

# 黄河三角洲次生柽柳退化林更替改造模式分析评价

乔艳辉<sup>1</sup>, 亓玉昆<sup>1</sup>, 王月海<sup>1</sup>, 刘光明<sup>2</sup>

(1.山东省林业科学研究院, 济南 250014; 2.山东省东营市垦利区林业发展服务中心, 山东 东营 257500)

**摘 要:**为筛选出黄河三角洲盐碱地柽柳退化林更替改造的最优林分模式,指导生产中天然次生柽柳林的保护与改造,以黄河三角洲次生柽柳退化林更替改造形成的 4 种林分 and 未进行改造的次生柽柳林(对照)为研究对象,对其林分(生长)状况、林地植被和土壤理化特征等方面的效应进行了比较分析和评价。结果表明:(1) 次生柽柳退化林分更替改造 5 a 后的林分状况(林分郁闭度、林木保存率、胸径、树高、冠幅)虽因林分模式不同而有较大差异,但都明显好于次生柽柳退化林分。(2) 在植被的种类和生长情况方面,更替改造后形成的林分生境明显好于次生柽柳退化林,林下植物种类增多,耐重—中度盐碱植物种类减少,耐轻—中度盐碱植物种类增加。(3) 更替改造的 4 种林分在土壤孔隙度、有机质及养分含量的指标上均得到显著提高,土壤密度、pH 值和含盐量呈降低趋势,土壤理化状况得到明显改善。(4) 对林分(生长)状况和土壤理化指标的综合评价分析显示,更替改造的 4 种林分模式和未进行改造的柽柳退化林分的效应综合评价为:刺槐林>白榆林>白蜡林>盐柳林>次生柽柳退化林。依据柽柳退化林更替改造的 4 种模式在林分状况、林地土壤理化指标、林下植被的比较分析及综合评价,以刺槐林为最佳,白榆林次之,白蜡林较差,盐柳林最差,不宜选用。

**关键词:**黄河三角洲盐碱地; 次生柽柳林; 退化林分; 更替改造模式

中图分类号:S756.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)06-0370-07

## Analysis and Evaluation on Replacement Models of Secondary *Tamarix chinensis* Degraded Forest in Yellow River Delta

QIAO Yanhui<sup>1</sup>, QI Yukun<sup>1</sup>, WANG Yuehai<sup>1</sup>, LIU Guangming<sup>2</sup>

(1.Shandong Academy of Forestry, Jinan 250014, China;

2.Forestry Development Service Center of Kenli District, Dongying, Shandong 257500, China)

**Abstract:** In order to select the optimal stand model for replacement and transformation of degraded *Tamarix chinensis* forest in the saline-alkali region of the Yellow River delta, and guide protection and transformation of natural secondary *T. chinensis* forest in practice, 4 kinds of replaced and transformed stands of and the unmanaged *T. chinensis* were selected as the samples, the growth levels of 4 kinds stands, the effects of the 4 kinds of stands and the unmanaged secondary *T. chinensis* on woodland vegetation and soil physicochemical properties in the Yellow River delta were compared and evaluated. The results showed that: (1) the stand conditions (stand density, tree preservation rate, breast diameter, tree height, crown width) of secondary *T. chinensis* after replacement transformation of 5 years were significantly better than those of the degraded secondary *T. chinensis* stand; (2) in terms of the species and growth of vegetation, the stand habitat formed after replacement transformation was obviously better than that of the degraded secondary *T. chinensis* forest, and the plant species of undergrowth increased, the species of heavy-moderate saline-alkali tolerant plants decreased, and the species of moderate saline-alkali tolerant plants increased; (3) the soil porosity, organic matter and nutrient contents of the four replaced stands were significantly improved, and the soil

收稿日期:2020-01-14

修回日期:2020-02-08

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,山东烟台人,大学本科,工程师,主要从事生态、森林培育研究。E-mail:qiaoyanhui66@163.com

通信作者:王月海(1962—),男,山东莱阳人,大学本科,研究员,主要从事生态、森林培育、植被恢复及盐碱地改良研究。E-mail:wyuehai@163.com

density, pH value and salinity showed a decreasing trend, and the physicochemical condition of the soil was significantly improved. (4) the comprehensive evaluation of the stand growth status and soil physicochemical indexes showed that the comprehensive evaluation of the effects of the four replaced stand models and the degraded *T. chinensis* stands without modification decreased in the order: *Robinia pseudoacacia* > *Ulmus pumila* > *Fraxinu velutina* > *Salix americana* > degraded secondary *T. chinensis* forest. According to the comparative analysis and evaluation of stand status, soil physicochemical indexes of forest land and undergrowth vegetation of the four models of replacement and transformation of degraded *T. chinensis* forest, the *R. pseudoacacia* forest was the best, followed by the *U. pumila* forest, the *F. velutina* forest was poor, and the *S. americana* forest was the worst and should not be selected.

