

黄土高原不同立地条件下刺槐人工林 种群的无性繁殖与更新

张长庆, 张文辉

(西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】在黄土高原丘陵沟壑区不同立地条件下,研究刺槐人工林无性繁殖与更新状况,为该地区刺槐人工林的经营管理提供依据。【方法】对黄土丘陵沟壑区安塞试验站、纸坊沟和县南沟流域 12 个阳坡和阴坡刺槐人工林样地的林分特征、土壤含水量、外界干扰、无性繁殖和林下物种进行了系统调查。【结果】阴坡样地不同深度土层的平均土壤含水率高于阳坡样地;生长在阴坡的刺槐人工林无性繁殖较阳坡旺盛,阴坡无性株萌蘖的数量和扩散范围明显大于阳坡;在相同坡向的刺槐林群落中,坡下部的根系萌苗量大于坡上部;影响刺槐无性繁殖的另一个重要因素是外界干扰,在立地条件差、人为践踏、砍伐和放牧的样地中,刺槐人工林的根系萌苗扩散程度大于无外界干扰或干扰较轻的样地;不同立地条件下刺槐的无性繁殖潜力趋势为:阴坡下部>阳坡下部>阴坡上部>阳坡上部。【结论】刺槐人工林在黄土丘陵沟壑区的适生范围是阴坡下部及沟谷地区。

【关键词】 黄土高原;刺槐人工林;不同立地条件;无性繁殖

【中图分类号】 S157.1

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)01-0135-10

A study on asexual reproduction and regeneration of *Robinia pseudoacacia* plantations in different habitats in Hilly Area of the Loess Plateau

ZHANG Chang-qing, ZHANG Wen-hui

(College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The research studied the asexual reproduction of *Robinia pseudoacacia* plantation in different habitat standings in Loess Hilly Regions, providing the gist for *Robinia pseudoacacia* plantation's management. 【Method】 12 plots were investigated in both sunny slope and cloudy slope in zhi fang gou and xian nan gou of Loess Hilly Regions, including forest characters, character of soil water capacity, influence factor, asexual reproduction and species in community. 【Result】 The character of soil water capacity in cloudy slope was higher than that in sunny slope; *Robinia pseudoacacia* plantation reproduction proliferation in cloudy slope was better than that in sunny slope so were the numbers and regions; and the vegetative dispersal at the downside was better than the upside in the same slope. External interference was another important factor which affected vegetative dispersal. The study showed that the vegetative dispersal of *Robinia pseudoacacia* plantation in the worse plots which were trampled, project destructed and animals gnawed were better than that with no disturbance or little disturbance; the direction of asexual reproductive potential in different habitat standings was: cloudy slope downside>sunny slope downside>cloudy

* [收稿日期] 2008-01-22
[基金项目] 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAD09B03);中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-05)
[作者简介] 张长庆(1980—),男,吉林榆树人,在读硕士,主要从事生物多样性保护与利用研究。E-mail: sfan@163.com
[通信作者] 张文辉(1954—),男,陕西岐山人,教授,博士,主要从事植物生态学、生物多样性和植物保护生物学研究。
E-mail: zwhckh@163.com

slope upside>sunny slope upside.【Conclusion】*Robinia pseudoacacia* plantations' suitable areas is cloudy slope downside.

Key words: Loess plateau; locust tree plantation; different habitat; asexual reproduction

在黄土高原丘陵沟壑区,以水土保持为目的的人工林能否持续发育、水土保持功能能否正常发挥的最关键问题,就是以建群种为主而形成的群落能否完成自然更新^[1]。建群种的种群无论是通过有性还是无性繁殖,只要能够获得足够数量的幼苗,并且生长良好,人工林就能够持续发育,生态功能就会不断加强,进而实现人工林的天然化培育,群落将持续发育,生态效益将越来越好。

刺槐(*Robinia pseudoacacia*)于 18 世纪末引入我国,首先在青岛引种栽培,之后扩展到整个华北地区^[2],由于其适应性强、生长快、繁殖容易,20 世纪 60 年代以后,黄土高原丘陵沟壑区人工林建设中将其作为主要造林树种,成为该地区人工林面积最大的树种。随着人们对人工林水土保持及生态效益的日益重视,科研人员逐步认识到刺槐人工林作为该地区水土保持林所存在的一些问题,如很多刺槐林缺乏幼苗,不能正常更新;林地存在永久性土壤干层;林木个体枝条自然枯死、病虫害感染严重,“小老树”问题普遍等^[3-7]。因此近年来,很多学者对刺槐人工林在丘陵沟壑区是否符合“适地适树”的基本原则提出质疑,而刺槐也成了倍受争议的人工林树种。目前,已有学者就人工刺槐林皆伐基地更新做过调查分析^[8],也有学者对不同生境刺槐林下土壤的养分、水分进行了对比研究^[9],但至今丘陵沟壑区刺槐人工林建群种种群更新和林木个体生长发育等关系到人工林持续发育的关键问题尚未见研究报道,而这正是判断刺槐林能否适应当地生境条件的基本问题。

刺槐在黄土高原丘陵沟壑区能完成有性生殖过程,可结实,种子也可以在苗圃育苗,但是在天然条件下却不能形成幼苗,因此种群调整了生存策略,以无性繁殖的方式(包括伐桩萌苗、根基萌芽和根系萌苗)维持自身繁衍。伐桩萌苗是在林地间伐或者皆伐后才形成的;而根基和根系萌苗则是在造林之后就出现的种群更新后备资源。本研究以黄土高原丘陵沟壑区不同立地条件下的刺槐人工林为研究对象,对林地刺槐伐桩萌苗、根基萌芽及根系萌苗进行了系统调查,以期证实刺槐人工林能够实现自我更新、阐明不能够更新的立地条件,为刺槐人工林在该地区的栽植及经营管理提供依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 自然概况

