

黄河三角洲低质低效人工刺槐林分类与评价

夏江宝¹, 许景伟², 李传荣³, 刘京涛¹, 王月海², 陆兆华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分析和室内分析测定相结合的方法, 依据树高、胸径、材积、郁闭度、土壤容重、孔隙度、有机质、初始入渗率、稳定入渗率、pH 值及含盐量共 14 个树木形态及土壤理化指标, 对黄河三角洲退化人工刺槐林进行分类与评价。结果表明: (1) 黄河三角洲人工刺槐林树龄结构较为单一, 仅依据以林分生长过程和林分结构为主的低质低效林分类标准不适合该区域退化人工刺槐林, 需将树木生长状况及土壤理化性质结合起来进行分类与评价。(2) 主成分分析表明, 表征低质低效人工刺槐林的因子根据其影响大小排序依次为: 土壤容重、孔隙度、林分郁闭度、树木材积、有机质和含盐量。(3) 聚类分析表明, 林分类型可划分为生长潜力型、轻度低效型、中度低质低效型、极度低质低效型和重度低质低效型 5 种类型, 并依据参数值对其类型特征、产生原因及宜采取的经营措施进行了评价。

关键词: 刺槐林; 黄河三角洲; 土壤理化性质; 低质低效; 分类与评价

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)01-0217-05

中图分类号: S714.2, S728.5

Classification and Evaluation of Low-quality and Low-benefit *Robinia Pseudoacacia* Plantation in Yellow River Delta Area

XIA Jiang-bao¹, XU Jing-wei², LI Chuan-rong³, LIU Jing-tao¹, WANG Yue-hai², LU Zhao-hua¹

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

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

Shandong 250014, China; 3. College of Forestry, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: By the representative field sampling investigation and laboratory analysis, the classification and evaluation of depredated *Robinia pseudoacacia* plantation in the Yellow River Delta region were studied based on the 14 indexes of tree morphology (tree height, diameter at breast height, timber volume, canopy density) and soil physicochemical property (soil bulk density, soil porosity, organic matter, initial infiltration rate, stable infiltration rate, pH value, and salt content). Results indicated that the tree age of *R. pseudoacacia* plantation in the region was relatively single. The low quality and low-benefit classificatory criteria only by forest growth procedure and structure were unsuitable for the depredated *R. pseudoacacia* plantation in the region. The classification and evaluation of *R. pseudoacacia* plantation should combine the forest growth indexes with soil physicochemical properties. Principal component analysis showed that the main factors affecting the low-quality and low-benefit *R. pseudoacacia* plantation were in the order of soil bulk density > soil porosity > forest canopy density > timber volume > soil organic matter > salt content. Cluster analysis indicated that the *R. pseudoacacia* plantation could be classified as the five types of potential type, slightly low-benefit type, medially low-quality and low-benefit type, extremely low-quality and low-benefit type, and badly low-quality and low-benefit type. According to the mean cluster value, the main features of the different types of forest, causes for the low-quality and low-benefit forest, and management measures were all evaluated.

Keywords: *Robinia pseudoacacia* plantation; Yellow River Delta; soil physicochemical property; low-quality and low-benefit; classification and evaluation

收稿日期: 2011-04-14

修回日期: 2011-06-13

资助项目: 国家“十一五”林业科技支撑计划项目“盐碱地改良沿海防护林体系研究与示范”(2009BADB2B05); 国家“十一五”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及示范”(2010BAC68B01)

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, 硕士生导师, 主要从事森林生态学研究。E-mail: xujingweid@163.com。

黄河三角洲土质结构特殊,沙地临海、海水浸蚀、严重碱化、植被覆盖率低,其生态环境十分脆弱。具有防风固沙、水土保持功能的刺槐(*Robinia pseudoacacia*)是黄河三角洲区域主要的造林树种之一,从 20 世纪 70 年代起,济南军区黄河三角洲生产基地进行了大规模刺槐林的栽植,目前存有我国面积最大的人工刺槐林,总面积达 $5.30 \times 10^3 \text{ hm}^2$,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,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,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^[1-3],低质低效林分形成趋势在增大,其产生原因与刺槐树龄较大、土壤次生盐渍化、天然降水不足、蒸降比大、黄河断流及人类干扰等诸多因素有关^[3-6]。