**Keywords:** Yellow River delta; secondary *Tamarix chinensis*; degraded forest; alternate transformation mode

黄河三角洲为黄河尾间不断摆动形成,母质为黄河冲积物,底部为海相沉积物,土壤以盐化潮土和滨海盐土为主,土壤含盐量高,一般在0.4%以上,局部地块高达2%以上,0—100 cm土体加权平均含盐量达0.58%,土壤盐分组成以氯化物为主,土壤熟化度低,质地黏重、养分贫瘠,自然条件恶劣,天然植被类型少,主要是一些天然灌木植被和滨海盐生草本植被,如怪柳、芦苇、碱蓬等。植物区系的特点是结构简单、组成单一,生物多样性低,土壤的改良效果差<sup>[1]</sup>。因此,在盐碱地进行人工造林绿化,是该区域植被恢复与生态改良、持续利用土地、建设高效生态经济区之有力保障。

怪柳(*Tamarix chinensis*)是黄河流域和沿海地区盐碱地分布的主要树种之一,有天然次生林和人工林,为典型的泌盐植物,具有较高的耐盐能力,对土壤的改良效果较为明显。有研究表明,5~10 a生怪柳林可使土壤盐分含量降低47.39%,是目前黄河三角洲盐碱地脆弱生境的主要先锋树种,是维持该地区生态环境的重要支柱<sup>[1]</sup>。近年来,由于受自然因素和人为因素的影响,黄河三角洲盐碱地某些区域的天然怪柳次生林群落出现退化现象,怪柳林木生长缓慢或停滞,甚至出现负生长,林相残败,林木覆盖率严重降低,土壤次生盐渍化加重,导致湿地生态系统退化<sup>[2]</sup>。因此,亟待对该地域的退化怪柳林分进行保护及改造。徐梦辰<sup>[3]</sup>、夏江宝<sup>[4]</sup>等对黄河三角洲怪柳群落退化特征及怪柳低效次生林质效等方面进行了探讨研究,但有关次生怪柳退化林的改造及改造后的效应分析评价等研究未见报道。本文以黄河三角洲盐碱地区生产实践的工程造林中对天然次生怪柳退化林更替改造形成的刺槐、白榆、白蜡和盐柳4种林分为研究对象,分析比较其林分(生长)状况、林下植被种类和林地土壤等方面的效应并进行综合评价,以期筛选次生怪柳退化林分更替改造的适宜林分类型,为黄河

三角洲盐碱地天然次生怪柳退化林分的保护与改造提供理论依据和技术支撑。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究地点位于东营市垦利区(37°33′17.9″N, 118°55′51.4″E),属暖温带半湿润大陆性季风气候,光照充足,四季分明。全年平均气温12.3℃,年均日照时数2 682 h,年均降水量574.4 mm,年际变化大,其中约65%的降水主要集中在7—8月,年均蒸发量1 820 mm。土壤质地主要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,沙黏相间,渗透性差,层次变化复杂。2010年秋、冬季,结合修建的滨海大道的景观提升,将滨海大道一侧的次生怪柳退化林实施全面皆伐后修筑台田,在台田土壤淋溶1 a后的2012年春季,将次生怪柳退化林地更替改造为刺槐林、白榆林、白蜡林和盐柳林,刺槐林栽植株行距为1.5 m×2 m,其他3种林分栽植株行距为2 m×3 m,4种林分的总面积约30 hm<sup>2</sup>。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地调查及样品采集 2017年10月下旬,对次生怪柳退化林更替改造5 a后的刺槐、白榆、白蜡和盐柳4个模式的林分(生长)状况、林地土壤及植被进行调查研究,以未改造的次生怪柳退化林分作为对照。在上述林分内分别设置3个20 m×30 m的乔(灌)木样地进行每木检尺和林分外观状况观测,然后在上述的每个样地中设置3个2 m×2 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3个样点,每个样点在距树木水平方向30—50 cm处0—40 cm深度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),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,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<sup>[5]</sup>,土壤有机质采用重铬酸钾氧化—外加加热法测定,速效氮测定采用 SmartChem 全自动间断化学分析仪,有效磷用 Olsen 法(恒温水浴震荡浸提)测定,速效钾用中性 NH<sub>4</sub>OAC 浸提火焰光度法。

