

地形对陕北黄土区衰退沙棘人工林天然更新的影响

张恰吟¹, 朱清科^{1*}, 任正龔², 黄正佳¹

(1. 北京林业大学水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 宁夏水利厅水土保持局, 宁夏 银川 750000)

摘要: [目的] 为揭示陕北黄土区衰退沙棘人工林天然更新的地形适生范围。[方法] 通过调查陕西省吴起县沙棘人工林大面积衰退及死亡后的天然更新状况, 以 68 个样方的更新率、成林率及每木数据(株高、地径等)作为更新恢复能力的衡量指标, 运用方差分析、回归拟合及系统聚类分析等方法, 分析了沙棘更新恢复能力与各地形因子的关系。[结果] (1) 各坡向沙棘更新率差异显著($P=0.018$), 沙棘更新率均值阴坡 > 半阴坡 > 半阳坡 > 阳坡, 阴坡更新生长状况最好, 半阴坡更新幼株数量大, 存活率较高; (2) 坡度对更新率无显著影响, 但更新率在阴坡缓坡、极陡坡范围内出现峰值, 在阳坡条件下随坡度上升而减小; (3) 总体上衰退沙棘人工林天然更新的地形条件是阴坡、半阴坡; (4) 坡面微地形对衰退沙棘人工林更新具有显著影响($P=0.038$), 缓台较好, 陡坎较差。[结论] 半干旱黄土区部分衰退沙棘人工林可自行完成天然更新, 部分恢复困难, 需人工辅助或重新栽植适合的树种。阴坡、半阴坡的衰退沙棘幼株种群生长状况较好且基本能更新成林, 阳坡、半阳坡的生长状况较差且难以更新成林; 阴坡坡向条件下, 坡度对沙棘更新率的影响程度随着坡度上升而变小, 阳坡坡向条件下坡度对更新率的影响较小。衰退沙棘人工林更新率因所处微地形不同而存在差异。处于缓台的衰退沙棘幼株种群基本能更新成林, 浅沟的沙棘幼株种群与所处的原状坡面上的更新状况相似, 部分能更新成林, 处于陡坎的沙棘幼株种群基本不能更新成林。

关键词: 沙棘; 人工林衰退; 天然更新; 地形因子; 微地形

中图分类号: S793.6

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2017)02-0300-07

Modeling the Effects of Topography on the Natural Renewal of Declining Sea-buckthorn Forest in Loess Plateau of Northern Shaanxi Province

ZHANG Qia-ning¹, ZHU Qing-ke¹, REN Zheng-yan², HUANG Zheng-Jia¹

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education; School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Soil and Water Conservation Bureau of Department of Water Resources of Ningxia, Yinchuan 750000, Ningxia, China)

Abstract: [Objective] To illustrate the topographic condition of natural renewal of declining Sea-buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) forest in Loess Plateau of northern Shaanxi Province. [Method] The relations between recovery ability of sea-buckthorn and terrain factors were analyzed based on an investigation of natural regenerative condition of Sea-buckthorn forest after large-area death in Wuqi County, Shaanxi Province, by using renewal rate, reforestation percentage and tally data (height and basal diameter) from 68 quadrates as standard to measure the value of recovery ability, and also by using one-way Anova method of square-deviation (SD), regression fitting and systematical clustering method. [Result] (1) The renewal rate of sea-buckthorn showed significant different in various slopes (P

收稿日期: 2016-07-27

基金项目: “十二·五”国家科技支撑课题“困难立地植被恢复技术研究与示范”(2015BAD07B02)。

作者简介: 张恰吟(1992—), 女, 硕士研究生, 主要从事水土保持与林业生态工程研究, E-mail: zhangqianing224@sina.com.

* 通讯作者: 朱清科, 教授, 博士生导师, 主要从事水土保持与林业生态工程研究, E-mail: zhuqingke@sohu.com.

= 0.018)。The average of renewal rate may be ranked in the order of shady slope > semi-shady slope > semi-sunny slope > sunny slope. The best growth status of seeding population was in shady slope while the condition with a high survival rate and a huge amount of renewal young trees were in semi-shady slope. (2) Gradient has no significant effect on renewal rate. The renewal rate of sea-buckthorn showed the first peak (gentle slope) and the second peak (extremely steep slope) on shady slope, while the renewal rate gradually decrease with the grade increase of slope on sunny slope. (3) The topographic conditions of natural renewal of declining Sea-buckthorn forest were shady slope and semi-shady slope. (4) Micro-relief has a significant impact on natural renewal of declining Sea-buckthorn forest ($P=0.038$), platform was better while scarp was poor. [Conclusion] A portion of declining sea-buckthorn populations are difficult to recover spontaneously while they require manual assistance or alternative plants instead in Loess Plateau.

