

# 两种水土生态恢复模式下刺槐种群数量 特征与空间格局研究

贺振伟<sup>1</sup>, 郭东罡<sup>1,4</sup>, 白中科<sup>1,2</sup>, 李晋川<sup>3</sup>, 孙东辉<sup>4</sup>, 邵宏波<sup>5</sup>

(1. 中国地质大学 土地科学技术学院, 北京 100083;

2. 国土资源部土地整治重点实验室, 北京 100035; 3. 山西省生物研究所, 太原 030006;

4. 山西大学 环境与资源学院, 太原 030006; 5. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003)

**摘要:**为了研究刺槐在不同恢复模式中的数量特征和格局分布,选择复垦 17 a 的 SⅢ样地(刺槐×榆树×臭椿)和 SV(刺槐纯林)两块固定监测样地,对比两样地中刺槐的径级结构、枯梢个体的格局和入侵物种的特征等。结果表明:(1) SⅢ样地中刺槐存活率和存活个体的平均胸径比刺槐纯林要高;(2) 由于竞争关系的存在及水分等环境因子的影响,SⅢ样地和 SV 样地刺槐不同径级个体的空间分布表现出一定的空间异质性。(3) 枯梢与刺槐栽种的密度和所处的位置有关,受风较多的 SV 样地枯梢严重,背风的 SⅢ样地枯梢树木明显少于 SV 样地。

**关键词:** 安太堡; 水土保持; 生态恢复; 刺槐; 数量特征; 空间格局

中图分类号: Q948.15<sup>+</sup>5

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)04-0048-05

## Numeric Character and Spatial Pattern of *Robinia pseudoacacia* L. Population at Two Kinds of Recovery Modes

HE Zhen-wei<sup>1</sup>, GUO Dong-gang<sup>1,4</sup>, BAI Zhong-ke<sup>1,2</sup>, LI Jin-chuan<sup>3</sup>, SUN Dong-hui<sup>4</sup>, SHAO Hong-bo<sup>5</sup>

(1. School of Land Sciences & Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Key Lab of Land Consolidation and Rehabilitation, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China;

3. Biological Institute of Shanxi Province, Taiyuan 030006, China; 4. School of Environment and Resources, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 5. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai, Shandong 264003, China)

**Abstract:** In order to study the numeric character and spatial pattern of *Robinia pseudoacacia* L. under two kinds of recovery modes, SⅢ and the SV plots after 17 years of reclaiming were chosen as study area. The size—class distribution, the shoot blight individuals of *Robinia pseudoacacia* L. distribution and the character of invader species were compared. The results were obtained as following: (1) the survival rate and the number of alive *Robinia pseudoacacia* L. individuals at the configuration mode of locust + elm + ailanthus were higher than the configuration mode of Locust pure forest; (2) due to the existence of the relationship between competition and some environmental factors such as water, the space distribution of *Robinia pseudoacacia* L. in different diameter classes at SⅢ and SV plots showed different spatial heterogeneity; (3) the shoot blight was related to the plant density and position of *Robinia pseudoacacia* L., and the shoot blight in SV plot was obviously more serious than that in SⅢ plot, because of the wind.

**Key words:** Antaibao; soil and water conservation; ecological restoration; *Robinia pseudoacacia* L.; numeric character; spatial pattern

刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.),又名洋槐,属温带乔木,在年均气温 8~14℃,年降雨量 500~900 mm 的地方生长最好,在年均气温 4~7℃,年降水量 500

mm 以下的地方,树梢常有冻害发生,转变为灌木。作为一种典型的中生树种,刺槐既喜湿润肥沃的土壤又耐干旱瘠薄,有较强的适应性和抗逆性<sup>[1-2]</sup>,对改善生

收稿日期: 2012-05-22

修回日期: 2012-07-21

资助项目: 国土资源部典型矿区破坏土地生态复垦技术开发与示范项目公益基金资助(200911015)