研究区位于陕西安塞县(36°51'N,109°19'E),海拔 1 010~1 431 m,年平均降水量为 510 mm,干燥度指数 1.48,年均气温 8.8℃,≥10℃积温 2 800~3 500℃,无霜期 160 d 左右,属暖温带半干旱气候。土壤主要为黄绵土,地貌是典型的沟壑状黄土丘陵,水土流失严重。植被区划属于森林草原区^[6-8]。

1.2 样地背景与样地设置

20 世纪 60 年代,安塞县在当地政府的统一规划下,建造了大量人工林。本研究选择刺槐人工林造林时间相差在 5 年以内、整地方式一致的人工林用于试验,这些人工林均分布在中国科学院水土保持研究所安塞试验站周围及纸坊沟和县南沟流域。根据当年造林设计文件和访问调查可知,造林苗木为 3 年生实生苗,整地措施为水平阶整地,株行距 1.5 m×1.5 m,造林后 1~2 年内进行过除草和补植措施,此后没有再进行特殊管理^[10]。80 年代后期进行过择伐,强度在 10%左右。

样地设置考虑阴坡(正北向,左右 30°以内)、阳坡(正南向,左右 30°以内)及各自的坡位(坡上部、下部或沟谷地),注意选择外界干扰比较少、发育比较完好的林分用于试验。每种立地类型设置 3 块样地,样地土壤均为黄绵土。样地调查时间在刺槐林生长发育旺盛的 8 月进行。样地基本情况见表 1。

1.3 样地调查

样地面积为 10 m×10 m,每块样地分别设置 3 个 5 m×5 m 的灌木样方和 3 个 1 m×1 m 的草本样方,调查内容如下:(1)群落学特征。包括造林时间、造林密度、群落总郁闭度、平均高度;乔木个体坐标定位(以样地一条边为 X 轴,垂直边为 Y 轴),测定树高、胸径、冠幅、树冠枯梢率(目测枯梢占树冠百分比)、病虫害感染率(有病害或虫害感染个体占样地内全部个体百分比);灌木草本样方分物种测定个体数量、高度、盖度、频度、基径和冠幅。(2)林地土壤结皮。以草本样方为单位,测定土壤结皮盖度。(3)土壤水分状况。沿各样地对角线取 3 个地表 0~15 cm 混合土样,封闭后带回室内,当天测定土样湿

质量,然后烘干至恒重(85 ℃)后测定干质量,计算土壤含水率。(4)外界干扰。有人为践踏、砍伐、放牧痕迹,确定为强度干扰,赋值为 100%;林地无干扰痕迹,赋值为 0;其他居于中间,并根据样地内被干扰的方式和面积统计强度值。

表 1 试验区刺槐人工林样地基本情况
Table 1 Sample plots of *R. pseudoacacia* plantations

立地类型 Habitat type	样地编号 No.	调查地点 Site	造林年份 Afforestation time	海拔/m Altitude	平均树高/m Average tree height	平均胸径/cm Average base diameter	坡度/(°) gradient	郁闭度/% Shade density
阳坡上部 Sunnyslope upside	3	县南沟 Xiannangou	1965	1 150	4. 50	7. 05	25	75
	7	纸坊沟 Zhifanggou	1968	1 350	5. 02	6. 85	0	60
	10	安塞站 Ansai station	1962	1 100	4. 22	7. 49	45	75
阳坡下部 Sunnyslope downside	5	纸坊沟 Zhifanggou	1968	1 280	5. 12	9. 35	30	85
	6	纸坊沟 Zhifanggou	1968	1 310	4. 85	9. 25	30	92
	12	纸坊沟 Zhifanggou	1963	1 210	5. 81	8. 01	25	80
阴坡上部 Cloudyslope upside	1	纸坊沟 Zhifanggou	1963	1 190	5. 75	8. 71	25	80
	4	县南沟 Xiannangou	1965	1 140	5. 13	9. 05	35	70
	9	安塞站 Ansai station	1962	1 050	6. 37	8. 37	40	85
阴坡下部 Cloudyslope downside	2	纸坊沟 Zhifanggou	1968	1 050	8. 13	12. 00	0	50
	8	县南沟 Xiannangou	1965	1 150	7. 05	9. 85	25	90
	11	纸坊沟 Zhifanggou	1963	1 200	6. 90	12. 86	10	65

1. 4 林相图的绘制

林相图能够直观地反映整个样地的树种组成、林下植被、林龄及各物种的生长状况等特征。以调查样地的对角线为 X 轴,树木高度为 Y 轴,绘制 X 轴两侧 0. 5 m 范围内所有刺槐和灌木个体的生长形态,完成样地的侧视林相图。

1. 5 无性繁殖特征的调查

在样地内对刺槐无性繁殖特性进行全面调查。刺槐无性繁殖有 3 种形式:(1)根系萌苗。在样地内选择标准木作为无性繁殖母株,以母株为圆心,半径为 2 m 寻找幼苗,刨根分析根走向,确定小株与母株的关系,测定无性株到母株的距离。(2)母株基部萌苗。在母株基部通过刨根寻找无性幼苗,凡地表以下萌发的幼苗均统计为母株基部萌苗。(3)伐桩萌苗。择伐后在伐桩上萌生的幼苗。测定 3 种形式萌生的无性小株的高度、地径和冠幅,同时测定相关母株的胸径和伐桩的直径、高度。

计算各样地刺槐无性生殖潜力:

无性生殖潜力=(无性苗数/刺槐单株数)×100%。

1. 6 数据处理

以样地为单位,统计刺槐林木个体特征和无性繁殖特性,相似生境样地数据合并。分阳坡上部、下部和阴坡上部、下部分别统计林分特征和繁殖特性。根据样地调查所得不同物种相对盖度、相对多度和相对频度计算林下物种的重要值,再统计出同一种群中各物种的重要值平均值;分层(灌、草)计算各物种的 α 多样性指数,如物种丰富度指数 S ,物种多样性指数(Simpson 指数 D 、Shannon-wiener 指数 H')