Keywords: sea-buckthorn; plantation declining; natural renewal; topographic factors; microtopography

沙棘 (*Hippophae rhamnoides* Linn.) 是黄土高原主要水土保持灌木造林树种之一,因其根蘖萌生能力强,在半干旱地区退耕还林、三北防护林体系建设及小流域水土保持等生态工程建设得到了广泛应用^[1-2],如位于半干旱黄土区的陕西省吴起县累计营造沙棘人工林达 8 万 hm^2 , 占该县土地总面积 21.1% 以上,但是,2010 年以来出现了大面积衰退甚至死亡现象,影响其功能的可持续发挥^[3]。国内外关于沙棘人工林的研究重点主要在林地土壤水分及养分,水土保持机理及效益,衰退死亡机制和种群结构、数量动态等繁殖特性研究^[4-8],但是关于衰退沙棘人工林的天然更新问题还未深入研究,因此,衰退沙棘人工林能否完成天然更新及其更新条件是急需研究的关键问题。

从幼株天然更新的角度研究森林木本植物早期阶段对生境异质性的响应及机理,不仅对理解森林更新和维持生物多样性具有理论意义,而且对退化森林生态系统实现自然恢复具有重要的实践价值。目前,国内外探讨更新特别是关于萌生更新的研究主要从萌枝的生物学特性和机理,幼苗生活史策略,对群落结构和动态的影响,以及对干扰的恢复响应^[9-12],在很多情况下,幼株天然更新与环境因子,特别是森林光环境^[13-14]和地形因子^[15-17]有较强关联性。而在黄土高原生态系统研究中,坡向、坡位、坡度以及微地形是衡量地形分异的主要特征,地形因子通过对太阳辐射和降水的再分配,导致了土壤水分、养分及局部小气候的空间异质性^[18],进而影响更新和群落分异格局。因此,研究该地区地形对衰退后沙棘人工林天然更新的影响有重大意义。

实际上,在黄土区植被恢复重建过程中,微地形对更新幼苗定居及种群结构配置有着重要作用。微

地形一般认为是坡面范围内 1 m^2 以上发生变化的局部地形,陕北黄土区按照地形特征分为缓台、切沟、浅沟、塌陷、陡坎 5 类微地形^[19]。本文旨在从地形、微地形—植被角度分析衰退沙棘人工林的更新特征,确定衰退沙棘天然更新的适生范围,以期为近自然植被恢复提供科学的参考依据。

1 研究与方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省吴起县,是典型的半干旱黄土丘陵区 ($107^{\circ}38'57''\sim 108^{\circ}32'49''\text{ E}$, $36^{\circ}33'33''\sim 37^{\circ}24'27''\text{ N}$)。海拔 1 233 ~ 1 809 m,年平均气温 7.8°C ,无霜期 96 ~ 146 d,年平均降水量 483.4 mm,年际变化大,季节分配不均,雨季集中在 7—9 月份,期间降水量多达全年降水量的 50% ~ 80%,年平均陆地蒸发量 400 ~ 450 mm。土壤类型为黄绵土,质地为轻壤,地貌属于黄土高原梁状丘陵沟壑区,气候属于中温带半湿润、半干旱区,具有明显的温带大陆性季风气候特征。该县植被类型表现为中温带森林灌丛草原植被向草原化森林灌丛草原植被过度特征,现以落叶阔叶林及灌木草丛占主导地位,目前,吴起县境内主要地带性植物种类有:木本植物 120 多种,主要树种是山杏 (*Armeniaca sibirica* L.)、油松 (*Pinus Tableulaeformis* Carr.)、刺槐 (*Robinia pseudoacacia* Linn.)、小叶杨 (*Populus simonii* Carr.) 等,灌木主要是沙棘 (*Hippophae rhamnoides* Linn.)、柠条 (*Caragana korshinskii* Kom.)、草本植物 220 多种,以白莲蒿 (*Artemisia sacrorum* Ledeb.)、长芒草 (*Stipa bungeana* Trin.)、兴安胡枝子 (*Lespedeza daurica* Schindl) 等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与调查 吴起县沙棘人工林是于

1986年统一规划栽植,期间未进行平茬管理。2012年7月、2015年7月对吴起县柴沟、合沟、袁沟流域衰退沙棘人工林进行样地调查和每木检尺,依据流域地形特征、植株分布及微地形自然形状,共设置了68个样地,样地面积为5 m×5 m、5 m×10 m、10 m×10 m、10 m×20 m、20 m×20 m。利用罗盘调查样方坡向、坡度, GPS定位经纬度和海拔;记录每个样方内沙棘林的盖度、总株数、死亡株数和活株数,同时每木检尺活沙棘的株高、地径、冠幅等。将坡向划分为阴坡、半阴坡、阳坡、半阳坡^[20];将坡度划分为缓坡(15°~25°)、陡坡(25°~35°)和极陡坡(35°~45°)^[21];因塌陷未见沙棘,切沟底部沙棘灌丛未见衰退死亡现象,所以本研究中微地形类型只调查缓台、浅沟、陡坎。设置每个坡向16~20个样地,每个坡度段5~8个样地,缓台微地形5个样地,浅沟微地形6个样地,陡坎微地形4个样地,以及原状坡对照组4个样地,其中缓台样地面积为5 m×5 m,浅沟样地面积为5 m×10 m、10 m×20 m,陡坎样地面积为5 m×10 m。

