榆混交林 (S+R+U ₁)	白茅	44	71	55	差	0	耐荫耐轻度盐碱 的植物
		马唐	40	45	38	中		
		堇菜	15	15	25	中		
	衰退白榆纯林(U ₂)	柽柳	8	44	38	好	0	耐旱耐中—重度 盐碱植物
		碱蓬	10	13	10	中		
狗尾草		5	12	6	差			
苦苣菜		3	6	3	差			
马 场 十 二 分 场	盐柳纯林(SC)	马唐	36	38	90	中	6	耐荫、耐轻度盐 碱的植物
		堇菜	20	15	20	中		
		白茅	7	55	10	中		
		狗尾草	4	16	9	差		
		苦苣菜	3	9	3	差		
	白榆纯林(U ₃)	堇菜	14	13	16	差	5	耐荫耐轻度盐碱 的植物
		马唐	30	33	60	差		
		狗尾草	2	12	7	差		
	衰退八里庄杨树 纯林(P)	柽柳	6	42	35	好	5	耐旱耐中—重度 盐碱的植物
		碱蓬	9	15	12	中		
白茅		5	45	25	差			
		狗尾草	2	8	2	差		

注:各物种拉丁学名为白茅(*Imperata cylindrica*),獐毛(*Aeluropus sinensis*),狗牙根(*Cynodon dactylon*),结缕草(*Zoysia japonica*),苦苣菜(*Ixeris chinensis*),狗尾草(*Setaria viridis*),马唐(*Digitaria sanguinalis*),堇菜(*Viola verecunda*),柽柳(*Tamarix chinensis*),碱蓬(*Suaeda glauca*)。

由此可见,衰退林分经更替改造后的土壤肥力状况得到较大改善,土壤有机质和养分含量皆有所提高,但随着林分模式的不同,其提高程度差异较大。从衰退白榆纯林更替改造后的 4 种林分看,以竹柳刺槐白榆混交林对于土壤肥力的改善状况最为明显,其次是白榆纯林,刺槐纯林较差,竹柳纯林最差;衰退八里庄杨树更替改造后的 2 种林分中以白榆纯林为最好。

2.3 不同更替改造模式的林下植被

由表 5 可以看出,马场六分场更替改造的竹柳纯林、刺槐纯林、白榆纯林和竹柳刺槐白榆混交林 4 种林分模式的植被种类分别只有 4 种、6 种、3 种和 3 种,植被多样性较差,但其植物种类因林分模式的不

同而有差异,4 种林分模式的植被都有白茅这一植物,说明白茅植物种对生境的适存能力较强。竹柳纯林土壤由于盐分含量较高(0.38%)加之干旱贫瘠,只有白茅、獐毛、狗牙根和结缕草 4 种耐旱耐中度盐碱的植物生存,其生长情况都较差;刺槐纯林由于其生境变好(土壤盐分含量 0.29%),不仅白茅、獐毛、狗牙根和结缕草 4 种植物生长较好,而且出现了苦苣菜和狗尾草 2 种耐轻—中度盐碱的植物;白榆纯林和竹柳刺槐白榆混交林 2 个林分的生境进一步好转(土壤盐分含量分别为 0.27% 和 0.25%),其林分郁闭度增大(分别为 0.7 和 0.9),獐毛、狗牙根、结缕草、苦苣菜和狗尾草这 5 种耐干旱但不耐荫的植物消失,取而代之

的是马唐和董菜这2种耐荫耐轻度盐碱的植物;衰退白榆纯林由于土壤盐分含量较高(0.41%)、郁闭度低(0.2),出现了怪柳和碱蓬2种盐生植物,耐轻—中度盐碱的狗尾草和苦苣菜亦有零星分布,但生长极差。马场十二分场盐柳纯林和白榆纯林2种更替林分的植被种类分别为5种和3种(表5)。相比盐柳林分的植被,白榆林分由于郁闭度大(0.95),白茅和苦苣菜2种不耐荫的植物消失,仅有耐荫马唐和董菜及狗尾草,其生长状况也较差;衰退八里庄杨林分因土壤盐分含量高(0.39%),仅有4种植物生存,与六分场情况相类似,亦出现了怪柳和碱蓬2种盐生植物,能耐中度盐碱的白茅和耐轻—中度盐碱的狗尾草生长亦较差。

3 结论

(1) 黄河三角洲盐碱地的衰退白榆林和八里庄杨林不同更替改造模式在林分郁闭度、林木保存率方面有较大差异,但都好于各自的对照衰退林分,具体表现为:竹柳刺槐白榆混交林>白榆纯林>刺槐纯林>竹柳纯林,白榆纯林>盐柳纯林。在树高、胸径、冠幅等生长因子方面,衰退白榆林更替改造的竹柳刺槐白榆混交林皆高于白榆纯林、刺槐纯林和竹柳纯林的相同树种;衰退八里庄杨林更替改造的盐柳亦好于白榆模式。从林分的外观生长状况看,衰退白榆林更替改造的竹柳刺槐白榆混交林最好,林木叶片受盐害情况和生长势都要好于各树种的纯林;衰退八里庄杨林更替改造的白榆纯林模式叶片无盐害症状,生长势好,而更替改造的盐柳纯林叶片受害率高达95%以上,生长势差。