和均匀度指数(Pielou 指数、 J_{sw} 和 Alatalo 指数 E_a),具体计算方法见文献[11-12]。

2 结果与分析

2. 1 不同立地条件下刺槐林的林分特征

图 1 是县南沟 8 号样地(阴坡下部)对角线上的侧视林相图,从中可了解刺槐人工林的基本结构及其与灌木和草本种类的关系。表 2 是不同立地条件下刺槐林的林分特征,其反映了刺槐林整体生长状况的差异。表 2 表明,阳坡上部的刺槐林平均高度为 4. 58 m,种群平均密度小,病虫害感染严重(25. 0%),平均枯梢率较大(12. 3%),种群呈现衰退趋势;阴坡下部的刺槐林平均高度为 7. 36 m,种群平均密度为 0. 43 株/m²,病虫害感染率和平均枯梢率相对较低,且平均更新的幼苗数量较多,种群生长呈上升趋势。另外,由苔藓等形成的土壤结皮度在不同立地条件的样地中也不同,在坡上部和崮顶位置,由于外界干扰较轻,土壤结皮度大多在 80%~90%;而在坡下部及沟谷等位置,土壤结皮度只有 50%~60%。总体而言,刺槐林在当地生长的不良症状比较明显。

2. 2 不同立地条件下刺槐群落土壤的含水率

水分条件是该地区影响刺槐林生长的主要因素,因此不同立地条件下的土壤含水量是确定刺槐人工林适生立地的重要条件。从图 2 可以看出,在 4 种立地条件下,刺槐群落土壤平均含水率仅为 6%左右,相当干旱,据笔者调查,刺槐根系可吸收的土壤水分多分布在地表以下 150~200 cm,在该土层土壤含水率

均值表现为:阴坡下部>阳坡下部>阴坡上部>阳坡上部。对 30~40 年的成熟刺槐林而言,阳坡样地林相差,群落结构单一,有病虫害存在,枯梢严重;阴坡

下部和阳坡下部的水分条件较好,刺槐枯梢少,说明这类立地条件对刺槐而言是比较适宜的。

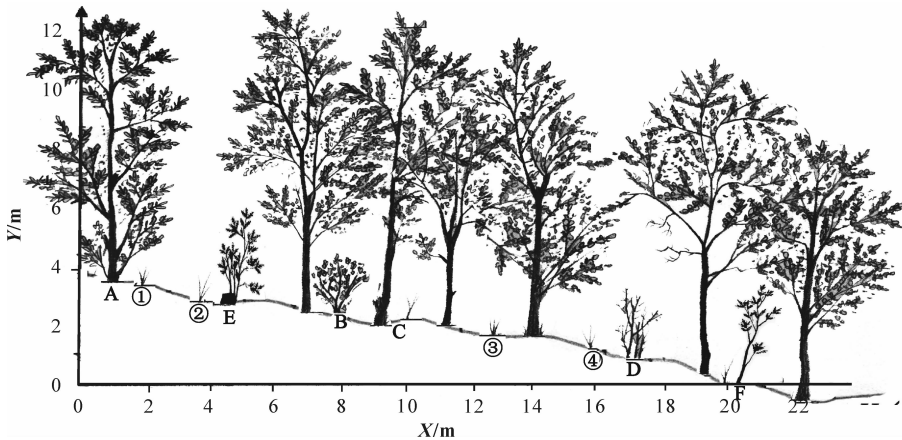


图 1 县南沟 8 号样地(阴坡下部)的侧视林相图

A. 刺槐;B. 扁核木;C. 杠柳;D. 侧柏;E. 伐桩萌苗;F. 根萌苗;①. 黄蒿;②. 铁杆蒿;③. 糙苏;④. 狗尾草

Fig. 1 Forest Sub-Compartment map of sample plots xiannangou-8(cloudyslope downside)

A. *Robinia pseudoacacia*; B. *Prinsepia uniflora*; C. *Periploca sepium*; D. *Platycladus orientalis*; E. Stump; F. Vegetative dispersal of root; ①. *Artemisia scoparia*; ②. *Artemisia sacrorum*; ③. *Phlomis umbrosa*; ④. *Setaria viridis*

表 2 不同立地条件下刺槐林的林分特征

Table 2 Forest characters of *R. pseudoacacia* in different habitats

立地类型 Habitat type	树龄/年 Age of tree	平均高度/m Average tree height	平均胸径/cm Average base diameter	平均冠幅 /(m×m) Average crown diameter	种群平均密度/ (株·m ⁻²) Average density	病虫害感染率/% Disease rate	平均枯梢率/% Average blight rate	结皮度/% Crust of soil
阳坡上部 Sunnyslope upside	41	4.58	7.13	2.7×2.68	0.260	25.0	12.3	90.2
阳坡下部 Sunnyslope downside	40	5.26	8.87	3.3×3.06	0.255	21.4	8.1	84.5
阴坡上部 Cloudyslope upside	41	5.75	8.71	2.95×2.96	0.340	17.1	10.4	64.6
阴坡下部 Cloudyslope downside	40	7.36	11.57	3.96×4.25	0.430	15.0	3.6	52.0

注:每种生境有 3 块样地,表中数据为 3 块样地的平均值。

Note: There are three plots, and the data of the plots are average.

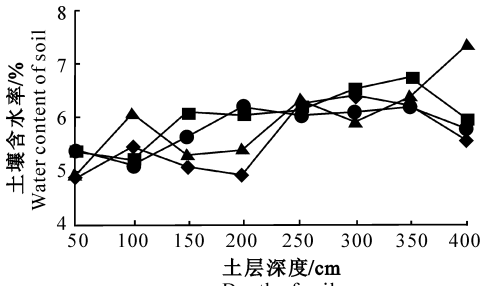


图 2 不同立地刺槐群落 0~400 cm 土层土壤含水量的变化
—◆—, 阳坡上部; —●—, 阳坡下部; —▲—, 阴坡上部; —■—, 阴坡下部

Fig. 2 Character of soil water capacity between 0 and 400 cm in *R. pseudoacacia* community in different stage of habitat

—◆—, Sunnyslope upside; —●—, Sunnyslope downside;
—▲—, Cloudyslope upside; —■—, Cloudyslope downside