1.2.2 指标选取与定义 更新苗判定标准:该地区自2010年沙棘林大面积衰退及死亡后,生长空间与资源的富余促进了沙棘萌蘖。因其根蘖的特性,同一生境条件同一时间的萌生植株地径均相似,因此理论上该地区萌生沙棘的地径应呈现连续且聚集的特征,而地径级频率分布图(图1)出现了更新高峰(1.2~1.8 cm)与更新断层(4.2~4.8 cm)。地径<2 cm的沙棘幼苗可通过枝条年生节间痕迹确定年龄,地径>4 cm的沙棘通过锯取基部断面查看年轮确定年龄;本文采用国内较常用的降水年型划分标准^[22-23],研究期间仅2013年为丰水年,年降雨量高于多年平均值33.6%(表1)。因此可认为2013年出现了沙棘更新高峰,2010年沙棘大面积死亡事件导致了沙棘更新断层。因此本研究以沙棘地径级分布的更新断层作为更新苗与成熟木的区分标准,即地径小于 $D=4.2$ cm为沙棘大面积衰退及死亡后的更新植株,以下简称为“更新苗”。

更新率:沙棘部分植株的死亡为其更新幼苗提供了空间和资源,调查中发现更新苗多生长于地上部分死亡的沙棘周围,其根桩也会萌蘖出幼苗。因此,定义样方更新率为:更新率=更新植株/死亡植株×100%(死亡植株不为0)。

成林率:本研究的成林率是指衰退沙棘人工林通过天然更新恢复成新沙棘林的样地占调查样总量

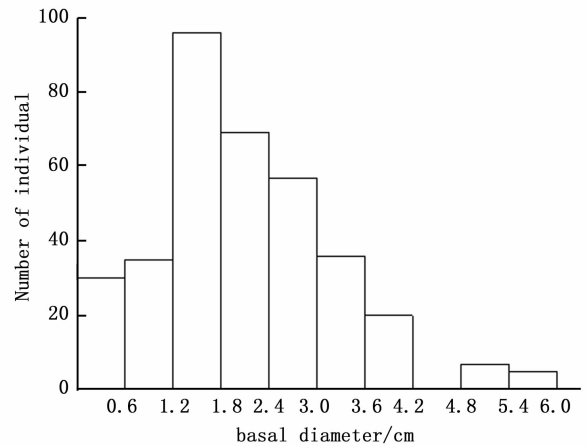


图1 衰退沙棘人工林地径级频率分布图

Fig. 1 The basal diameter class frequency map of Degrade Sea-buckthorn Forests

表1 吴起县实验点降雨量

Table 1 Precipitation at the experimental site in Wuqi mm

年份	年降雨量/mm	年型
2010	374.5	平水年
2011	436.6	平水年
2012	501.2	平水年
2013	630	丰水年
2014	530.2	平水年
2015	356.8	平水年
多年平均值	471.55	

数据来源:中国气象数据网(<http://data.cma.gov.cn/>)

的百分率。即:成林率=符合成林标准的样方数/样方总数×100%

根据国家林业局《新一轮退耕还林还草总体方案》(发改西部[2014]1772号)和《新一轮退耕还林检查验收办法》中灌木林标准:一般地区株数保存率≥80%,特殊地区株数保存率≥65%。吴起县1986年栽植沙棘人工林的初始密度是2×2 m,达到2505株·hm⁻²,坡度35°以上造林困难立地视为特殊地区。因此,计算得到吴起县不同样方面积衰退沙棘人工林能通过天然更新恢复形成沙棘林的标准如下表2。

表2 不同样方面积沙棘天然更新的成林标准

Table 2 The forest establishment standard of Sea-buckthorn natural regeneration from different sizes sample area

样方面积 sample area/m ²	25	50	100	200	400
造林初始株数 Afforestation initial tree number	6	12	25	50	100
特殊地区标准株数 special section tree number standard	4	8	16	32	65
一般地区标准株数 genera section tree number standard	5	10	20	40	80