作者简介: 贺振伟(1970—),男,山西五台人,博士生,研究方向: 土地资源管理与恢复生态学。E-mail: hezhengw@tom.com

通信作者: 白中科(1963—),男,教授,主要从事土地复垦与生态重建、土壤改良与区域整治的教学和科研工作。E-mail: baizk@cugb.edu.cn

态环境、防治水土流失、调节水文状况有着重要的作用。安太堡矿区所在的朔州平鲁区气温和雨量是刺槐生长的临界条件。目前对半干旱区刺槐的研究主要有王改玲等<sup>[3]</sup>针对安太堡露天矿复垦地刺槐生长状况的研究,研究指出坡度、坡向、地表物质组成和植物的恢复模式是影响刺槐生长的主要因素。王玉等<sup>[4]</sup>提出了黄土高原半干旱区刺槐人工栽植的适宜密度。

本文通过对比两种恢复模式下刺槐的径级结构、不同径级个体的空间分布及枯梢个体的分布等,研究刺槐在不同恢复模式下生物和生态学特征,对于提高半干旱区露天煤矿生态复垦地刺槐的造林成活率和建立高效优化恢复模式有重要的意义。

## 1 研究区域和样地概况

### 1.1 研究区概况

安太堡露天煤矿地处黄土高原晋陕蒙接壤的黑三角地带,山西省北部的朔州市境内。地理坐标为东经  $112^{\circ}10'58''$ — $113^{\circ}30'$ ,北纬  $39^{\circ}23'$ — $39^{\circ}37'$ 。平朔

矿区属典型的温带半干旱大陆性季风气候,冬春干旱少雨、寒冷多风,夏季降水集中、温良少风。区内年降雨量为  $428.2 \sim 449.0$  mm,降水集中分布在 7—9 月,占全年降水量的 75%。年蒸发量  $1\,786.6 \sim 2\,598.0$  mm,最大蒸发月为 5—7 月,超过降水量的 4 倍。矿区年平均气温  $4.8 \sim 7.8^{\circ}\text{C}$ , $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的年积温为  $2\,200 \sim 2\,500^{\circ}\text{C}$ ,日温差为  $18 \sim 25^{\circ}\text{C}$ ,年最高、最低温差可达  $61.8^{\circ}\text{C}$ ,无霜期约  $115 \sim 130$  d。

### 1.2 样地概况

在安太堡露天煤矿排土场复垦地选择不同恢复模式的两块固定监测样地 SⅢ和 SV,面积均为  $1\text{ hm}^2$ ,SⅢ和 SV 样地海拔分别为  $1\,380\text{ m}$  和  $1\,420\text{ m}$ ,恢复模式分别为刺槐×榆树×臭椿和刺槐纯林。复垦初期栽种的刺槐均为一年生幼苗,高均为  $30\text{ cm}$ ,为了保证成活率,栽种的间距和行距为  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ ,SⅢ样地为隔行间种,即刺槐|榆树|臭椿,共栽种树苗  $9\,969$  株,其中刺槐  $3\,322$  株;SV 样地共栽种刺槐  $9\,436$  株,两块样地的复垦时间均为 1993 年。