1.2.3 数据分析与处理 试验数据采用 Excel 软件和 SPSS 22.0 软件进行统计、分析处理。土壤理化指标采用单因素方差分析(one-way ANOVA)检验,不同林分模式更替改造效应的综合评价采用模糊数学隶属函数法,计算公式如下:

如果指标与更替改造效应呈正相关:

$$X_{(u)} = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

如果指标与更替改造效应呈负相关:

$$X_{(u)} = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

式中: $X_{(u)}$ 为隶属函数值; $X_i$ 为各林分模式某测试指标的平均值; $X_{\min}$ , $X_{\max}$ 分别为不同林分模式中某测试指标内的最小值和最大值。

表 1 不同更替改造模式的林分因子调查

林分类型	林龄/a	郁闭度	保存率/%	胸径/cm	高度/cm	冠幅/m	林分外观情况
刺槐林(R)	5	0.9	96	6.6±0.35	6.23±0.27	3.61±0.08	林木生长势好,叶片未受盐害
白榆林(U)	5	0.7	95	2.6±0.64	2.88±0.46	1.88±0.21	林木生长势一般,叶片受轻度盐害
白蜡林(F)	5	0.6	82	2.3±0.37	2.55±0.16	1.77±0.14	林木生长势较差,叶片受轻—中度盐害
盐柳林(S)	5	0.4	49	2.4±0.24	2.65±0.35	1.86±0.16	林木生长势差,叶片受重度盐害

注:表中数据为平均值±标准差。

2.2 不同林分模式的林下植被变化

一般来说,林下植物种类和数量的多少是物种多样性和丰富度的具体反映<sup>[6-7]</sup>。次生怪柳退化林分皆伐更替为不同的林分模式 5 a 后,由于树种的不同,其林分结构发生了变化,林下植被的种类和生长情况亦发生了相应变化。由表 2 可以看出,4 种更替改造模式的林下植物种类除了刺槐林分与次生怪柳退化林分的数量相等(4 种)外,其他 3 种林分都比次生怪柳林的植物种类多 2~3 种,表明更替改造后的林分环境有利于植物的生长。刺槐林地虽然生境条件较好,但由于郁闭度(0.9)高,白茅、獐毛、苦苣菜等喜光植物种类消失,植物种类数量有所减少且生长较差;白榆和白蜡 2 个林分的生境虽不如刺槐林分,但由于其郁闭度降低(分别为 0.7,0.6),适宜生长的植物种类增加到 6(7)种,且生长状况较好;盐柳林分的郁闭度进一步降低,但环境条件较白榆和白蜡差,虽然植物种类仍然维持在 6 种,但耐盐程度较高的茵陈蒿取代了耐盐度较低的白茅,且除较耐盐的獐毛和茵陈蒿生长较好外,其他 4 种植物生长皆差;次生怪柳退化林分林地土壤含盐量已经达到 0.88%,适应植物生长

2 结果与分析

2.1 不同更替改造模式的林分(生长)效应

由表 1 可以看出,次生怪柳退化林更替改造的 4 种模式 5 a 后的郁闭度以刺槐林最大(0.9),白榆林与白蜡林相当(分别为 0.7,0.6),盐柳林最差,只有 0.4。保存率亦以刺槐林为最高(96%),白榆林保存率(95%)与刺槐林相当,盐柳林分的保存率最差(仅有 49%),较前 3 种林分差异明显。胸径、树高和冠幅是林分的重要生长指标,在相同立地和管理措施基本相一致的情况下,4 种林分的生长表现出较大差异,以刺槐林生长速度最快,林木的胸径、树高和冠幅数值最大,其余 3 种林分的林木生长差别较小,作为速生树种盐柳的林分生长指标(树高、胸径和冠幅)却低于生长速度较慢的白榆,仅比白蜡略高。4 种模式的林分外观生长状况(表 1)与林分的生长因子变化趋势相一致,也是以刺槐林长势最好,叶片未受到盐分危害;白榆林长势一般,林木叶片有轻度盐害现象;盐柳林长势最差,叶片受到重度盐害。

的环境条件进一步变差,植物种类只有 4 种,出现了耐重度盐分的碱蓬植物,耐中度盐碱的獐毛植物生长变差,狗尾草和苦苣菜这 2 种耐轻—中度盐碱的植物虽然也出现在其中,但数量少且生长极差。

2.3 不同林分模式的林地土壤改良效应

土壤水分、容重、孔隙度、盐碱状况、有机质和养分含量等理化特性是反映盐碱地土壤性能好坏的重要指标,是衡量林地土壤质量的重要参数<sup>[8]</sup>。土壤物理性质的变化与林木的生长和林地的生产力息息相关,盐碱性也是反映土壤状况的重要因素,土壤有机质和养分可促进土壤良好结构的形成,增强土壤的缓冲性,并对植被的生长发育和土地生产力起重要的作用<sup>[9-11]</sup>。