1.2.3 数据处理 试验数据采用 Excel2013、Origin9.0 软件进行处理、绘图。通过 SPSS19.0 单因素方差(ANOVA)、多重比较(LSD)检验不同坡向、不同微地形类型衰退沙棘林更新率的差异,利用非参数检验分析坡度对更新率的影响,显著性水平均设定为 $\alpha = 0.05$,并采用变异系数对比各坡度段对更新率的影响程度。利用 Origin9.0 拟合更新率与坡度的关系,并利用 R 软件 ward 系统聚类法对更新率、成林率、地形因子各指标进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 地形条件对衰退沙棘人工林更新率的影响分析

2.1.1 坡向对更新率的影响 衰退沙棘人工林更新率在不同坡向上差异显著(表3)。更新率多重比较分析结果(表4)表明,阴坡、半阴坡分别与半阳坡、阳坡差异显著,且阴坡、半阴坡之间无显著差异,半阳坡、阳坡之间无显著差异。不同坡向沙棘更新

率均值(表4)从大到小依次为阴坡 > 半阴坡 > 半阳坡 > 阳坡,且比较不同坡向上沙棘的更新苗株高、地径得知(表4),阴坡沙棘生长状况比其它坡向好。这主要是由于阴坡土壤含水量较其他坡向高,植被覆盖度、林下植物多样性以及林内结构均优于其他坡向,从而促进沙棘人工林的更新与生长。从表4可见,半阴坡沙棘死亡密度最小,更新苗密度最大,且更新苗平均地径最小,说明1、2年生更新苗所占比例大且在该生境存活率较高。因此判定该坡向沙棘幼苗种群为增长型,考虑这与半阴坡高水分条件及沙棘阳生的生理特性相关。

表3 更新率方差分析

Table 3 Variance analysis of renewal rate

差异来源 Sources of variation	平方和 Sum of square	自由度 Degrees of freedom	均方 Mean square	F 值 F value	显著性 significance
坡向间	5.758	3	1.919	3.593	0.018 *
坡向内	34.185	64	0.534		

注: * 为显著性水平在 0.05 以内,即较显著。

表4 不同坡向沙棘更新特征与生长状况

Table 4 Renewal characteristics and growth status of Sea-buckthorn in different aspects

坡向 aspects	死亡密度 Death density/ (株·hm ⁻²)	更新率 renewal rate/% Mean ± SD	更新苗株高 Renewal seeding height/cm	活立木 standing timber			
				成熟植株 mature plants		更新苗 renewal seeding	
				密度 density/ (株·hm ⁻²)	地径 basal diameter/cm	密度 density/ (株·hm ⁻²)	地径 diameter/cm Mean ± SD
阳坡 sunny slope	5 142	23.31 ± 18.08a	77.31	—	—	414	2.03 ± 0.89
半阳坡 semi-sunny slope	4 365	26.04 ± 19.01a	77.86	—	—	643	1.71 ± 0.67
半阴坡 semi-shady slope	3 832	76.38 ± 61.56b	85.21	—	—	4 085	1.64 ± 0.91
阴坡 shady slope	4 346	90.82 ± 67.39b	106.70	200	6.54 ± 1.9	3 633	2.35 ± 1.06

注: Mean ± SD 为平均值 ± 标准差;小写字母相同表示不同坡向间差异不显著(LSD 多重比较法, $\alpha = 0.05$)

2.1.2 坡度对更新率的影响 由于阴坡与半阴坡、阳坡与半阳坡上沙棘更新率差异均不显著,将阴坡与半阴坡、阳坡与半阳坡分别合并为阴坡和阳坡,以分析同一坡向条件下坡度对沙棘更新率的影响程度。

坡度与更新率的关系见表5、图2,阴坡坡向条件下,更新率均值随着坡度上升而增大,但坡度对更新率无显著影响($P > 0.05$),各坡度段之间更新率差异也不显著;15°~35°范围内更新率变异系数远大于35°~45°,说明随着坡度上升,坡度对沙棘更新率的影响变小;结合坡度与更新率的曲线关系(图2A)得知,在阴坡坡度15°~25°、30°~45°范围内出现了峰值,更新率均随坡度增大迅速增大,到达峰值后迅速下降,呈凸型,在坡度25°~30°及45°后更新率趋于最低值,该峰值的出现考虑与土壤水分条件、人工林郁闭度有关。

阳坡坡向条件下,坡度对更新率无显著影响($P > 0.05$),各坡度段之间无显著差异,从变异系数可知坡度对陡坡条件下更新率的影响稍大于缓坡、极陡坡;沙棘更新率均值随坡度上升而减小,与两者曲线(图2B)变化趋势一致,且图中15°~25°范围内更新率减小速度较快,25°~35°减小速度变缓,35°以后不再变化;坡度25°是更新率曲线由凸变凹的拐点,坡度35°是更新率最小值初始点,此特殊坡度值与划分黄土高原缓坡、陡坡、极陡坡临界坡度值一致。因此,可以看出,与坡度大小密切相关的土壤含水量,是阳坡制约沙棘更新的主要阻力。阳坡35°以上坡面由于坡度大,光照强烈,土壤入渗速率较小、蒸发量大,导致土壤含水量极低,所以沙棘人工林更新率较低。因此,在阳坡35°以上坡面,具有阳生耐旱生理特性的沙棘植株也难以更新生存。