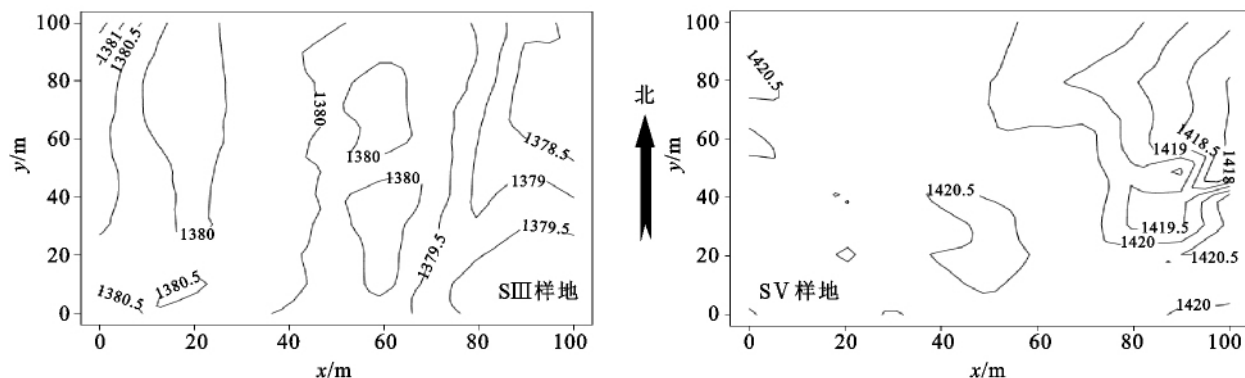


图1 样地地形

### 1.3 研究方法

采用全站仪将两块  $1\text{ hm}^2$  样地划分成 100 个  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$  的样方,样方的四角用水泥桩作永久标记。在每个  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$  的样方内用插值法细分为 4 个  $5\text{ m} \times 5\text{ m}$  的小样方。野外调查以  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$  样方为树种编号单元,以样地左下角为坐标原点顺序排列样方的行号和列号。以  $5\text{ m} \times 5\text{ m}$  小样方为单元,按顺时针方向依次挂牌标记每个  $\text{DBH} \geq 1\text{ cm}$  的个体,记录树种名称、胸径、坐标和生长状况等信息,并建立数据库。

### 1.4 数据分析方法

采用国际通用软件 R 2.6.2 (<http://www.r-project.org/>) 对数据进行分析、统计,径级分布图采用的径级间隔为  $1\text{ cm}$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 种群径级结构分析

SⅢ样地中  $\text{DBH} \geq 7\text{ cm}$  和 SV 样地中  $\text{DBH} \geq 5$

cm 的刺槐为初期种植存活个体。根据样地内刺槐实际生长情况,把 SⅢ样地刺槐分为 3 个径级,小径级 ( $\text{DBH} < 3\text{ cm}$ )、中径级 ( $3\text{ cm} \leq \text{DBH} < 7\text{ cm}$ ) 和大径级 ( $7\text{ cm} \leq \text{DBH}$ );SV 样地刺槐分为 3 个径级,小径级 ( $\text{DBH} < 3\text{ cm}$ )、中径级 ( $3\text{ cm} \leq \text{DBH} < 5\text{ cm}$ ) 和大径级 ( $5\text{ cm} \leq \text{DBH}$ )。对  $1.0\text{ cm} \leq \text{DBH}$  的个体作径级结构图(图 2),可以看出,两块样地内刺槐种群的径级结构基本一致,都呈“峰型”,SⅢ样地中  $1\text{ cm} \leq \text{DBH} < 5\text{ cm}$  刺槐个体占总个体数的 35.44%,SV 样地为 51.81%。两样地刺槐都在  $5\text{ cm} \leq \text{DBH} < 15\text{ cm}$  区间出现第二峰,都以  $10\text{ cm}$  为峰值向两边递减,SⅢ样地和 SV 样地分别有 64.15% 和 50.5% 的个体集中在这一范围内。小径级刺槐储备丰富,而中径级个体则分布较少(图 2)。经统计,SⅢ样地存活刺槐的平均胸径为  $9.297\text{ cm}$ ,SV 样地为  $7.981\text{ cm}$ 。

### 2.2 数量特征及空间格局分布分析

(1) 大径级个体数量特征及空间分布格局。SV

样地内  $DBH \geq 5$  cm 的个体为复垦初期栽种的一年生刺槐幼苗, 经过 17 a 的生长, 栽种的 9 436 棵刺槐幼苗存活下来的有 1 148 棵, 存活率为 12.2%。SV 样地中大径级个体呈随机分布和均匀分布, 聚集不明显。样地中出现两个明显的“空白区”, 一处为复垦时为了预防暴雨的冲刷而设置的排水渠, 位于样地中