2.3.1 土壤容重和孔隙度 土壤容重和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<sup>[12]</sup>。一般情况下,密度越小,土壤越疏松,通气度越大,能够减缓径流冲刷和拦蓄水分的能力越强;密度越大,土壤通气度越小,疏松性越差<sup>[13-14]</sup>。

由表 3 可以看出,次生怪柳退化林分更替改造后



的 4 种林分模式的林地土壤容重与次生柽柳退化林的土壤容重相比皆明显降低,其中刺槐和白榆 2 种林分与次生柽柳林差异显著( $p<0.05$ )。有研究表明,土壤容重在  $1.25\sim1.35\text{ g/cm}^3$  的范围内说明土壤结构较好<sup>[15]</sup>,4 种更替模式的土壤容重  $1.26\sim1.38\text{ g/cm}^3$ ,说明更替改造的 4 种模式的林地土壤结构皆得到改善,土壤性能皆得到提高。4 种更替模式中,以刺槐林分的土壤容重为最低,与其他 3 种模式差异皆显著( $p<0.05$ );白榆林分次之,亦与白蜡和盐柳 2 种林分差异达到显著性( $p<0.05$ );白蜡与盐柳相比,其土壤容重亦有降低,但差异不显著( $p>0.05$ )。

土壤的孔隙状况直接影响植物根系的伸展难易程度及土壤结构的好坏,对土壤中的肥、水、热、气和生物活性有重要的调节功能<sup>[9]</sup>。土壤毛管孔隙度越大,土壤中有效水的贮存容量越大,可供树木根系利用有效水分的比例就越大;土壤非毛管孔隙越大,其能够减缓径流冲刷和拦蓄水分能力越强。由表 3 可知,4 种更替模式的林地土壤总孔隙度和毛管孔隙度皆明显大于次生柽柳林,差异显著( $p<0.05$ );非毛管孔隙度的值表现为刺槐和白榆 2 种林分明显比次生柽柳林大,差异显著,而白蜡和盐柳 2 种林分改变较小,甚至略小于次生柽柳退化林分。依据“土壤总孔隙度范围在  $50\%\sim60\%$ ,非毛管孔隙度达到  $10\%$  以上,表明土壤的通气状况和透水性能较好”的研究<sup>[16]</sup>,更替改造后 4 种林分模式的土壤总孔隙度为  $50.64\%\sim57.81\%$ ,非毛管孔隙度  $2.27\%\sim3.65\%$ ,说明这 4 种更替的林分对土壤的总孔隙度状况改善有显著促进作用,通气状况较好,但透水性和涵养水源的能力还有待提高。

2.3.2 土壤盐碱性 土壤 pH 值和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影响<sup>[16]</sup>。由于黄河三角洲地区盐碱地的土壤本身盐碱化程度比较严重(盐碱本底值高)<sup>[17]</sup>,依据我国土壤酸碱度分级标准<sup>[18]</sup>,由图 1 可以看出,更替改造后 4 种林分模式的林地土壤仍然偏碱性,但与次生柽柳退化林分相比,均不同程度地降低了土壤的酸碱度,与次生柽柳退化林分的 pH 值差异皆达到显著水

平( $p<0.05$ );4 种更替改造模式中,以刺槐林分压碱效果最好,与其他 3 种林分模式存在显著性差异( $p<0.05$ )。4 种更替改造林分的林地土壤含盐量与 pH 值的变化趋势基本一致,亦均低于次生柽柳林(图 1),差异性皆显著( $p<0.05$ );4 种更替改造模式中,亦以刺槐林分降盐效果最好,与其他 3 种林分模式存在显著性差异( $p<0.05$ )。由此可见,次生柽柳退化林分经更替改造后的土壤含盐量和 pH 值均呈现明显降低趋势,降盐压碱效果显著。