2.1.3 微地形对更新率的影响 由于侵蚀作用等

造成的微生境差异,通过对降水的再分配影响土壤含水量^[19],进而影响着黄土高原植被更新过程。对比分析不同坡向各类微地形沙棘更新率,及与原状坡的差异(图3)。

总体上,不同微地形沙棘更新率均值存在显著差异($P=0.038$),其均值大小排序均为缓台>浅沟>陡坎,这与黄土高原微地形土壤含水量排序相同。与原状坡相比,阴坡、阳坡缓台更新率均值均高于原

状坡面,陡坎更新率均小于原状坡面,而阴坡浅沟更新率小于原状坡,阳坡浅沟更新率大于原状坡。因此,各类微地形对衰退沙棘人工林更新有不同影响,缓台微地形有利于其天然更新,陡坎微地形不利于其天然更新,浅沟微地形对沙棘更新率影响较小,这主要是因为浅沟底与其所在原状坡的土壤含水量无显著差异,前人调查中也观察到浅沟底与原状坡的植被类型、盖度极为相似。

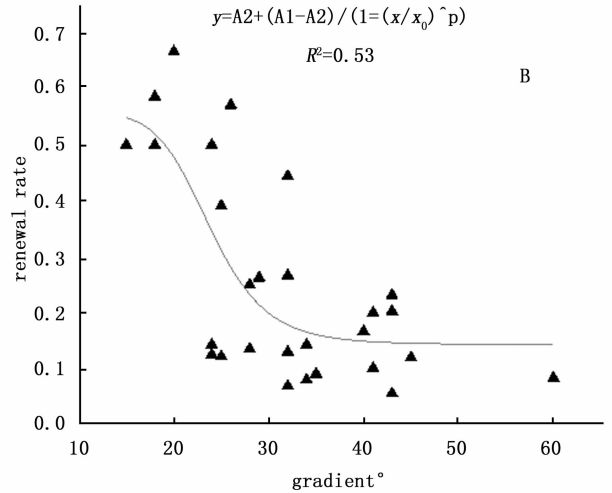
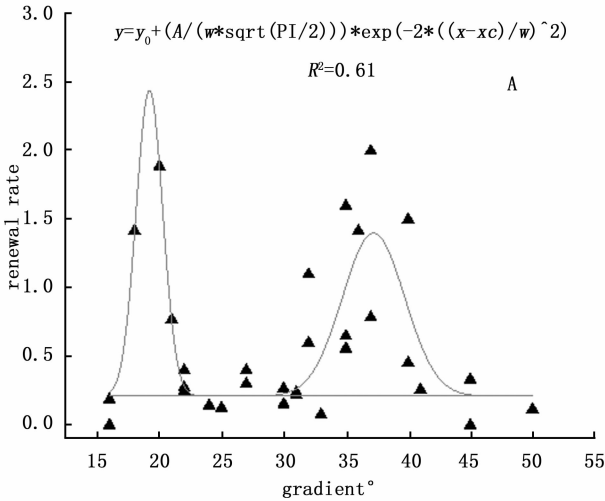


图2 沙棘幼苗种群更新率-坡度关系曲线(A:阴坡 B:阳坡)

Fig.2 The response curve of Renewal Rate-Gradient in seedling populations of *Sea-buckthorn* (A:shady slope B:sunny slope)

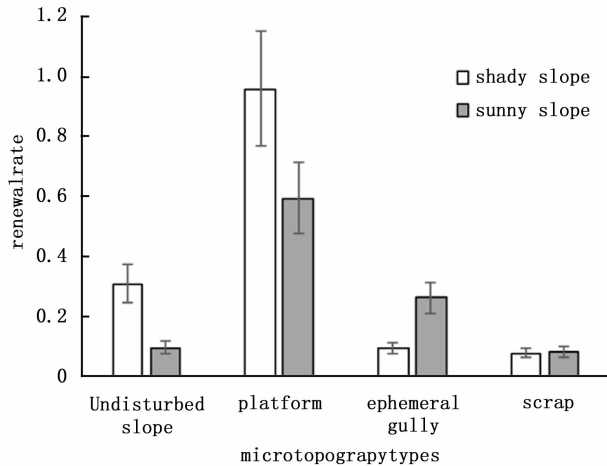


图3 阴坡、阳坡不同微地形和原状坡面更新率均值

Fig.3 Average of renewal rate in both different microtopography types and in shady slope and sunny slope