低效林改造技术规程(LY/T1690—2007)中将低效林定义为:受人为因素的直接作用或诱导自然因素的影响,林分结构和稳定性失调,林木生长发育衰竭,系统功能退化或丧失,导致森林生态功能、林产品产量或生物量显著低于同类立地条件下相同林分平均水平的林分总称。曾思齐等^[7]认为,凡由于森林本身结构不合理或系统组成成分缺失,森林生态经济总体效益显著低于经营措施一致、生长正常的同龄同类林分的指标均值者为低效林。黄河三角洲的人工刺槐林属于生态公益林,其低质低效应主要指林分的生态防护及改良土壤效能低下,涵养水源、防风固沙及保持水土能力降低。其主要外在表现为随着树龄的增大,枯梢严重、树冠死亡率增大、林分郁闭度及林下草本盖度降低。目前,对低质低效林分改造的研究较多^[7-9],对长江中上游低质低效次生林如马尾松、杉木、栎类、冷杉等的分类与评价研究较多^[7],而对黄河三角洲退化刺槐林的研究主要集中在人工刺槐林的土壤退化特征^[1-2,6]、林冠健康状况^[3-4]、改良土壤效应^[6,10-11]及土壤水文生态特性^[12]等方面。对黄河三角洲刺槐林的分类仅从林冠健康状况、枯梢状况进行过初步研究^[3-4],而结合树木生长状况、土壤理化特性等的分类与评价未见报道。鉴此,本研究以黄河三角洲区域的黄河故道刺槐林地和军马场生产基地刺槐林场为研究对象,选取 31 个标准样地对其进行树木胸径、树高、材积及郁闭度等生长指标,及土壤容重、孔隙度状况、土壤入渗性能、土壤有机质及盐碱含量等土壤基本理化特性进行测定分析。在此基础上,采用因子分析、主成分分析及聚类分析等,建立该区域人工刺槐林低质低效划分标准,并对其分布类型特征进行分析评价,以期黄河三角洲人工刺槐林低质低

效的产生原因及其改造方法提供理论依据和技术支持。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于黄河三角洲,地理坐标为 $117^{\circ}32' - 119^{\circ}10'E, 36^{\circ}56' - 38^{\circ}12'N$,东营市河口区的黄河故道刺槐林地和济南军区军马场生产基地,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, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温约 4200°C ,年降水量 $500 \sim 600 \text{ mm}$,年蒸发量 1800 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%,新淤地土壤含盐量较低,一般在 0.3% 以下。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 $10 \sim 40 \text{ g/L}$,高者达 200 g/L ^[11]。济南军区军马场林场,面积约 $4.80 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。区域内人工植被以刺槐(*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 communis*)、茅草(*Imperata cylindrica*)以及翅碱蓬(*Suaeda heteroptera* Kitagawa)为主。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与样品采集 2010 年 10 月中旬,在黄河三角洲军马场生产基地选择 26 a 人工刺槐林为研究对象,分别选取 $(10 \sim 15) \text{ m} \times (15 \sim 20) \text{ m}$ 的标准地 23 个,在黄河故道附近选择 36 年生人工刺槐林标准地 8 个,在每标准地内按 S 型均匀布设 6 试验样点,对 10—30 cm 的土层进行土壤样品的采集与混合测定。2 种林龄的人工刺槐林株行距均为 $2.5 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$,同时在每标准地内进行树木树高、胸径及郁闭度的测定,共测定树木 463 株。

1.2.2 参数测定 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;利用渗透筒法测定土壤入渗特性;土壤有机质采用重铬酸钾氧化—外加热法测定,以上指标测定采用骆洪义等^[13]编著的《土壤学实验》;依据《立木、木材材积速查手册》^[14],进行树木材积的求解计算。

利用 SPSS 13.0, Excel 进行有关数据统计分析。

2 结果与讨论

2.1 刺槐林生长指标与土壤理化指标的相关性分析

相关分析表明(表 1),26 a 和 36 a 刺槐林胸径、树高、材积与土壤容重、孔隙度状况、有机质含量、入渗特性及盐碱含量并未表现出显著的相关性,但郁闭度除了与盐碱含量相关性不显著外,与其他指标均具有显著相关性。这表明如仅从树木生长等级、树高、生长率、蓄积量等指标来对该区域人工刺槐林进行分类将会比较困难,即黄河三角洲人工刺槐林低质低效的出现并不主要表现在生长状况方面,与长江中上游低质低效次生林以林分生长过程划分林分生长等级,确定低质低效的分类标准不一致^[7]。这是由于该区域人工刺槐林树龄分布比较单一,主要以 26 年和 36 年生为主,立地条件相对一致,栽植初期考虑的主要影响因素为土壤盐渍化,仅从树木生长过程和林分结构状况来进行低质低效林划分是不合理的。随着树龄的增长,其改良土壤效应也表现出较大差异,因此需从林分生长状况和林地土壤理化特征等方面综合对人工刺槐林进行分类与评价。