(2) 衰退白榆纯林更替改造为4种不同模式的林分8a后,衰退八里庄杨树林更替改造为两种不同模式的林分3a后,与各自的衰退纯林相比,在土壤透水持水性、疏松性和结构等土壤物理性能上皆得到显著提高,具体表现为:竹柳刺槐白榆混交林>白榆纯林>刺槐纯林>竹柳纯林>衰退白榆林,白榆纯林>盐柳纯林>衰退八里庄杨林。

(3) 不同更替模式下的林地土壤均偏碱性,但总体上看,与各自的衰退林分相比较,均不同程度地降低了土壤的pH值。中度盐碱地的衰退白榆纯林更替改造的刺槐林、白榆林和竹柳刺槐白榆混交林的土壤含盐量均小于0.3%,属于轻度盐碱地;竹柳林土壤含盐量下降的幅度较小,属于中度盐碱地。衰退八里庄杨林土壤含盐量高达0.39%,次生盐渍化严重,而更替改造的盐柳和白榆林的含盐量皆在0.3%以下,更替改造的林分两种模式降盐效果明显。

(4) 两种衰退林分更替改造模式的土壤有机质和养分皆有所提高,但随林分模式的不同,其幅度差异较大。具体表现为:竹柳刺槐白榆混交林>白榆纯林>刺槐纯林>竹柳纯林>衰退白榆林,白榆纯林>盐柳纯林>衰退八里庄杨树林。

(5) 不同林分模式的植被类型有所差异,但总体来说,因更替改造模式林分的生境好于衰退林分,出现了耐盐能力较低的植物,其植被种类增多,但随着林分郁闭度的增加,耐荫植物出现,耐干旱耐盐植物种类减少。

综合两种衰退林分更替改造为不同模式的生长、土壤及植被分析与评价,在衰退白榆林的更替改造中,以竹柳刺槐白榆混交林模式为最佳,白榆林次之,刺槐林亦可考虑,竹柳纯林模式则不宜选择;在衰退八里庄杨林的更替改造的两种模式中,白榆纯林为最好,盐柳纯林较差,不宜选用。因此,在衰退林分的更替改造中,首先应依据立地条件考虑选择在盐分、干旱等主要限制因子的表现上相当或者高于原有衰退林分的树种;其次,避免营造单一的纯林,尽可能营造2个树种以上的混交林。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 刘庆生,刘高焕,黄翀. 黄河三角洲人工刺槐林枯梢调查统计分析[J]. 林业资源管理,2011(5):79-83.
- [3] 曹帮华,吴丽云. 滨海盐碱地刺槐白蜡混交林土壤酶与养分相关性研究[J]. 水土保持学报,2008,22(1):128-133.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 马风云,白世红,侯本栋,等. 黄河三角洲退化人工刺槐林地土壤特征[J]. 中国水土保持科学,2010,8(2):74-79.
- [7] 夏江宝,许景伟,李传荣,等. 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[J]. 水土保持通报,2012,32(5):171-175.
- [8] 王群,夏江宝,张金池,等. 黄河三角洲退化刺槐林地不同改造模式下土壤酶活性及养分特征[J]. 水土保持学报,2012,26(4):133-137.
- [9] 章家恩. 生态学常用试验研究方法与技术[M]. 北京:化学工业出版社,2007.
- [10] 刘娜娜,赵世伟,王恒俊. 黄土丘陵沟壑区人工柠条林土壤水物理性质变化研究[J]. 水土保持通报,2006,26(3):15-17.

点数据较少,加强监测点管理并积累长序列的观测数据是获得比较准确的 K 值和建立相关经验公式的有效办法。

[参 考 文 献]