表 2 不同林分模式的林下植被状况

林分类型	植物种类	密度/ (株·m <sup>-2</sup> )	高度/ cm	盖度/ %	总盖度/ %	生长状况
刺槐林(R)	萝藦	3	60	4	10	差
	芦苇	4	120	6		差
	猪毛菜	7	40	5		差
	狗尾草	5	30	2		差
	狗牙根	9	15	43	91	中
白榆林(U)	狗尾草	11	25	5		中
	芦苇	10	80	15		中
	白茅	14	70	70		中
	苦荬菜	6	23	2		中
	萝藦	5	110	3		中
白蜡林(F)	狗尾草	60	45	50	85	中
	芦苇	33	120	20		差
	苦荬菜	6	25	45		中
	萝藦	4	140	15		好
	獐毛	18	25	33		好
盐柳林(S)	狗牙根	15	12	10		中
	白茅	13	35	15		中
	獐毛	24	110	35	92	好
	苦荬菜	12	15	8		差
	萝藦	5	38	3		差
次生柽柳林(T)	芦苇	22	70	15		差
	狗尾草	9	40	3		差
	茵陈蒿	16	62	22		中
	碱蓬	8	31	12	79	中
	獐毛	26	150	59		差
	狗尾草	5	17	2		极差
	苦荬菜	3	8	1		极差

注:萝藦 *Metaplexis japonica*, 芦苇 *Phragmitesaustralis*, 猪毛菜 *Salso-lacollina Pall*, 狗尾草 *Setariaviridis*, 狗牙根 *Cynodondactylon*, 白茅 *Imperatacylindrica*, 苦荬菜 *Ixerischinensis*, 獐毛 *Aeluropussinensis*, 茵陈蒿 *Artemisia capillaris*, 碱蓬 *Suaedaglauca*。

表 3 不同林分模式的林地土壤容重和孔隙度

林分类型	土壤容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%	孔隙比
刺槐林(R)	1.26±0.04c	57.81±1.23a	54.16±2.88a	3.65±0.11a	1.16±0.02a
白榆林(U)	1.29±0.04b	55.99±1.10a	52.47±2.24a	3.52±0.11a	1.08±0.13a
白蜡林(F)	1.32±0.03a	52.68±1.37b	50.11±1.87a	2.57±0.17b	1.02±0.32a
盐柳林(S)	1.38±0.07a	50.64±1.54b	46.37±2.47b	2.27±0.18b	0.91±0.07b
次生柽柳林(T)	1.45±0.07a	45.52±1.29c	42.68±2.06c	2.84±0.33b	0.87±0.02b

注:表中数据为平均值±标准差;不同小写字母表示不同林分差异显著( $p<0.05$ )。

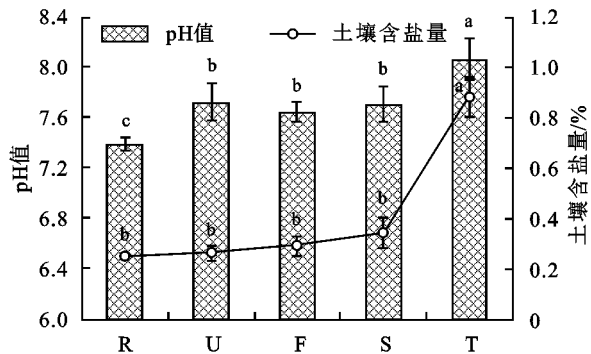


图 1 不同林分模式的土壤 pH 值和含盐量

2.3.3 土壤肥力状况 土壤肥力评价的主要指标有土壤有机质、速效养分 N,P,K。其中的土壤有机质

表 4 不同林分模式的土壤有机质和养分

林分类型	有机质含量/(g·kg <sup>-1</sup> )	速效 N 含量/(mg·kg <sup>-1</sup> )	有效 P 含量/(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效 K 含量/(mg·kg <sup>-1</sup> )
刺槐林(R)	8.19±0.30a	210.385±3.98a	4.86±0.07a	180.04±6.83a
白榆林(U)	7.45±0.11b	197.219±2.14b	3.89±0.09b	169.89±7.96a
白蜡林(F)	6.92±0.38b	191.351±3.05b	3.64±0.06b	162.93±4.94a
盐柳林(S)	4.06±0.09c	143.287±2.36c	2.53±0.05c	126.03±5.72b
次生怪柳(T)	2.92±0.06d	117.436±1.71d	2.03±0.08d	74.33±4.75c

注:表中数据为平均值±标准差;不同小写字母表示不同林分差异显著( $p<0.05$ )。

2.4 不同林分模式的林分生长和林地土壤改良效应综合评价

模糊综合评价法是一种基于模糊数学的综合评价方法,即用模糊数学对受到多种因素制约的对象做出一个总体的评价。平均隶属函数值越大,表明模式的综合性能越好。我们选择 5 个林分(生长)指标和 8 个土壤理化指标来评价不同林分更替改造效应,得出各林分主要因子的隶属函数值(表 5)。由表 5 可以看出,不同林分效应综合评价为:刺槐林>白榆林>白蜡林>盐柳林>次生怪柳退化林。