表 1 刺槐林树木生长状况与土壤基本理化性状的相关性分析

土壤理化指标	胸径	树高	材积	郁闭度
容重	-0.634	-0.575	-0.672	-0.997**
总孔隙度	0.617	0.526	0.609	0.987**
毛管孔隙度	0.731	0.649	0.737	0.994**
非毛管孔隙度	0.373	0.367	0.451	0.915*
孔隙比	0.640	0.564	0.655	0.999**
有机质	0.540	0.481	0.571	0.986**
初始入渗率	0.771	0.704	0.800	0.982**
稳定入渗率	0.726	0.662	0.762	0.990**
pH 值	0.104	0.147	0.018	-0.666
含盐量	-0.866	-0.784	-0.806	-0.874

注:**表示在 0.01 水平上极显著;*表示在 0.05 水平上显著。

2.2 刺槐林质效因子的主成分分析

用标准差法对胸径、树高、材积、郁闭度、土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、孔隙比、有机质、初始入渗率、稳定入渗率、pH 值及含盐量 14 个指标进行标准化处理,建立系数相关矩阵,计算各主成分的因子负荷率及贡献率(表 2)。主成分分析表明,第 1 主分量的贡献率为 80.87%,为最大主分量。前 2 个主分量的累积贡献率为 97.655%,能够反映 14 项指标的大部分信息,因此取前 2 个主分量,符合综合数值分析的要求。在第 1 主分量中,大部分因子的负荷量均较大,其中土壤容重最大,其次为初始入渗率、稳定入渗率、郁闭度及孔隙比,而反映树木生长状况的胸径及树高负荷量相对较小。第 1 主分量中

材积量负荷量最大,其次为有机质、含盐量和毛管孔隙度。因为土壤容重与土壤孔隙状况密切相关^[15],而初始入渗率、稳定入渗率与土壤容重、孔隙度状况也有较大关系^[16],因此第 1 主分量中可确定出其主要指示性指标为土壤容重和孔隙度状况,其次为林分郁闭度;第 2 主分量可确定其主要指示性指标为树木材积,其次为有机质和含盐量。

表 2 刺槐林主成分分析特征根及贡献率

主成分	Z ₁	Z ₂
特征根	11.321	2.350
贡献率/%	80.868	16.787
累积贡献率/%	80.868	97.655

表 3 刺槐林主成分特征向量的因子负荷量

特征向量	因子负荷量	
	Z ₁	Z ₂
胸径	0.748	0.662
树高	0.689	0.278
材积	0.769	0.806
郁闭度	0.992	-0.122
容重	-0.997	0.157
总孔隙度	0.971	-0.169
毛管孔隙度	0.976	0.648
非毛管孔隙度	0.881	-0.413
孔隙比	0.987	-0.150
有机质	0.862	-0.767
初始入渗率	0.993	0.036
稳定入渗率	0.993	-0.031
pH 值	-0.575	0.606
含盐量	-0.910	-0.748

2.3 刺槐林的林分类型划分

依据上述 14 项指标对 31 个样地进行聚类分析,依据样地标准化指数和频率分布特点,最后将样地聚为 5 类,类平均值见表 4 所示。从表 4 可以看出,第 I—III 类 26 年生 3 种林分类型其胸径、树高、材积、郁闭度呈现降低趋势,土壤容重、盐碱含量呈现增高趋势,而孔隙度、有机质呈现降低趋势,即树木生长状况、土壤通气透水性能及降盐改土功能均表现出减弱趋势,可分别称其为生长潜力型、轻度低效型、中度低质低效型,分别占总调查样地的 10.0%,25.0%,33.3%。在相同林龄的 26 年生刺槐林分中,第 IV 类林分,其树高、胸径、材积参数均最低,同时其改良土壤水文物理性状、有机质含量及降盐改土功能也较弱,即该类林分主要是由于树种选择不适宜、生长滞后造成的改良土壤效应受到限制,可称其为极度低质低效型,即生长状况较差,改良土壤效能也较弱,该林分类型占总调查样地的 11.7%,产生原因主要是以刺槐作为造林

树种不适宜,同时与受盐分条件限制及营养物质竞争等造成其生长较弱有一定关系。第 V 类为 36 年生的刺槐林,其树高、胸径、材积参数表现出一定的优势,但郁闭度明显较低;同时土壤孔隙度状况、有机质含量、稳渗速率明显较低,土壤容重、含盐量均较高,表