2.2 沙棘更新成林与地形因子关系的聚类分析

根据沙棘林更新率、成林率、坡向、坡度、微地形类型5个指标对68个样方进行聚类分析。结果表明:可将68个样方按照更新程度分为4类(表6)。第一类衰退沙棘更新程度最好,成林率达100%,平均更新率是122%,分布于阴坡、半阴坡原状坡面

表5 坡度与沙棘更新率的关系

Table 5 Relation of gradient and the renewal rate of *Sea-buckthorn*

坡向 Slope aspect	坡度 Gradient	样本数 Sample number	更新率/% renewal rate/%			变异系数 Coefficient of variation
			最小值 Minimum	最大值 Maximum	均值 Mean	
阴坡 shady slope	缓坡 gentle slope	10	12.5	188.9	53.6a	124
	陡坡 steep slope	12	7.7	200	85.2a	122
	极陡坡 extremely steep slope	10	11.5	150	87.4a	75
阳坡 Sunny slope	缓坡 gentle slope	12	12.2	66.7	37.5b	51
	陡坡 steep slope	10	6.9	57.1	22.5b	60
	极陡坡 extremely steep slope	10	5.6	50	21.63b	56

小写字母相同表示不同坡度段间更新率差异不显著(非参数检验, $\alpha=0.05$)

上;第二类衰退沙棘更新程度较好,成林率达40%,平均更新率是94%,分布于各个坡向的缓台上;第三类衰退沙棘更新程度较差,平均更新率仅29%,

但成林率为 23%, 主要分布于半阴坡陡坡原状坡面; 第四类衰退沙棘更新程度最差, 成林率为 0, 平均更新率仅 17%。因此, 在半干旱黄土坡面的缓台

微地形和阴坡、半阴坡原状坡面地形条件, 衰退沙棘人工林有可能通过天然更新恢复为新的沙棘林。

表 6 衰退沙棘成林率、更新率与地形因子的聚类分析

Table 6 HCA (hierarchical cluster analysis) based on reforestation percentage, renewal rate and terrain factors of degrade Sea-buckthorn

成林率 Reforestation percentage/%	聚类变量 Clustering variables					
	更新率/renewal rate			可成林地形条件 topographic condition of reforestation		
	最大值 Maximum	最小值 Minimum	均值 ± 标准误差 Mean value ± standard error	坡向 Aspect	坡度 Slope/°	微地形 Micro-topography
100	2.1	0.2	1.22 ± 1.26	AB	15 ~ 45	c
40	1.89	0.19	0.94 ± 0.70	ABCD	15 ~ 20	a
23	1	0	0.29 ± 0.24	B	25 ~ 35	c
0	0.5	0	0.17 ± 0.13	/	/	/

A - 阴坡 shady slope; B - 半阴坡 semi-shady slope; C - 半阳坡 semi-sunny slope; D - 阳坡 sunny slope / a - 缓台 platform; c - 原状坡 undisturbed slope

3 讨论

(1) 本研究采用更新率指标进行评价, 可以直观反映衰退沙棘的天然更新程度, 地形响应体现了植物对资源利用策略的变化。坡向对衰退沙棘更新率有显著影响, 这主要是由于不同坡向坡面接收太阳辐射的能力不同, 造成地温、土壤蒸发及植被蒸腾不同^[24], 导致了不同坡向土壤含水量的区别^[25-27]。本研究结果表明, 阳坡较阴坡差异显著, 说明阳坡水分的缺乏限制了其天然更新; 半阴坡的优势较明显, 经测定与计算, 发现该生境植株地上生物量较其他坡向大, 说明沙棘在较好的水热条件下, 增强了幼株的光合作用能力及根系萌蘖、伸长能力。

通过拟合更新率与坡度的相关性曲线, 发现其更新状况优劣排序为: 阴坡 15°~25° > 阴坡 30°~45° > 阳坡 15°~25°, 且极值出现在阴坡 19°、37° 及阳坡 15°。前人研究表明黄土高原地区坡度与土壤含水量相关性极强, 且随着坡度增加土壤含水量降低^[28], 解释了缓坡 (15°~25°) 生境利于其更新的原因; 另外, 本研究中位于阴坡 30°~45° 的沙棘人工林为高郁闭度 (>70%) 或低郁闭度 (<30%), 郁闭度过高或过低, 却出现了更新率极值, 这与保积存^[29] 的研究结果相反。有研究表明郁闭度会影响林内光照、温湿度及地被物生长, 进而影响更新好坏, 郁闭度过低时, 光照强度相对较大的优势表现出来, 林内空间较大, 温度升高, 枯落物加快分解, 养分充足^[30], 可能导致阴坡 37° 左右出现更新高峰; 郁闭度过高时, 光照成为限制因素, 但本试验中沙棘呈现两种不同径阶结构: 地径 1~3 cm 的健康植株 (占总株数 10%) 与地径 1 cm 以下的 1、2 年生幼苗 (占总株数 90%)、地径 0~4 cm 的植株数量以 1 cm 为单