表 5 不同林分模式下主要因子的隶属函数值

主要因子	林分模式				
	刺槐林	白榆林	白蜡林	盐柳林	次生怪柳林
郁闭度+	0.552	0.547	0.523	0.385	0.427
林木保存率+	0.500	0.573	0.533	0.476	0.444
胸径+	0.878	0.545	0.363	0.449	0.438
高度+	0.452	0.456	0.583	0.380	0.433
冠幅+	0.481	0.447	0.471	0.582	0.635
土壤容重-	0.425	0.385	0.475	0.447	0.402
总孔隙度	0.448	0.561	0.489	0.584	0.536
pH 值-	0.551	0.568	0.465	0.424	0.464
含盐量-	0.575	0.421	0.553	0.426	0.458
有机质+	0.254	0.414	0.385	0.496	0.288
速效 N+	0.375	0.631	0.587	0.520	0.497
有效 P+	0.642	0.433	0.355	0.405	0.370
速效 K+	0.574	0.644	0.592	0.524	0.621
合计	6.707	6.625	6.374	6.098	6.013

注: + 正指标; - 负指标。

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,是评价土壤质量的一个重要指标<sup>[16]</sup>。

由表 4 可以看出,4 种更替改造模式的土壤有机质含量均高于次生怪柳退化林,差异性显著( $p<0.05$ );在 4 种更替改造的林分中,以刺槐林为最好,盐柳林为最差,其中刺槐林与其他 3 种林分差异显著,白榆和白蜡 2 种林分之间差异不显著,但与盐柳林分差异达到显著水平。4 种更替改造模式的土壤速效 N、有效 P 和速效 K 含量与有机质的变化趋势基本一致,只是刺槐、白榆和白蜡 3 种林分的速效 K 含量差异不显著,这与林木和林下植物对 K 的吸收有关<sup>[10]</sup>。

表 4 不同林分模式的土壤有机质和养分

林分类型	有机质含量/(g·kg <sup>-1</sup> )	速效 N 含量/(mg·kg <sup>-1</sup> )	有效 P 含量/(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效 K 含量/(mg·kg <sup>-1</sup> )
刺槐林(R)	8.19±0.30a	210.385±3.98a	4.86±0.07a	180.04±6.83a
白榆林(U)	7.45±0.11b	197.219±2.14b	3.89±0.09b	169.89±7.96a
白蜡林(F)	6.92±0.38b	191.351±3.05b	3.64±0.06b	162.93±4.94a
盐柳林(S)	4.06±0.09c	143.287±2.36c	2.53±0.05c	126.03±5.72b
次生怪柳(T)	2.92±0.06d	117.436±1.71d	2.03±0.08d	74.33±4.75c

注:表中数据为平均值±标准差;不同小写字母表示不同林分差异显著( $p<0.05$ )。

3 讨论

在黄河三角洲盐碱地退化林分的更替改造中,造林树种选择至关重要,是更替改造成败的重要因素之一<sup>[19]</sup>。乔艳辉等<sup>[20]</sup>在黄河三角洲人工衰退林分更替改造模式的分析与评价中提出,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。针对次生怪柳林分由于受到人为干扰等因素的影响,林分出现退化成为残次林后,人工更替改造为刺槐、白榆、白蜡和盐柳 4 种林分模式,本研究分析了其更替改造 5 a 后的林分状况。分析表明,4 种更替改造模式的林分状况因树种的不同而表现出较大的差异,尤其是林分郁闭度和保存率 2 个林分指标,以刺槐林分状况最好,白榆和白蜡次之,盐柳林分状况最差,这固然与树种的特性(树种不同,其生长速度不一样)有关,但主要原因是由于黄河三角洲地区盐碱地土壤的次生盐渍化和干旱等因素的影响<sup>[21]</sup>,刺槐树种的耐盐能力虽然不如白榆和白蜡,但其抗干旱的能力却强于这 2 个树种,在干旱、次生盐渍化相互交织的生境下,刺槐林分生长状况明显好于白榆和白蜡;而盐柳树种在耐盐和耐干旱能力上都要差于刺槐、白榆和白蜡这 3 个树种,所以原本应该生长快的树种,其林分生长速度反而不如白榆和白蜡,这与乔艳辉等对衰退人工八里庄杨更替改造为白榆和盐柳