2.3 外界干扰对刺槐无性繁殖的影响

从表 3 可以看出,并不是每个刺槐单株都能无性繁殖;群落所处的小生境受干扰程度大(放牧、人为践踏、砍柴等相对严重),刺槐产生无性系小株的几率大;群落所处的小生境受干扰程度小,则产生无性系小株的几率小。以受人为干扰最大的 2 号样地为例,其刺槐无性系分布见图 3。2 号样地内产生的无性系萌苗达到 0.13 株/m²,其中根萌苗有 0.11 株/m²,伐桩萌苗有 0.02 株/m²,共占样地总株数的 36.1%。在没有受到干扰的 7 号样地,刺槐单株没有产生根萌苗,伐桩萌苗只有 0.01 株/m²。这说明无性繁殖是植株本身与环境条件相互作用的结果。

表 3 外界干扰对刺槐无性繁殖的影响

Table 3 Influence factor of *R. pseudoacacia's* asexual reproduction

样地号 No.	干扰方式 Conflicting mode	干扰强度/% Intensity	测量的总株数 Totle tree number	产生无性系小株 Sprouting tree		
				根萌苗数量/ (株·m ⁻²)	伐桩萌苗数量/ (株·m ⁻²)	占总数百分比/% Percent
				Sprouting tree of root	Sprouting tree of stump	
2	放牧、砍伐、人为践踏 Browse,Cutting, Trample	90	36	0.11	0.02	36.1
5	放牧 Cutting	75	38	0.03	0.04	18.4
7	无干扰 No factor	0	40	0.00	0.01	2.5
9	人为践踏 Trample	21	41	0.04	0.02	14.6

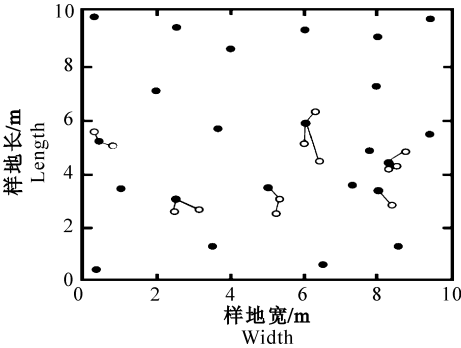


图 3 纸坊沟 2 号样地(阴坡下部)内刺槐无性系的分布

●表示刺槐个体;○表示无性系小株

Fig. 3 Distribution of clone in *R. pseudoacacia's* sample plots in zhihanggou-2(cloudyslope downside)

The black spot is single tree; and the white spot is sprouting tree

2.4 不同立地条件下刺槐无性繁殖的比较

2.4.1 刺槐单株的根系扩散 不同立地条件下刺槐单株的根系扩散是有差别的。不同立地条件下刺

槐单株的根萌苗扩散指标见表 4。从表 4 可以看出,刺槐单株的单方向扩散距离大致有以下几种情况:扩散最远的是阴坡下部,扩散距离达 4.4 m;扩散较远的是阴坡上部,扩散距离为 2.0 m;扩散较近的是阳坡上部,扩散距离为 1.5 m;扩散最近的是阳坡下部,扩散距离为 1.1 m,而且大部分无性苗是向着坡下方扩散的,这充分说明了刺槐的根萌苗是向着土壤养分和水分充足的环境去觅食的。

刺槐根系在土壤中沿水平方向多角度、多方向扩展,呈游击式离散稀疏型,这是对严酷环境条件的“觅食”适应。刺槐通过母株与无性系小株根系相互形成的网络,使其对营养空间的占有和取食方式达到一个更高级的状态,4 株刺槐在不同方向的萌蘖株数随生境的不同而有差异,大致趋势是单方向扩散最远的刺槐单株所萌蘖的无性小株最多,这表明阴坡下部是刺槐人工林生长的最适环境。

表 4 不同立地条件下刺槐单株的根萌苗扩散指标

Table 4 Singletree vegetative dispersal of *R. pseudoacacia* in different habitats

立地类型 Habitat type	母株 Single tree			扩散最远距离/m Longest dispersal distance	无性小株 sprouting tree			
	胸径/cm Diameter at breast height	树高/m Tree height	树龄/年 Age of tree		平均高/m Average tree height	平均冠幅 (m×m) Average crown diameter	平均基径/cm Average base diameter	平均萌蘖数量/ (株·m ⁻²) Number of sprouting trees
阳坡上部 Sunny slope up side	14.0	9.8	36	1.5	1.0	0.57×0.57	0.48	0.11
阳坡下部 Sunny slope downside	21.0	12.0	38	1.1	2.8	1.8×1.7	2.5	0.12
阴坡上部 Cloudy slope upside	18.3	11.5	38	2.0	1.7	1.1×0.7	1.4	0.09
阴坡下部 Cloudy slope downside	20.8	12.9	41	4.4	3.1	2.1×1.7	3.7	0.16

经调查可知,在立地条件好的样地中,刺槐单株扩散的无性小株基径分布在 5 cm 以下的占72.7%; 5 cm 以上的占 27.3%,且有的达到 7.5 cm。在生境条件较差的样地,刺槐单株扩散的无性小株基径大多在 1 cm 以下,特别差的生境样地无性小株基径还不足 0.5 cm。由此可知,刺槐人工林无性繁殖产生的群体以小径级(小于 1 cm)占主体。这也说明

刺槐的种群更新较旺盛。

2.4.2 刺槐母株胸径与其根萌苗数量、基径、高度的关系 刺槐母株胸径与其根萌苗数量、基径和高度 的关系见图 4~6。图 4~6 显示,在所调查的 4 种立地类型中,刺槐母株的胸径与其所产生的无性幼苗的数量、基径和高度均有一定的相关性,其中在立地条件最好的阴坡下部样地中,刺槐根萌苗的数

量最多,基径和高度最大,且各个指标随母株胸径的增大呈增加的趋势;在立地条件良好的阴坡上部样地,刺槐根萌苗的数量随着母株胸径的增大而增加,但基径和高度随母株胸径的增大呈波动性变化;在