央; 另一处为样地南侧。

排水渠左右两侧刺槐排列整齐, 分布均匀, 说明这两排刺槐长势较好, 这与他们的位置密切相关, 实地调查发现排水渠中间只有一些草本植物分布, 竞争个体减少为刺槐的生长提供了充足的空间和营养元素(图 3)。

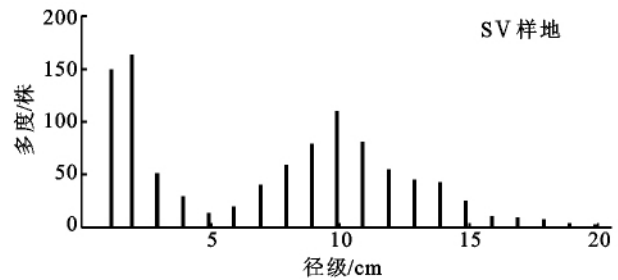
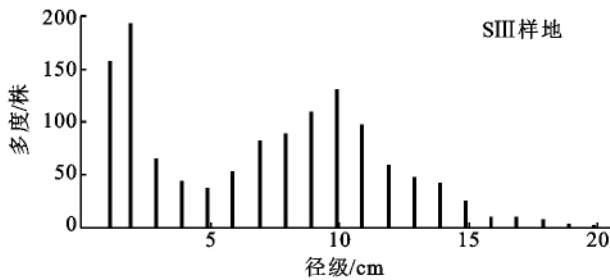


图 2 刺槐径级结构

SⅢ样地复垦初期种植刺槐 3 332 棵, 2010 年夏天调查时存活下来的个体数为 776 棵, 存活率为 23.4%。占样地存活总数的 83.4%, 存活个体的树龄均为 17 a, 经过 17 a 的生长, 其胸径大于 7 cm。样地的东侧(以纵坐标 50 m 为分界线)分布的个体要多于西侧, 东侧平均密度为 886 棵/hm<sup>2</sup>, 西侧平均密度为 658 棵/hm<sup>2</sup>, 样地刺槐的平均密度为 776 棵/hm<sup>2</sup>。

样地的东侧有一条西南方向的排水渠, 排水渠的宽度和深度均为 50 cm。2010 年调查时发现, 水渠两侧最近两株刺槐的直线距离为 10 m, 由于水渠的存在, 在样地的东侧形成了一条植物生长的“空白地带”。排水渠的存在, 使得其东西两侧 20 m 范围内的刺槐数量明显多于样地西侧, 由此说明在半干旱区, 水分是决定植物群落组成与格局的关键因素。

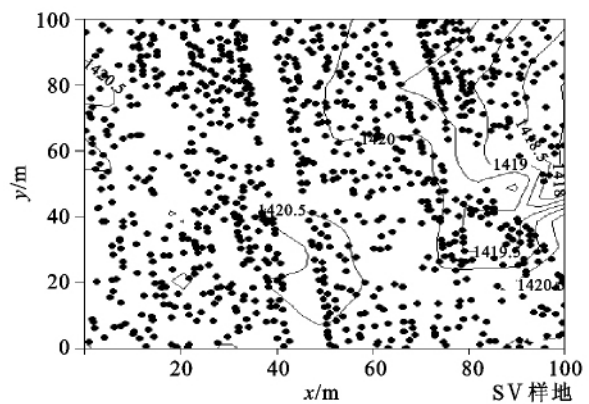
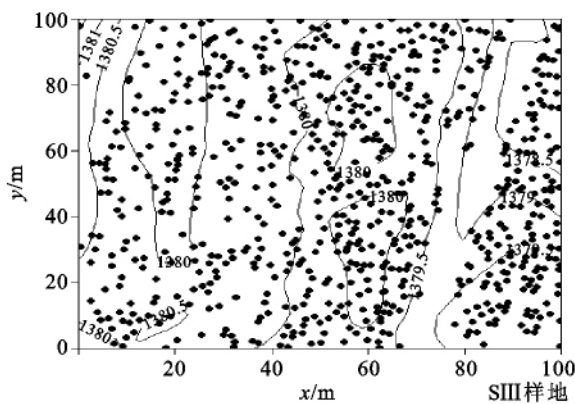