2种模式林分的研究结果<sup>[20]</sup>相似。

有关研究表明,在黄河三角洲盐碱地上造林之前实施的台田、条田整地和土壤淋溶洗盐等工程、水利措施,能有效地降低土壤表层含盐量,使得造林之初栽植的成活率得到保障,但在地下咸水埋深浅、矿化度高、蒸降比大等自然因素影响的条件下,造林地极易发生土壤次生盐渍化<sup>[15,22]</sup>。通过本研究对次生怪柳退化林分更替改造的4种模式的林分(生长)状况和土壤改良效应的分析来看,除了树种选择之外,造林栽植密度等也是需要考虑的重要因素之一。本研究的4种更替改造模式中,刺槐林栽植株行距为1.5 m×2 m,其他3种林分栽植株行距为2 m×3 m,由于刺槐林的密度较大,能及早郁闭,使得刺槐林分的土壤蒸发量减少,抑制了土壤返盐,林分状况得到改善,不仅提高了林分生长,而且在林地土壤的改良效应上效果亦明显突出。

虽然目前针对退化林分的改造已有很多的研究和实践,但针对不同成因、不同立地条件下的退化林分提出针对性强的改造技术和模式尚需要进一步加强和深入地提炼研究<sup>[19]</sup>。本研究仅是次生怪柳退化林更替改造为4种模式的林分在5 a时的效应分析与评价,而对退化防护林改造的研究是个连续的过程,随着时间推移,在黄河三角洲盐碱地恶劣条件下,这4种更替改造的林分效应的表现尚需进一步观察和研究。另外,退化林分的改造不仅涉及到技术因素,还涉及很多政策因素。本研究的对象是因工程建设和景观提升需要对退化的次生怪柳林皆伐更替为4种不同模式的林分筛选,在实际工作中,具体模式的应用还需要依据黄河三角洲地区盐碱地防护林是生态公益林的实际,处理好技术与政策的关系。

## 4 结论

(1) 黄河三角洲次生怪柳退化林分皆伐更替改造的4种模式5 a后的林分生长效应因模式不同而存在较大差异,尤其在林分郁闭度和林木保存率方面差异明显。其中刺槐林郁闭度最大,林木的保存率最高,生长表现亦最好,林木叶片未受到盐害;白榆和白蜡2种林分在林分郁闭度和林木生长方面差别不大,生长势分别表现为一般和较差,林木叶片分别受到轻度和轻—中度危害,但在林木保存率方面白榆较白蜡提高了15.9%;盐柳林分的郁闭度和林木保存率皆最低,原本是生长速度与刺槐接近的树种,但其生长却远远低于刺槐,亦不如白榆,仅比白蜡略高,林木叶片

受到重度盐害。

(2) 次生怪柳退化林分皆伐更替为4种模式5 a后,不同林分的林下植被种类和生长情况发生了变化。总体来说,因更替改造后林分的生境好于次生怪柳退化林,林下植物种类增多,耐中—重度盐碱植物种类减少,耐轻—中度盐碱植物种类增加。由于刺槐林分的郁闭度高(0.9),其林下植物种类减少且生长差;白榆和白蜡2个林分由于郁闭度适中,适宜生长的植物种类增多,生长表现较好;盐柳林分虽然郁闭度较低,但因其生境条件较差,耐中度盐碱的茵陈蒿出现,除了较耐盐的獐毛和茵陈蒿外,其他植物生长都较差;次生怪柳退化林分林地土壤含盐量已经达到0.88%,适应植物生长的环境条件进一步变差,植物种类只有4种,而且出现了耐重度盐分的碱蓬植物,耐中度盐碱的獐毛植物生长变差。

(3) 4种更替改造模式的林地土壤容重、孔隙度、盐碱状况、有机质和养分含量等理化指标皆比次生怪柳退化林有明显改善,除了土壤容重和非毛管孔隙度外,其他指标皆达到显著性差异( $p<0.05$ )。更替改造的4种林分因模式的不同,其理化性能改善存在较大差异,以刺槐林的土壤改良指标为最佳,白榆和白蜡林次之,盐柳林最差。通过林分(生长)状况和改良土壤效应的综合评价,5种林分的综合效应为:刺槐林>白榆林>白蜡林>盐柳林>次生怪柳林。

依据怪柳退化林更替改造的4种模式在林分状况、林地土壤理化指标、林下植被的比较分析及综合评价,以刺槐林为最佳,白榆林次之,白蜡林较差,盐柳纯林最差,不宜选用。因此,在黄河三角洲盐碱地次生怪柳退化林分的更替改造中对树种的选择时,应依据立地条件,不仅考虑树种的耐盐能力,还应考虑树种的耐干旱能力。