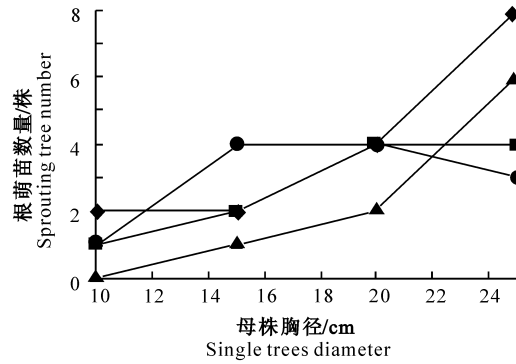


图 4 不同立地类型中刺槐母株胸径与根萌苗数量的关系

—■—, 阳坡上部; —●—, 阳坡下部;
—▲—, 阴坡上部; —◆—, 阴坡下部

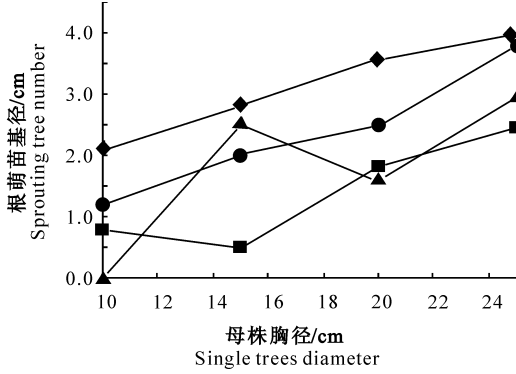


图 5 不同立地类型中刺槐母株胸径与根萌苗基径的关系

—■—, 阳坡上部; —●—, 阳坡下部;
—▲—, 阴坡上部; —◆—, 阴坡下部

Fig. 4 Relation between *R. pseudoacacia*'s diameter and sprouting tree's number

Fig. 5 Relation between *R. pseudoacacia*'s diameter and sprouting tree's diameter

—■—, Sunnyslope upside; —●—, Sunnyslope downside;
—▲—, Cloudyslope upside; —◆—, Cloudyslope downside

—■—, Sunnyslope upside; —●—, Sunnyslope downside;
—▲—, Cloudyslope upside; —◆—, Cloudyslope downside

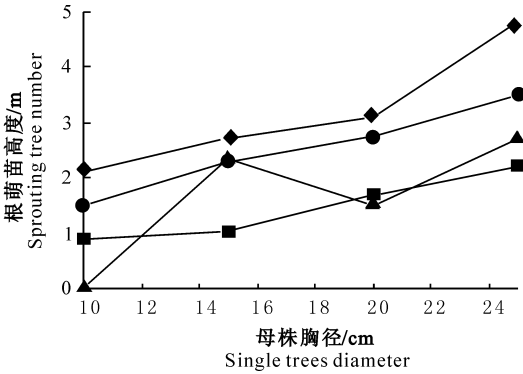


图 6 不同立地类型中刺槐母株胸径与根萌苗高度的关系

—■—, 阳坡上部; —●—, 阳坡下部;
—▲—, 阴坡上部; —◆—, 阴坡下部

Fig. 6 Relation between *R. pseudoacacia*'s diameter and sprouting tree's height

—■—, Sunnyslope upside; —●—, Sunnyslope downside;
—▲—, Cloudyslope upside; —◆—, Cloudyslope downside

下部和阴坡上部的样地,伐桩萌苗的数量、基径和高度均随伐桩直径的增大而呈增加趋势,但各指标相对较低;在生境良好的阴坡下部样地中,伐桩萌苗的数量与伐桩的直径正相关,伐桩萌苗的基径和高度在伐桩直径为 15 cm 时达到最大,说明伐桩萌苗在阴坡下部更新良好。

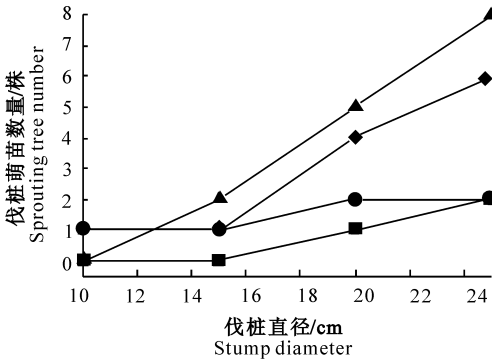


图 7 不同立地类型中刺槐伐桩直径与伐桩萌苗数量的关系

—■—, 阳坡上部; —●—, 阳坡下部;
—▲—, 阴坡上部; —◆—, 阴坡下部

Fig. 7 Relation between stump's diameter and sprouting tree's number

—■—, Sunnyslope upside; —●—, Sunnyslope downside;
—▲—, Cloudyslope upside; —◆—, Cloudyslope downside

2.4.3 刺槐伐桩直径与其无性幼苗数量、基径、高度的关系 不同立地刺槐伐桩直径与其无性幼苗数量、基径和高度关系见图 7~9。由图 7~9 可以看出,在立地条件最差的阳坡上部样地中,直径在 15 cm 以下的刺槐伐桩没有产生无性幼苗,只有胸径超过 15 cm 的伐桩才有无性系小株产生,这说明在阳坡上部刺槐伐桩的无性繁殖能力较差;在阳坡