图 3 大径级个体空间分布

(2) 中径级个体数量特征及空间格局分布。中径级刺槐为复垦后刺槐实生或者根蘖繁殖的更新个体。SV 样地内中径级刺槐个体密度为 144 棵/hm<sup>2</sup>, 在样地内表现为随机分布(图 4)。中径级个体的分布位置与大径级个体有所区别, 大径级个体在样地内分布比较均匀, 中径级刺槐个体在样地内只有 144 棵。SⅢ样地内中径级刺槐个体呈随机分布和集群分布, 在样地内的分布位置与小径级个体的位置大致相同; 在大径级个体分布集中的区域内, 中径级个体的密度明显下降, 空间分布格局趋向于随机分布。从数量方面看, SV 样地中径级个体占刺槐总个体数的 4.4%, SⅢ样地则为 23.6%, SV 样地刺槐的更新状

况比 SⅢ样地差。

(3) 小径级个体数量特征及空间分布格局。SV 样地中小径级刺槐占 62.4%, 数量较多, 在样地内分布比较均匀(图 5), 小范围内呈现出局部集中分布的特征。从样地地形图中分析, 刺槐幼苗的积聚性对微地形的依赖性不强。SⅢ样地中刺槐小径级个体呈明显的集群分布, 其中样地的西北和西南角刺槐幼苗的密度较低, 东北和东南及样地中心地带数量相对集中, 其中 0503 样方内刺槐幼苗密度达到 1 000 棵/hm<sup>2</sup>, 该样方内 9 棵  $DBH \geq 7$  cm 的刺槐个体提供了丰富的种源, 加上适宜的生长条件, 使得 0503 样方比样地中的其他样方更有活力。