### 参考文献:

- [1] 宋玉民,张建锋,邢尚军,等.黄河三角洲重盐碱地植被特征与植被恢复技术[J].东北林业大学学报,2003,31(6):87-89.
- [2] 李永涛,李宗泰,王振猛,等.滨海盐碱地不同林龄怪柳人工林土壤水分物理性质差异性[J].东北林业大学学报,2018,46(9):75-79.
- [3] 徐梦辰,刘加珍,陈永金.黄河三角洲怪柳群落退化特征分析[J].人民黄河,2015,37(7):85-88.
- [4] 夏江宝,刘玉亭,朱金方,等.黄河三角洲莱州湾怪柳低效次生林质效等级评价[J].应用生态学报,2013,24(6):1551-1558.
- [5] 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.
- [6] 刘长宝,王月海,王卫东.滨海盐碱湿地不同恢复区域的植被特征分析[J].山东林业科技,2010(5):45-48.
- [7] 候本栋,马风云,邢尚军,等.黄河三角洲不同演替阶段湿地群落的土壤和植被特征[J].浙江林学院学报,2007,24(3):313-318.
- [8] 李庆梅,候龙鱼,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.
- [9] 高鹏,李增嘉,杨慧玲,等.渗灌与漫灌条件下果园土壤物理性质异质性及其分形特征[J].水土保持学报,2008,22(2):155-158.
- [10] 丁晨曦,李永强,董智,等.不同土地利用方式对黄河三角洲盐碱地土壤理化性质的影响[J].中国水土保持科学,2013,11(2):84-89.
- [11] 张建锋,宋玉民,邢尚军,等.盐碱地改良利用与造林技术[J].东北林业大学学报,2002,30(6):124-129.
- [12] 刘娜娜,赵世伟,王恒俊.黄土地陵沟壑区人工柠条林土壤水分物理性质变化研究[J].水土保持通报,2006,26(3):15-17.
- [13] 刘福德,孔令刚,安树青,等.连作杨树人工林不同生长阶段林地土壤微生态环境特征[J].水土保持学报,2008,22(2):121-125.
- [14] 巍强,张秋良,代海燕,等.大青山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J].水土保持学报,2008,22(2):111-115.
- [15] 夏江宝,徐景伟,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):171-175,181.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 卢瑛,冯宏,甘海华.广州城市公园绿地土壤肥力及酶活性特征[J].水土保持学报,2007,21(1):160-163.
- [19] 王月海,韩友吉,夏江宝,等.黄河三角洲盐碱地低效防护林现状分析与类型划分[J].水土保持通报,2018,38(2):303-306.
- [20] 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.
- [21] 董玉峰,王月海,韩友吉,等.黄河三角洲地区耐盐植物引种现状分析及评价[J].西北林学院学报,2017,32(4):107-119.
- [22] 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,2006:70-88.

(上接第 369 页)

- [20] Shi W, Tao F, Liu J, et al. Has climate change driven spatio-temporal changes of cropland in Northern China since the 1970s[J]. Climatic Change, 2014,124(1/2):163-177.
- [21] 刘春雨,刘英英,丁饶干.福建省新型城镇化与生态环境的耦合分析[J].应用生态学报,2018,29(9):3043-3050.
- [22] 周忠发,黄路迦,肖丹.贵州高原喀斯特石漠化遥感调查研究:以贵州省清镇市为例[J].贵州地质,2001,18(2):93-98.
- [23] 彭建,党威雄,刘焱序,等.景观生态风险评价研究进展与展望[J].地理学报,2015,70(4):664-677.
- [24] 李景刚,何春阳,李晓兵.快速城市化地区自然/半自然景观空间生态风险评价研究:以北京为例[J].自然资源学报,2008,23(1):33-47.
- [25] 杜挺,谢贤健,梁海艳,等.基于熵权 TOPSIS 和 GIS 的重庆市县域经济综合评价及空间分析[J].经济地理,2014,34(6):40-47.
- [26] 高长波,陈新庚,韦朝海,等.广东省生态安全状态及趋势定量评价[J].生态学报,2006,26(7):2191-2197.
- [27] 张思锋,刘晗梦.生态风险评价方法述评[J].生态学报,2010,30(10):2735-2744.
- [28] 徐浩田,周林飞,成遣.基于 PSR 模型的凌河口湿地生态系统健康评价与预警研究[J].生态学报,2017,37(24):8264-8274.
- [29] 谢花林.基于景观结构的土地利用生态风险空间特征分析:以江西兴国县为例[J].中国环境科学,2011,31(4):688-695.
- [30] 李谢辉,李景宜.基于 GIS 的区域景观生态风险分析:以渭河下游河流沿线区域为例[J].干旱区研究,2008,25(6):899-903.
- [31] 梁佳欣,李新举.南四湖湿地景观格局脆弱度的时空分异特征[J].应用生态学报,2018,29(2):626-634.