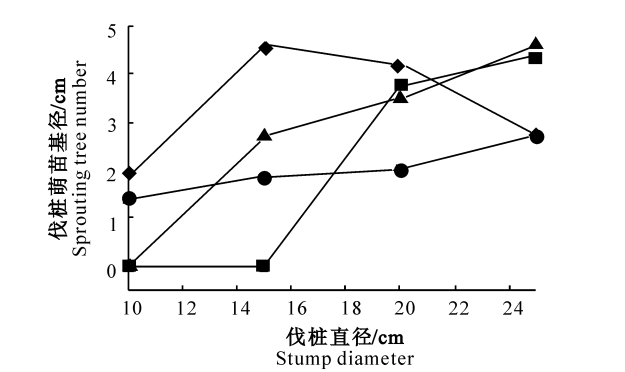


图 8 不同立地类型中刺槐伐桩直径与伐桩萌苗基径的关系
—■—, 阳坡上部; —●—, 阳坡下部; —▲—, 阴坡上部; —◆—, 阴坡下部

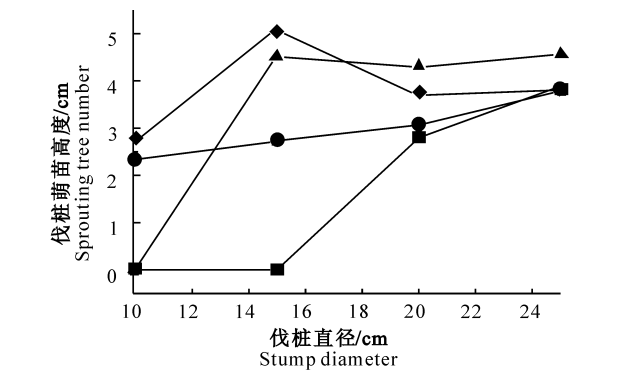


图 9 不同立地类型中刺槐伐桩直径与伐桩萌苗高度的关系
—■—, 阳坡上部; —●—, 阳坡下部; —▲—, 阴坡上部; —◆—, 阴坡下部

Fig. 8 Relation between stump's diameter and sprouting tree's diameter
—■—, Sunnyslope upside; —●—, Sunnyslope downside;
—▲—, Cloudyslope upside; —◆—, Cloudyslope downside

Fig. 9 Relation between stump's diameter and sprouting tree's height
—■—, Sunnyslope upside; —●—, Sunnyslope downside;
—▲—, Cloudyslope upside; —◆—, Cloudyslope downside

2.4.4 刺槐无性幼苗的数量 由表 5 可知,在立地条件较差的阳坡上部样地,萌生的刺槐无性苗数量为 0.12 株/m²,其中伐桩萌苗占 8.33%,基部萌苗占 50.00%,根系萌苗占 41.67%。由于阳坡上部的刺槐林生长条件差,大部分没有达到择伐的标准,因此伐桩很少,其无性繁殖以根萌苗为主。在立地条

件良好的阴坡下部样地,无性系幼苗萌生量为 0.26 株/m²,其中伐桩萌苗占 38.46%,基部萌苗占 11.54%,根系萌苗占 50.00%。

从不同立地繁殖的无性幼苗数量来看,阴坡下部>阴坡上部>阳坡下部>阳坡上部,这说明阴坡下部是刺槐人工林最适合生长的立地类型。

表 5 不同立地条件下刺槐无性繁殖苗数量的比较
Table 5 Comparison of the number of *R. pseudoacacia's* asexual reproduction in different habitats

立地类型 Habitat type	无性幼 苗数量/ (株·m ⁻²) Number of sprouting trees	伐桩数量/ (个·m ⁻²) Number of stump	伐桩萌苗 Stump			根萌苗 Vegetative dispersal			
			伐桩平均 直径/cm Average diameter of stump	伐桩萌苗数量/ (株·m ⁻²) Number of stump sprouting trees	占幼苗总 数的比 例/% The percent of sprouting trees	基部萌苗 Base sprouting trees		根系萌苗 Root sprouting trees	
						数量/ (株·m ⁻²) Number	占幼苗总 数的比 例/% The percent of sprouting trees	数量/ (株·m ⁻²) Number	占幼苗总 数的比 例/% The percent of sprouting trees
阳坡上部 Sunny slope up side	0.12	0.01	15.4	0.01	8.33	0.06	50.00	0.05	41.67
阳坡下部 Sunny slope downside	0.21	0.04	17.5	0.09	42.86	0.03	14.29	0.09	42.86
阴坡上部 Cloudy slope upside	0.23	0.05	16.0	0.14	60.87	0.01	4.35	0.08	34.78
阴坡下部 Cloudy slope downside	0.26	0.02	19.2	0.10	38.46	0.03	11.54	0.13	50.00

注:每种生境有 3 块样地,表中数据均为 3 块样地的平均值。
Note: There are three plots, and the data of the plots are average.

2.5 不同立地条件下刺槐的无性生殖潜力
无性繁殖的生殖潜力反应了样地中刺槐通过无性繁殖进行繁衍的能力。由表 6 可知,在阳坡上部样地,测量的刺槐个体量平均为 0.27 株/m²,其中有 2 株产生 12 株无性苗,其无性生殖潜力为 0.444;

在立地条件最好的阴坡下部样地,测量刺槐个体数量为 0.30 株/m²,其中有 4 株产生 26 株无性苗,无性生殖潜力为 0.867。经统计分析发现,不同立地类型刺槐的无性繁殖潜力由大到小的次序为:阴坡下部>阳坡下部>阴坡上部>阳坡上部。

表 6 不同立地条件下刺槐的无性生殖潜力
Table 6 Asexual reproductive potential of *R. Pseudoacacia* in different habitats

立地类型 Habitat type	样地内测量刺槐量/ (株·m ⁻²) Number of tree in plot	产生无性系的个 体/(株·m ⁻²) Number of single tree	无性系母株占总 数的比例/% Percent of single tree	产生无性苗量/ (株·m ⁻²) Number of sprouting trees	无性生殖潜力 Potential of asexual reproduction
阳坡上部 Sunny slope up side	0.27	0.02	7.4	0.12	0.444
阳坡下部 Sunny slope downside	0.26	0.03	11.5	0.21	0.808
阴坡上部 Cloudy slope upside	0.29	0.03	10.3	0.23	0.793
阴坡下部 Cloudy slope downside	0.30	0.04	13.3	0.26	0.867

2.6 不同立地类型刺槐林下物种的生长情况

对林下灌木和草本小样方进行调查,结果表明,该地区的常见乡土物种在刺槐人工林地中都能够天然更新成苗,并且生长良好。由于水分条件的限制,杠柳、苔草、茵陈蒿、牛筋子、悬钩子、车前草等物种在阴坡样地中分布较多;而长芒草、铁杆蒿、狗尾草