位平均分布, 因此衰退种群处于更新期的增长阶段和稳定阶段, 种间竞争并不剧烈, 也有天然更新的能力, 甚至出现更新高峰。本研究中位于阴坡 25°~30° 的沙棘人工林更新率较低, 与理论不符, 考虑一方面可能是土壤问题, 由于该生境下的沙棘人工林生长年龄较大, 对土壤水分的利用过度, 造成了林地土壤出现较严重的旱化现象, 形成了土壤干层^[31]; 另一方面可能是密度问题, 由于沙棘人工林个体之间因为土壤水资源而出现了自疏现象^[32], 具体原因需要进一步研究调查并提出相应的调控措施。

(2) 尽管微地形不是影响灌木种群更新的直接环境因子, 但它可以通过对微生境资源的再分配而加剧幼苗的更新差异, 尤其是土壤水分差异, 表现为缓台 > 浅沟 > 陡坎^[33-35], 但本试验中仅缓台对沙棘人工林有明显促进更新成林的效果, 浅沟、陡坎微地形则不明显; 沙棘由于其强大的根系伸展能力, 在不同微地形类型上表现出随微地形大小形状变化的差异, 如浅沟上呈条形分布、缓台上呈均匀分布, 说明沙棘会为了获取资源而改变其根蘖苗放置点的选择策略; 在调查中, 观察到切沟中沙棘灌丛生长茂盛, 基本无衰退及死亡现象, 与其他情况差异明显, 造成这种差异的原因可能是坡面径流随坡面流下集中在切沟底, 增加了土壤含水量, 富含养分的表层土壤也汇集在切沟底^[33-36], 导致切沟底的土壤水分、氮含量、有机质含量相对较高, 满足了沙棘灌丛生长发育的需要。这些结果都从侧面反映了黄土区坡面水分的不均匀性, 证明该地区实行坡面植被人工恢复与重建时有必要按照微地形来区别配置。综合地形影响因子可以发现, 处于阴坡区域的缓坡、极陡坡 (过高或过低密度)、切沟、缓台沙棘林分更新最好, 因此可以实施封禁措施, 实现衰退林分的自然恢复; 处于

阳坡、半阳坡区域及其他微地形类型的沙棘林分可以采取人为辅助措施,如补植、间伐、平茬等促进沙棘人工林天然化发育,达到种群的永续利用。

4 结论

(1)阴坡、半阴坡的衰退沙棘幼株种群生长状况较好且基本能更新成林,阳坡、半阳坡的生长状况较差且难以更新成林;总体上,阴坡坡向条件下,坡度对沙棘更新率的影响程度随着坡度上升而变小,阳坡坡向条件下坡度对更新率的影响较小。

(2)衰退沙棘人工林更新率因所处微地形不同而存在差异。处于缓台的衰退沙棘幼株种群基本能更新成林,浅沟的沙棘幼株种群与所处的原状坡面上的更新状况相似,部分能更新成林,处于陡坎的沙棘幼株种群基本不能更新成林。

参考文献:

[1] 胡建忠. “三北”地区沙棘属植物的区域化种植开发探讨[J]. 水土保持研究,2006,13(1):3-7.

[2] 吴永红,胡建忠,闫晓玲,等. 砒砂岩区沙棘林生态工程减洪减沙作用分析[J]. 中国水土保持科学,2011,9(1):68-73.

[3] 刘蕾蕾,朱清科,赵维军,等. 陕北黄土区衰退沙棘人工林改良土壤的作用[J]. 水土保持通报,2014,34(3):311-328.

[4] 陈文思,朱清科,刘蕾蕾,等. 陕北半干旱黄土区沙棘人工林的死亡率及适宜地形因子[J]. 林业科学,2016,52(5):9-16.

[5] 李根前,赵粉侠,李秀寨. 毛乌素沙地中国沙棘种群数量动态研究[J]. 林业科学,2004,40(1):180-184.

[6] Muhammad Q, Shafiullah, Faridullah. The great role of Sea-buckthorn: Combating land sliding and soil control with Sea-buckthorn [J]. Hamdard Medicus, 2005, 48(3): 70-71.

[7] 李甜江. 中国沙棘人工林衰退的水分生理生态机制[D]. 北京:北京林业大学,2011.

[8] 李倩. 黄土丘陵区沙棘繁殖特性研究[D]. 西安:西北农林科技大学,2010.

[9] Mostacedo B, Putz F E, Fredericksen T, et al. Contributions of root and stump sprouts to natural renewal of a logged tropical dry forest in Bolivia [J]. Forest Ecology and Management, 2009, 258(6): 978-985.