明其土壤通气透水性能、降盐改土功能较差,表现出明显的退化趋势,因此可确定其为重度低质低效型林分。与极度低质低效型的区别为生长状况占优势,但改良土壤效能较弱,该林分类型占总调查样地的 20.0%,其产生原因主要在于树龄过大。

表 4 刺槐林分类型及其类平均值

林分类型	生长潜力型(I类)	轻度低效型(II类)	中度低质低效型(III类)	极度低质低效型(IV类)	重度低质低效型(V类)
胸径/cm	20.70	19.00	15.47	7.35	17.26
树高/m	14.13	14.80	10.14	6.22	12.96
材积/m ³	0.22	0.194	0.10	0.02	0.16
郁闭度	0.95	0.84	0.70	0.45	0.51
土壤容重/(g·cm ⁻³)	1.37	1.40	1.48	1.58	1.54
总孔隙度/%	48.95	46.79	47.57	44.27	43.19
毛管孔隙度/%	43.15	42.19	41.21	39.38	38.88
非毛管孔隙度/%	5.79	4.60	6.37	4.89	4.31
孔隙比	0.96	0.88	0.91	0.76	0.79
有机质/(g·kg ⁻¹)	11.64	10.63	8.12	3.24	5.65
初始入渗率/(mm·min ⁻¹)	11.82	10.22	9.03	7.18	6.72
稳渗速率/(mm·min ⁻¹)	4.12	3.12	1.83	0.56	0.57
pH 值	7.68	7.72	7.75	7.87	7.70
含盐量/(g·kg ⁻¹)	0.76	0.83	1.20	2.37	3.38

2.4 刺槐林的主要类型特征分析及宜采取的经营措施

(1) 生长潜力型: I 类林分类型。该林分类型主要特征为树木生长状况及林分结构较好,树木材积量最高,郁闭度平均为 0.95,未出现枯稍现象,林冠健康;林地的通气透水性能、降盐改土功能较好,生长潜力较大,未出现退化趋势。这部分林分主要为军马场林场的 26 年生刺槐林,造林方式以刺槐和白榆、臭椿、白蜡等树种混交为主。随着树龄的增大,结合黄河三角洲滩地的水盐运移规律,在今后的经营中应加强以保护和恢复合理的经营密度、病虫害防治为主的经营目标,同时避免过度干扰,以保持较高的地表植被覆盖率,防止次生盐碱化的发生。

(2) 轻度低效型: II 类林分类型。该林分类型主要特征为树木生长状况及林分改良土壤理化性状仅低于生长潜力型,郁闭度在 0.84 左右,健康林冠和枯稍现象同时存在,即树木生长量较高,林下草本生长较好,地表植被覆盖率较大。这部分林分主要为军马场林场的 26 年生刺槐林,造林方式以刺槐和杨树混交及刺槐纯林为主。随着树龄的增大,树木生长缓慢,改良土壤功能受到一定限制,建议经营性择伐,调整密度结构,注意纯林病虫害的发生。

(3) 中度低质低效型: III 类林分类型,属于经营不当林。该林分类型因经营措施不当、管理不善等原因,导致树木生长不良,林分功能与效益显著低下,树木生长状况及生长量处于中等,改良土壤效能也较

弱,郁闭度在 0.70 左右,基本无健康林冠,存在一定的枯稍现象,即树木生长状况及改良土壤理化性能均表现出一定的退化趋势。这部分林分主要为军马场林场的 26 年生刺槐林,造林方式主要以刺槐纯林为主,其产生原因除了与树龄较大、过度修枝、地下水盐胁迫限制外,过度放牧、砍伐等人为干扰致使草本层践踏严重,初始入渗率降低,加剧了地表径流的发生,表现出一定的地力衰退现象。对该部分林分首先应加强封育,严禁放牧或砍伐枝干,同时应有目的的进行补置造林,以提高草本层盖度、林分郁闭度,防止水土流失和次生盐碱化的发生。

(4) 极度低质低效型: IV 类林分类型,属于树种不适林。该林分类型因树种或种源选择不当,未能做到适地适树,林木生长极差,功能与效益低,且无培育前途的林分。该林分类型的典型特征是树木生长较差,生长量最小,土壤密实,通透性能较差,林分郁闭度仅在 0.45 左右,占有一定比例的中度、重度枯稍或死亡刺槐林,林下草本覆盖率较低。这部分林分主要为军马场林场的 26 年生刺槐林,造林方式主要以刺槐纯林为主,其产生原因可能与微立地条件下盐碱含量本底值较大或次生盐碱化严重,选择刺槐作为栽植树种不合适有关,同时经营管理不善、放牧践踏或人为砍伐严重及与草本层竞争等也有一定关系,上述原因致使树木在生长初期就表现出较弱趋势,土壤理化性质恶化,从而反过来影响林分的生长。对该部分林