等则大多分布在阳坡样地中。对人工群落而言,林下的灌、草层组成差异在一定程度上反映了其发育状况。刺槐人工林造林后,当地乡土植物种类侵入,形成具有乔、灌、草结构的林分。不同立地刺槐人工林物种组成及其重要值见表 7。

表 7 不同立地类型刺槐人工林主要物种的重要值
Table 7 Important values of species of *R. pseudoacacia* plantations in different habitats

层次 Layer	种名 Species	阳坡上部 Sunny slope upside	阳坡下部 Sunny slope downside	阴坡上部 Cloudy slope upside	阴坡下部 Cloudy slope downside
灌木层 Shrub layer	达乌里胡枝子 <i>Lespedeza dahurica</i>	32.40	67.84	68.10	30.12
	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	68.30	—	24.12	11.63
	绣线菊 <i>Spiraea salicifolia</i>	1.89	—	1.83	54.20
	悬钩子 <i>Rubus corchorifolius</i>	13.63	—	41.00	—
	杠柳 <i>Periploca sepium</i>	—	37.45	—	56.84
	扁核木 <i>Prinsepia uniflora</i>	—	28.54	—	21.89
	丁香 <i>Syzgium aromaticum</i>	—	18.45	—	—
	铁线莲 <i>Clematis fruticosa</i>	—	—	9.74	24.60
草本层 Herb layer	铁杆蒿 <i>Artemisia gemlinii</i>	53.24	34.18	11.28	10.17
	牛筋子 <i>Chionanthus retusus</i>	25.07	11.40	7.63	16.41
	长芒草 <i>Stipa bungeana</i>	11.21	19.14	3.24	25.75
	披针苔草 <i>Carex lanceolata</i>	9.57	32.88	24.37	45.89
	黄蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	28.99	32.87	29.02	18.28
	茵陈蒿 <i>Artemisia capillaris</i>	10.48	22.47	24.97	92.50
	茭蒿 <i>Artemisia giraldii</i>	5.42	18.10	4.34	20.05
	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	57.34	21.74	53.42	37.62
	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	5.34	—	10.33	68.90
	灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	3.90	—	—	—
	冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	43.70	—	—	—
	小白酒草 <i>Conyza canadensis</i>	14.39	—	—	54.62
	碱蓬 <i>Suaeda heteroptera</i>	1.44	—	—	5.17
	艾蒿 <i>Artemisia argyi</i>	—	27.8	3.64	42.50
	莎草 <i>Cyperus microiria</i>	—	—	7.77	—
	车前草 <i>Plantago asiatica</i>	—	—	7.41	41.12
	糙苏 <i>Phlomis umbrosa</i>	—	—	12.48	—
	茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	—	—	17.14	—
	阿尔泰紫菀 <i>Heteropappus altaicus</i>	—	—	—	6.50
	香薷 <i>Mosla chinensis</i>	—	—	—	8.56

表 7 表明,随着立地条件的改变,灌木、草本层组成有明显差异:阴坡下部物种最多,其次是阴坡上部、阳坡上部,阳坡下部物种最少。从各物种重要值的排序结果可以看出,不同立地类型的刺槐人工林林下植被草本层相对较发达,且灌-草层中物种多为阴生性植物,形成相对浓密的灌木层和草本层,发挥着保持水土的功能。

表 8 给出了不同立地类型刺槐人工林群落灌、

草层的物种多样性指数。从表 8 可以看出,不同立地类型刺槐人工林物种多样性各指数值大多表现为草本层>灌木层。不同立地比较大致呈现出阴坡下部>阳坡下部>阴坡上部>阳坡上部的趋势。综合比较发现,生长在阴坡的刺槐人工林,其物种丰富度指数、多样性指数和均匀度指数大多较阳坡对应坡位高,表明阴坡的刺槐人工林生长状况相对较好,水土保持功能较强。

表 8 不同立地类型刺槐人工林群落植物物种多样性指数

Table 8 Changes in species diversity indices in *R. pseudoacacia* plantations in different habitats

层次 Layer	多样性指数 Diversity index	阳坡上部 Sunny slope upside	阳坡下部 Sunny slope downside	阴坡上部 Cloudy slope upside	阴坡下部 Cloudy slope downside
灌木层 Shrub layer	<i>S</i>	4	4	5	6
	<i>D</i>	0.567 8	0.695 8	0.670 8	0.795 1
	<i>H'</i>	0.428 6	0.553 6	0.541 8	0.722 7
	<i>J_{sw}</i>	0.711 8	0.919 5	0.775 1	0.928 8
	<i>E_a</i>	0.765 3	0.868 5	0.804 2	0.884 6
草本层 Herb layer	<i>S</i>	13	9	14	15
	<i>D</i>	0.864 6	0.882 7	0.880 7	0.898 5
	<i>H'</i>	0.947 6	0.933 2	1.013 4	1.060 0
	<i>J_{sw}</i>	0.850 6	0.978 0	0.884 2	0.901 3
	<i>E_a</i>	0.790 5	0.955 9	0.762 7	0.828 0

3 讨论与结论

本研究表明,在黄土高原丘陵沟壑区,刺槐人工林在阴坡的根系萌苗比阳坡扩散距离远、数量多;在相同坡向上,由于根系向着水分和养分条件好的方向伸展,坡下部的无性繁殖能力比坡上部强,表明该地区的阴坡下部是最适合刺槐人工林生长的立地类型;外界干扰也能够进一步刺激刺槐人工种群的繁衍。因此,刺槐人工林在本地区应该配置在阴坡下部或者沟谷底部。

刺槐在正常情况下,是通过有性生殖进行自我繁衍的,但在黄土高原丘陵沟壑区,由于土壤肥条件较差,刺槐虽然能够正常开花结实,但其产生的种子不能形成实生苗。而且人工栽培的刺槐林在生长到 30~40 年的时候,因得不到充足的养分和水分,再加上外界环境的干扰,大部分刺槐林开始出现病虫害和“小老树”现象,严重的甚至枯死。