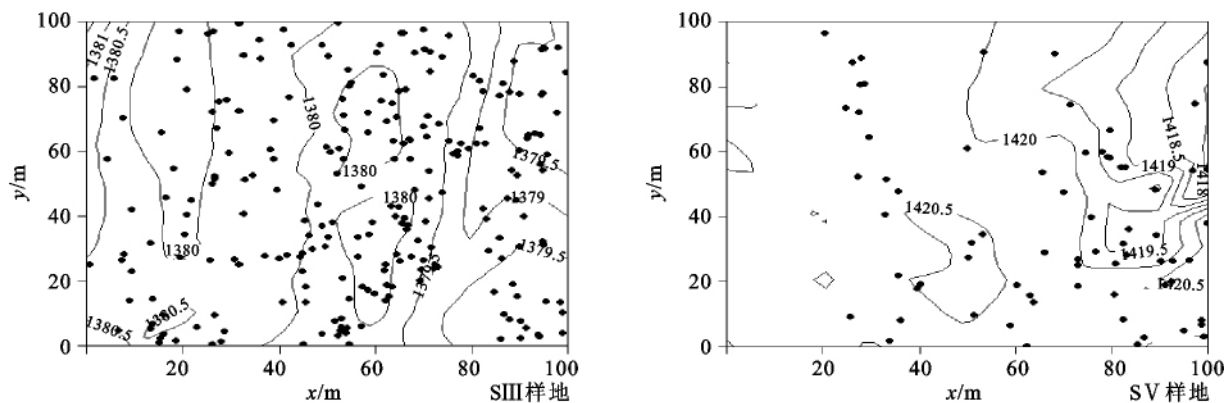


图4 中径级个体空间分布

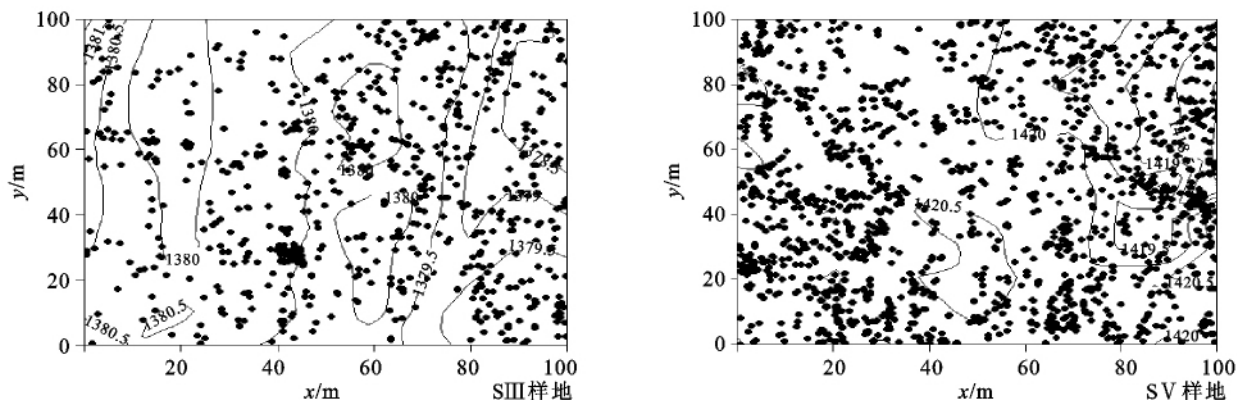


图5 小径级个体空间分布

(4) 枯梢个体数量特征及空间分布格局。SV样地中枯梢的刺槐共248棵,占总数的7.6%,枯梢个体主要分布在大径级个体集中的区域内,样地东侧比较集

中,西侧较少。SIII样地枯梢刺槐数为66棵,占刺槐种群的3.5%,主要分布于样地中部X轴20~50 m和,X轴70~90 m范围内,在样地内呈带状分布(图6)。

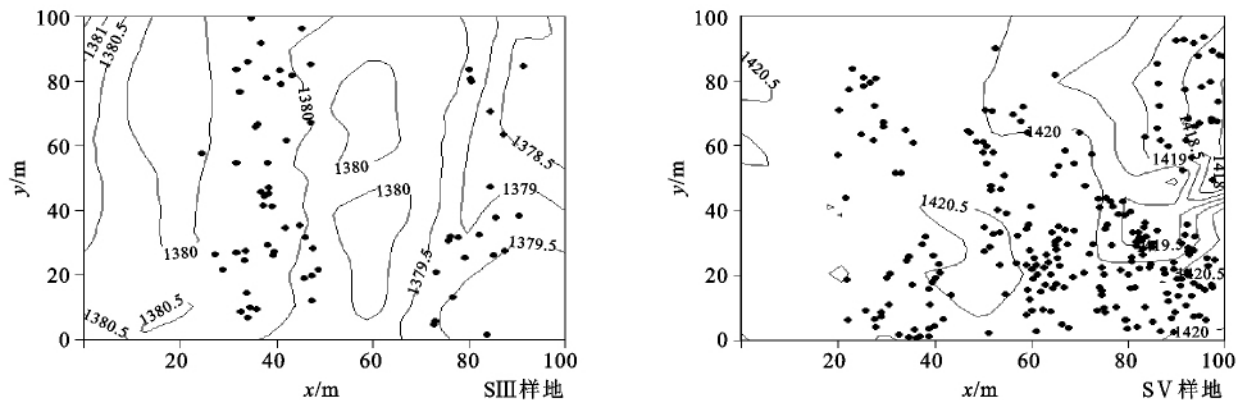


图6 枯梢个体空间分布

### 3 结论

(1) SIII样地和SV样地中,刺槐的存活率分别为23.4%和12.2%,存活个体的平均胸径分别为9.297 cm和7.981 cm,可见,刺槐×榆树×臭椿恢复模式中刺槐的生长状况好于刺槐纯林,这与郝蓉等<sup>[5]</sup>的研究结果一致。复垦初期,SIII样地刺槐的生长速度高于榆树和臭椿,迅速占领了上层空间,随着个体生态位空间的扩张,竞争加剧<sup>[6]</sup>;而榆树和臭椿在与