- [1] Bennett H H. Some comparisons of the properties of humid-tropical and humid-temperate American soils, with special reference to indicated relations between chemical composition and physical properties[J]. Soil Science, 1926,21(5):349-376.
- [2] Middleton H E. Properties of soils which influence soil erosion[J]. Soil Science Society of America, 1930,2: 119-121.
- [3] 朱显谟,张相麟,雷文进. 泾河流域土壤侵蚀现象及其演变[J]. 土壤学报,1954,2(4):3-16.
- [4] 田积莹,黄义端. 子午岭连家砭地区土壤物理性质与土壤抗侵蚀性能指标的初步研究[J]. 土壤学报,1964(3):286-296.
- [5] Olson T C, Wischmeier W H. Soil-erodibility evaluations for soils on the runoff and erosion stations 1[J]. Soil Science Society of America Journal, 1963,27(5): 590-592.
- [6] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses[M]// Agricultural Handbook 537. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, 1978.
- [7] 中华人民共和国水利部. 第一次全国水利普查水土保持情况公报[J]. 中国水土保持,2013(10):64-64.
- [8] 黄晓强,赵云杰,信忠保,等. 北京山区典型土地利用方式对土壤理化性质及可蚀性的影响[J]. 水土保持研究, 2015,22(1):5-10.
- [9] 钟壬琳. 江西省土壤抗侵蚀性指标区域分布特征分析[D]. 湖北 武汉:长江科学院,2010.
- [10] 张科利,彭文英,杨红丽. 中国土壤可蚀性值及其估算[J]. 土壤学报,2007,44(1):7-13.
- [11] 张宪奎,许靖华,卢秀琴,等. 黑龙江省土壤流失方程的研究[J]. 水土保持通报,1992,12(4):1-9.
- [12] 翟伟峰,许林书. 东北典型黑土区土壤可蚀性 K 值研究[J]. 土壤通报,2011,42(5):1209-1213.
- [13] 孙景华,杨玉阁,张本家,等. 辽北低山丘陵区坡耕地水土流失规律研究[J]. 水土保持研究,1997,4(4):65-74.
- [14] 夏美玲,高之栋,周岩,等. 赣榆县夹谷山坡面侵蚀产沙特征及其影响因素[J]. 水土保持通报,2014,34(2):11-14.
- [15] 金争平,史培军. 黄河皇甫川流域土壤侵蚀系统模型和治理模式[M]. 北京:海洋出版社,1992:60-81.
- [16] Liu Baoyuan, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(5):1759-1763.
- [17] Liu Baoyuan, Nearing M A, Shi Prijun, et al. Slope length effects on soil loss for steep slopes[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(5): 1759-1763.
- [18] 邵永昌. 安徽大别山区典型流域降雨径流产沙规律研究[D]. 江苏 南京:南京林业大学,2016.
- [19] 杨洁. 红壤坡地柑橘园水土保持水文效应研究[D]. 江西 南昌:江西农业大学,2011.
- [20] 何长高. 低丘红壤水土流失及其保土耕作措施研究[J]. 水土保持学报,1995,9(1):82-85.
- [21] 谢庭生,谢树春,赵玲,等. 红壤低丘坡耕地垄作草垡区田的种植效应试验[J]. 水资源与水工程学报,2015(6): 220-224.
- [22] 刘亚云,谭敦英. 紫色土坡耕地保土耕作研究初报[J]. 耕作与栽培,1992(4):63-64.
- [23] 李锡泉,田育新,袁正科,等. 湘西山地不同植被类型的水土保持效益研究[J]. 水土保持研究,2003,10(2): 123-125.
- [24] 周伏建,黄炎和. 福建省土壤流失预防研究[J]. 水土保持学报,1995,9(1):25-30.
- [25] 丁光敏,林桂志,刘廉海,等. 坡地幼龄果园不同水土保持措施水沙调控研究[J]. 亚热带水土保持,2006,18(3):1-3.
- [26] 陈法扬,王志明. 通用土壤流失方程在小良水土保持试验站的应用[J]. 水土保持通报,1992,12(1):23-41.
- [27] 杨占彪,朱波,林立金,等. 川中丘陵区紫色土坡耕地土壤侵蚀特征[J]. 四川农业大学学报,2010,28(4):480-485.
- [28] 吕甚悟,陈谦,袁绍良,等. 紫色土坡耕地水土流失试验分析[J]. 山地学报,2000,18(6):520-525.
- [29] 朱青,王兆骞,尹迪信. 贵州坡耕地水土保持措施效益研究[J]. 自然资源学报,2008,23(2):219-229.
- [30] 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤流失方程研究[J]. 水土保持通报,1999,19(1):1-9.

(上接第 113 页)

- [11] 郭静,姚孝友,刘霞,等. 不同生态修复措施下鲁中山区土壤的水文特征[J]. 浙江林学院学报,2008,25(3): 342-349.
- [12] 张雷燕,刘常富,王彦辉,等. 宁夏六盘山地区不同森林类型土壤的蓄水和渗透能力比较[J]. 水土保持学报, 2007,21(1):95-98.
- [13] 夏江宝,曲志远,朱玮,等. 鲁中山区不同人工林土壤水分特征[J]. 水土保持学报,2005,19(6):45-50.
- [13] 许景伟,李传荣,夏江宝,等. 黄河三角洲滩地不同林分类型的土壤水文特性[J]. 水土保持学报,2009,23(1): 173-176.
- [14] 白麟,杨建英,韩雪梅,等. 3 种造林模式对北京北部人工水源涵养林地土壤肥力的影响研究[J]. 水土保持研究,2011,18(6):75-78.