[10] Metz M R. Does habitat specialization by seedlings contribute to the high diversity of a lowland rain forest? [J]. Ecol, 2012, 100: 969-979.

[11] Ye L, Hao Z Q, Xie P, et al. Habitat associations of saplings and adults in an old-growth temperate forest in the Changbai Mountains, northeastern China. [J] Forestry Studies in China, 2011, 13: 13-22.

[12] 田 镡,陈 磊,米湘成,等. 亚热带常绿阔叶林木本植物幼苗分布格局及其对生境过滤的响应[J]. 科学通报,2013,58(34):3561-3569.

[13] 王 芳,刘 宁,姚延涛. 色木槭与辽东栎幼苗对森林光环境的形态及生理响应[J]. 林业科学,2013,49(10):7-16.

[14] 王传华,李俊清,陈芳清. 鄂东南低丘地区枫香林下枫香幼苗

更新限制因子[J]. 植物生态学报,2011,35(2):187-194.

[15] Tavili A, Jafari M. Interrelations between plants and environmental variables [J]. International Journal of Environmental Research, 2009, 3: 239-246.

[16] 区余瑞,苏志尧,李镇魁,等. 地形因子对粤北山地森林不同生长型地表植物分布格局的影响[J]. 应用生态学报,2011,22(5):1107-1113.

[17] 张昌顺,谢高地,包维楷,等. 地形对澜沧江源区高寒草甸植物丰富度及其分布格局的影响[J]. 生态学杂志,2012,31(11):2767-2774.

[18] 赵 雪,刘妍妍,金光泽. 地形对阔叶红松林幼苗更新的影响[J]. 应用生态学报,2013,24:3035-3042.

[19] 朱清科,张 岩,赵磊磊,等. 陕北黄土高原植被恢复及近自然造林[M]. 北京:科学出版社,2012.

[20] 朱 岩,张 岩,朱清科,等. 半干旱黄土区沟间天然草地植被空间分异特征[J]. 生态学杂志,2011,30(6):1063-1069.

[21] 赵 荟,朱清科,王 晶,等. 黄土区阳坡不同立地植被恢复研究[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(3):116-121.

[22] 张建林,张 曼,肖利娟,等. 流溪河水库丰水年与枯水年营养盐动态的比较分析[J]. 生态科学,2012,31(3):259-266.

[23] 张北赢,徐学选,刘文兆,等. 黄土丘陵沟壑区不同降水年型下土壤水分动态[J]. 应用生态学报,2008,6(19):1234-1240.

[24] 韩蕊莲,侯庆春. 延安试区刺槐林地不同立地条件下土壤水分变化规律[J]. 西北林学院学报,2003,18(1):74-76.

[25] 邱 扬,傅伯杰,王 军,等. 土壤水分时空变异及其与环境因子的关系[J]. 生态学杂志,2007,26(1):100-107.

[26] Famiglietti J S, Rudnicki W, Rodel M. Variability in surface moisture content along a hill slope transect Rattlesnake Hill Texas [J]. Journal of Hydrology, 2010, 21: 259-281.

[27] Western A W, Grayson R B, Blosch L G, et al. Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices [J]. Water Resource Research, 1999, 35(1): 797-810.

[28] 田均良,梁一民,刘普灵. 黄土高原丘陵区中尺度生态农业建设探索[M]. 郑州:黄河水利出版社,2003.

[29] 保积存,王得祥,陈 飞,等. 基于灰色关联的火地塘林区锐齿栎林天然更新研究[J]. 西北林学院学报,2011,26(5):121-126.

[30] 韩文娟,张文辉,何景峰,等. 不同坡向油松人工林建群种种群结构及群落特征分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(3):47-54.

[31] 郭忠升,邵明安. 半干旱区人工林草地土壤旱化与土壤水分植被承载力[J]. 生态学报,2003,23(8):1640-1647.

[32] 黎 磊,周道玮,盛连喜. 植物种群自疏过程中构件生物量与密度的关系[J]. 生态学报,2012,32(13):3987-3997.

[33] 赵 荟,朱清科,秦 伟,等. 黄土高原干旱阳坡微地形土壤水分特征研究[J]. 水土保持通报,2010,30(3):64-68.

[34] 路保昌,薛智德,朱清科,等. 干旱阳坡半阳坡微地形土壤水分分布研究[J]. 水土保持通报,2009,29(1):62-65.

[35] 王 晶,朱清科,赵 荟,等. 陕北黄土区阳坡微地形土壤水分特征研究[J]. 水土保持通报,2011,31(4):16-21.

[36] 祁 建,马克明,张育新. 北京东灵山不同坡位辽东栎叶属性的比较[J]. 生态学报,2008,28(1):122-128.

(责任编辑:崔 贝)