分,建议进行全面皆伐,以耐盐性较强的新植物材料更新栽植为主进行低效林改造。

(5) 重度低质低效型: V 类林分类型,属于衰退过熟林。该林分类型进入衰老期,丧失自然更新能力,为整体衰败的林分。该林分类型的典型特征是由于树龄较长,材积量相对较大,树木死亡及中度、重度枯稍严重;改良土壤效应随着林分郁闭度的减少、枯稍死亡率的增加表现出明显的减弱趋势,即土地退化严重。这部分林分主要为黄河故道的 36 年生刺槐林,造林方式主要以刺槐纯林为主,相关研究表明^[3],黄河故道中度枯稍和重度枯稍或死亡的刺槐林占该林场刺槐总数的 25.6% 和 12.7%,地下水埋深小于 1.8 m,土壤主要为重度盐碱地(含盐量为 4~6 g/kg)。产生原因除了与该地条件下土壤盐碱含量较大有关外,还与刺槐树龄较大、过度放牧、砍伐、因土地利用造成的不规则毁林有较大关系。对这部分林分,应进行全面皆伐,进行以适合该区域盐碱程度的植物材料为主的更新改造,以免随着树龄的进一步增大,树木死亡率增加,土壤次生盐碱化趋势加重。

3 结论

(1) 26 年和 36 年生刺槐林树高、胸径及材积与土壤容重、孔隙度状况、入渗特性、有机质及盐碱含量均未表现出显著相关性;郁闭度与 pH 值和含盐量相关性不显著,但与其他指标相关性均显著。表明黄河三角洲人工刺槐林树龄结构较为单一,仅依据林分生长过程和林分结构为主的低质低效林分类标准不适合该区域退化人工刺槐林,需将树木生长状况及改良土壤效应结合起来进行分类与评价。

(2) 主成分分析表明,在所测定分析的 14 个指标中,可表征黄河三角洲低质低效人工刺槐林的主分量有两个,累积贡献率为 97.655%。第 1 主分量主要为土壤容重和孔隙度状况,其次为林分郁闭度;第 2 主分量主要为树木材积,其次为有机质和含盐量。

(3) 依据测定分析的 14 个指标对 31 个样地进行聚类分析,可聚为 5 类,其中 26 年生的人工刺槐林可分为生长潜力型、轻度低效型、中度低质低效型和极度低质低效型等 4 种类型,主要分布在黄河三角洲军马场林场,分别占总调查样地的 10.0%,25.0%,33.3%,11.7%,36 年生的人工刺槐林为重度低质低效型,主要分布在黄河三角洲原黄河故道附近,占总调查样地的 20.0%。其中中度低质低效型、极度低质低效型、重度低质低效型产生的主要原因分别为经营不当、树种不适及树龄较大造成的衰退过熟;中度低质低效林分在加强封育的同时,应有目的的进行择

伐、补置造林;极度低质低效型和重度低质低效型建议进行全面皆伐、更新改造。

(4) 本文仅对黄河三角洲军马场林场和黄河故道附近的刺槐林地进行了调查分析,为有目的的对该区域大面积退化人工刺槐林进行分类改造与经营,在今后的研究中需将研究区域进一步扩大。同时在今后的分类研究中,应结合活冠比、树冠死亡率、枯稍程度等林冠属性及 3S 技术反映的林冠健康状况进行综合评价。

[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] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [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,2006:38-51.
- [7] 曾思齐,余济云. 长江中上游低质低效次生林改造技术研究[M]. 北京:中国林业出版社,2002:13-23.
- [8] 许鹏辉,陈云明,吴芳. 黄土丘陵半干旱区退化刺槐林不同改造方式效果分析[J]. 西北林学院学报,2009,24(4):109-113.
- [9] 邓加林,潘庆牧,何忠伦. 广元市曾家国有林区低质低效林分改造方法与技术[J]. 四川林业科技,2008,29(4):93-94.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 骆洪义,丁方军. 土壤学实验[M]. 成都:成都科技大学出版社,1995:35-89.
- [14] 许景伟,王长宪,李琪,等. 立木、木材材积速查手册[M]. 2 版. 济南:山东科学技术出版社,2008:75-82.
- [15] 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.
- [16] 吕刚,张由松,祝亚平. 老秃顶子自然保护区不同森林类型土壤贮水与入渗特征研究[J]. 水土保持通报,2011,31(1):109-113.