刺槐的竞争中处于劣势地位,因此SIII样地中刺槐的长势较好。SV样地为刺槐纯林,初期生长速度基本一致,种内竞争激烈,导致其存活率较低。

(2) 种群空间分布格局是生物群落中各种内外因素相互作用的结果,它是了解种群特征、种间关系以及种群与环境关系的重要手段,也是种群和群落结构动态与稳定性的标志<sup>[7-8]</sup>。两块样地内刺槐小径级个体都表现出明显的聚集性分布,种群的聚集性分布能更好地改变微气候和小生境,比单独个体有较大的

抵抗不良环境的能力。随着径级的增大,个体生态位空间不断扩大,种内和种间竞争加剧,种群密度下降,中径级和大径级主要表现为随机分布。

(3) 两样地均出现了枯梢现象,SⅢ样地和SV样地中的枯梢率分别为7.6%和3.5%。SV样地位于复垦地的最高平台,海拔为1420 m,四周没有有效的掩体;SⅢ样地海拔为1380 m,西侧为刺槐油松混交林样地,可以有效地遮挡西北方向的寒风,减少对树梢的冻伤。另外,SV样地中大径级个体的密度为1148株/hm<sup>2</sup>,存在着激烈的种内和种间竞争,而SⅢ样地中大径级个体的密度相对较小,为930株/hm<sup>2</sup>,其中刺槐密度为776株/hm<sup>2</sup>,榆树与臭椿在与刺槐的竞争中处于劣势地位,较低的密度降低了枯梢现象的发生。

(4) 在干旱、半干旱的黄土高原地区,水分是制约植被恢复与重建的关键性因子<sup>[7-8]</sup>。在两块样地中刺槐生长较好的区域都位于排水渠两侧10 m范围内。复垦时为了防止暴雨的发生,在复垦地内设置了蓄水工程和排水渠系,降水集中的季节排水渠径流较大,为两侧树木的生长提供了较多的水分,有利于刺槐的生长。