刺槐没有明显的主根,侧根、须根发达,根系多集中在表土层 5~10 cm,呈放射状伸展,有巨大的土壤网络能力,曾一度被认为是浅根性树种^[13]。但是近年来的研究证实,在黄土高原丘陵地区,刺槐是深根性树种,其根系在深层土壤中也有较多分布,并且通过无性繁殖能产生很多无性系小株,只要周围的立地条件良好,这些无性小株的生长就能够得到

保障^[14-15]。这说明刺槐人工林可以利用黄土高原丘陵区的立地条件,通过根系萌苗来很好地扩展自己的种群。

在刺槐生长 30~40 年,应及时通过适度间伐和抚育,促进无性繁殖,避免种群生理衰老^[16],为乡土树种的进入创造条件,以保持种间关系的稳定状态,使刺槐人工林实现人工林天然化的目的。

[参考文献]

[1] 朱教君,姜凤岐,范志平,等. 黄土高原刺槐水土保持林防护成熟与更新研究 [J]. 生态学杂志,2004,23(5):1-6.
Zhu J J, Jiang F Q, Fang Z P, et al. Protective maturity and regeneration for water and soil conservation forest(WSCF) of *Robinia pseudoacacia* in Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(5): 1-6. (in Chinese)

[2] 任宪威. 树木学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1997: 349.
Ren X W. Dendrology [M]. Beijing: Chinese Forest Press, 1997: 349. (in Chinese)

[3] 吴征镒. 中国植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1980: 450-480.
Wu Z Y. Chinese Vegetation [M]. Bei Jing: Science Press, 1980: 450-480. (in Chinese)

[4] 张文辉,李登武,刘国彬,等. 黄土高原地区种子植物区系特征 [J]. 植物研究, 2002, 22(3): 373-379.
Zhang W H, Li D W, Liu G B, et al. Character of the seed plants flora in Loess Plateau [J]. Bulletin of Botanical Research, 2002, 22(3): 373-379. (in Chinese)

[5] 中国科学院水利部西北水土保持所. 黄土丘陵沟壑区水土保持

型生态农业研究 [M]. 杨凌: 天则出版社, 1990: 90-120.

Research of soil and water of CAS. Research of soil and water zoology agriculture in hilly area of Loess Plateau [M]. Yang Ling: Tian Ze Press, 1990: 90-120.

[6] 王义凤. 黄土高原地区植被资源及其合理利用 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991: 23-24.

Wang Y F. Resovrce and rational utilization in Loess Plateau [M]. Beijing: Chinese Science& Technolog Press, 1991: 23-24. (in Chinese)

[7] 张仰渠. 陕西森林 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1989: 250-270.

Zhang Y Q. Shaan Xi Forest [M]. Beijing: Chinese Forestry Press, 1989: 250-270. (in Chinese)

[8] 罗菊春. 抚育改造是森林生态系统经营的关键性措施 [J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(1): 121-124.

Luo J C. Tending thinning-improvement of stands is a crucial measure in forest ecosystem managemen [J]. Jouenal of Beijing Forestry University, 2006, 28(1): 121-124. (in Chinese)

[9] 曹 扬, 赵 忠, 渠 美, 等. 刺槐根系对深层土壤水分的影响 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(5): 765-768.

Cao Y, Zhao Z, Qu M, et al. Effect of Robinia pseudoacacia roots on deep soil moisture status [J]. Chinese Journal of Applied Ecolog, 2006, 17(5): 765-768. (in Chinese)

[10] 张 婷, 张文辉, 郭连金, 等. 黄土高原丘陵区不同生境小叶杨人工林物种多样性及群落稳定性分析 [J]. 西北植物学报, 2007, 27(2): 340-347.

Zhang T, Zhang W H, Guo L J, et al. Species diversity and community stability of Populus simonii plantations in different habitats in hilly area of the Loess Plateau [J]. Acta Bot, Boreal-Occident Sin, 2007, 27(2): 340-347. (in Chinese)

[11] 蒋志刚, 马克平. 保护生物学 [M]. 北京: 科学技术出版社, 1997: 40-41.

Jiang Z G, Ma K P. Conservation biology [M]. BeiJing: Science&Technology Press, 1997: 40-41. (in Chinese)

[12] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 - I α 多样性的测度方法 (下) [J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.

Ma K P, Liu Y M. The method of the biodiversity - I the method of α diversity [J]. Chinese Biodiversity, 1994, 2(4): 231-239. (in Chinese)

[13] 刘秉正, 王幼民, 李凯荣, 等. 人工刺槐林改良土壤的初步研究 [J]. 西北林学院学报, 1987, 2(1): 48-57.

Liu B Z, Wang Y M, Li K R, et al. The elementary research of Robinia pseudoacacia plantations' meliorate soil [J]. Journal of Northwest Forestry University, 1987, 2(1): 48-57. (in Chinese)

[14] 赵 忠, 李 鹏, 王乃江. 渭北黄土高原主要造林树种根系分布特征的研究 [J]. 应用生态学报, 2000, 11(1): 37-39.

Zhang Z, Li P, Wang N J. Distribution patterns of root systems of main planting tree species in Weibei Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecolog, 2000, 11(1): 37-39. (in Chinese)

[15] 李 鹏, 赵 忠, 李占斌, 等. 渭北黄土区刺槐根系空间分布特征研究 [J]. 生态环境, 2005, 14(3): 405-409.

Li P, Zhao H, Li Z B, et al. Characters of root biomass spatial distribution of Robinia pseudoacacia in Weibei loess areas [J]. Ecology and Environment, 2005, 14(3): 405-409. (in Chinese)

[16] 罗菊春. 抚育改造是森林生态系统经营的关键性措施 [J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(1): 121-124.

Luo J C. Tending thinning improvement of stands is a crucial measure in forest ecosystem management [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2006, 28(1): 121-124. (in Chinese)