综上所述,刺槐×榆树×臭椿恢复模式的存活率比刺槐纯林要高,存活个体的生长情况也较刺槐纯林

好,枯梢个体的比例也只有刺槐纯林的一半。刺槐在半干旱区露天煤矿复垦过程中对水土保持和生态环境的改变发挥着重要的作用,然而它的栽种密度和适宜的配置物种还需要进一步深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 宋永芳. 刺槐资源的开发利用[J]. 林业科技开发, 2002(5): 11-13.
- [2] 曹奇光, 张学培, 牛丽丽, 等. 晋西黄土区人工刺槐林生理生态特点分析与研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 330-335.
- [3] 王改玲, 白中科, 赵景逵. 安太堡露天煤矿排土场刺槐生长状况研究[J]. 煤矿环境研究, 2000, 14(2): 21-24.
- [4] 王玉, 郭建斌. 黄土高原半干旱区刺槐人工林群落物种多样性研究[J]. 四川林勘设计, 2008, 3(1): 11-16.
- [5] 郝蓉, 白中科, 赵景逵, 等. 黄土区大型露天煤矿废弃地植被恢复过程中的植被动态[J]. 生态学报, 23(8): 1470-1476.
- [6] 段仁燕, 王孝安, 黄敏毅, 等. 太白红杉混交林径级结构与竞争的关系[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4919-4923.
- [7] 张运春, 张桥英, 罗鹏, 等. 克隆乔木黄牛奶树空间点格局分析[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(3): 67-73.
- [8] 孙一琳, 王洪英, 刘秀萍. 黄土高原人工刺槐林土壤水分特征[J]. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2007, 24(2): 123-126.
- [9] 宋永芳. 刺槐资源的开发利用[J]. 林业科技开发, 2002(5): 11-13.
- [10] 曹奇光, 张学培, 牛丽丽, 等. 晋西黄土区人工刺槐林生理生态特点分析与研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 330-335.
- [11] 王改玲, 白中科, 赵景逵. 安太堡露天煤矿排土场刺槐生长状况研究[J]. 煤矿环境研究, 2000, 14(2): 21-24.
- [12] 王玉, 郭建斌. 黄土高原半干旱区刺槐人工林群落物种多样性研究[J]. 四川林勘设计, 2008, 3(1): 11-16.
- [13] 郝蓉, 白中科, 赵景逵, 等. 黄土区大型露天煤矿废弃地植被恢复过程中的植被动态[J]. 生态学报, 23(8): 1470-1476.
- [14] 段仁燕, 王孝安, 黄敏毅, 等. 太白红杉混交林径级结构与竞争的关系[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4919-4923.
- [15] 张运春, 张桥英, 罗鹏, 等. 克隆乔木黄牛奶树空间点格局分析[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(3): 67-73.
- [16] 孙一琳, 王洪英, 刘秀萍. 黄土高原人工刺槐林土壤水分特征[J]. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2007, 24(2): 123-126.
- [17] Young I M, Crwaford J W. The fractal structure of soil aggregates: its measurement and interpretation [J]. Journal of Soil Science Society of America, 1991, 42(2): 187-192.
- [18] Turcote D L. Fractal fragmentation [J]. Geography Research, 1986, 91(12): 1921-1926.
- [19] 高旺盛, 董孝斌. 黄土高原丘陵沟壑区脆弱农业生态系统服务评价: 以安塞县为例 [J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 182-188.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社. 2000.
- [21] Potthoff M, Jackson L, Steenwerth K L, et al. Soil biological and chemical properties in restored perennial grassland in California [J]. Restoration Ecology, 2005, 13(1): 61-73.
- [22] Fang C, Smith P, Moncrieff J B, et al. Similar response of labile and resistant soil organic matter pools to changes in temperature [J]. Nature, 2005, 433: 57-59.
- [23] 徐勇, 田均良, 沈洪泉, 等. 生态重建模式的评价方法: 以黄土丘陵区为例 [J]. 地理学报, 2004, 59(4): 621-628.
- [24] 王征, 刘国彬, 许明祥. 黄土丘陵区植被恢复对深层土壤有机碳的影响 [J]. 生态学报, 2010, 30(14): 3947-3952.
- [25] 彭文英, 张科利, 陈瑶, 等. 黄土坡耕地退耕还林后土壤理化性质变化研究 [J]. 自然资源学报, 2005, 20(2): 272-278.
- [26] 温仲明, 焦峰, 刘宝元, 等. 黄土高原森林草原区退耕地植被自然恢复与土壤养分变化 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2025-2029.
- [27] 赵溪, 李君剑, 李洪建. 关帝山不同植被恢复类型对土壤碳、氮含量及微生物数量的影响 [J]. 生态学杂志, 2010, 29(11): 2102-2110.
- [28] 党亚爱, 李世清, 王国栋, 等. 黄土高原典型土壤全氮和微生物氮剖面分布特征研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6): 1020-1027.
- [29] Mazzarino M J, Bertiller M B, Sain C, et al. Soil nitrogen dynamics in northeastern Patagonia steppe under different precipitation regimes [J]. Plant and Soil, 1998, 202(1): 125-131.
- [30] Pan K W, Xu Z H, Blumfield T, et al. In situ mineral <sup>15</sup>N dynamics and fate of added <sup>15</sup>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> in hoop pine plantation and adjacent native forest in subtropical Australia [J]. Journal of Soil and Sediments, 2008, 8(6): 398-405.

(上接第 47 页)