

科尔沁沙地灌木对风沙土壤的生态效应

张 华¹, 何 红¹, 李锋瑞², 张洪荣³

(1. 辽宁师范大学城市与环境学院, 大连 116029; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 3. 兰州大学草地农业科技学院, 兰州 730000)

摘要: 对科尔沁沙地小叶锦鸡儿、差巴嘎蒿和黄柳灌木阻固沙尘和保育土壤的生态效应进行了野外定株观测研究。结果表明: (1)小叶锦鸡儿阻固沙尘的能力很强, 单株灌木基部的平均积沙(尘)量为 0.49m^3 , 分别是差巴嘎蒿和黄柳的 3 倍和 16 倍。(2)每一灌木种的冠幅直径、基部分枝数和分枝直径均与灌木基部的积沙(尘)量有显著的正相关关系, 其中冠幅直径对积沙(尘)量的影响最大, 决定系数为 $0.18\sim 0.58$ ($P < 0.05$, $n = 30$)。 (3)三种灌木对土壤有机质、全 P、全 N 和速效 P 都有不同程度的富集作用, 其中对土壤有机质的富集作用更为明显; 不同灌木种间, 小叶锦鸡儿对土壤有机质和全 N 的富集作用略大于差巴嘎蒿和黄柳。

关键词: 沙地灌木; 阻固沙尘; 土壤物理特性; 土壤养分富集; 生态效应

文章编号: 1000-0585(2005)05-0708-09

1 引言

在沙地环境中, “灌木堆”的形成、灌木对土壤养分的“富集”作用以及灌木的自然稀疏, 是灌木植物适应贫瘠沙质生境的主要机制和利用养分的有效对策^[1~3], 同时也是灌木植物对风沙土壤系统产生生态效应的主要生物过程。因此, 研究自然稀疏密度下不同灌木种“灌木堆”的大小, 即灌木基部积沙(尘)量的大小, 以及灌木“营养富集”作用的大小, 对了解植物的种内、种间竞争, 揭示灌木有效利用土壤养分的机制, 正确评价灌木保护、改良土壤肥力的功效以及促进沙区植被的恢复重建, 都具有重要的生态学意义。

小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、黄柳(*Salix gordejewii*)和差巴嘎蒿(*Artemisia halodendron*)是科尔沁沙地广泛分布的优良固沙灌木及半灌木, 具有降低风速、阻固流沙、改良土壤、保护和改善沙地生态环境的良好功效^[4]。本文通过对这几种灌木基部积沙(尘)量的野外定株观测, 探讨了科尔沁沙地飞播后自然稀疏密度下不同灌木种的阻沙固沙效应, 并分析了灌木的形态特征对其阻固沙尘能力的影响程度。同时, 通过对灌木基部土壤及灌木间裸露地土壤理化特性的对比分析, 探讨了固沙灌木对风沙土结构的改良效应和对土壤养分的富集作用, 旨在为沙区建立适宜的灌木植物群落提供科学依据。

2 研究地区与研究方法

2.1 研究区自然概况

研究区域位于科尔沁沙地中南部奈曼旗境内(地理坐标为 $42^{\circ}55'N$, $120^{\circ}41'E$, 平均

收稿日期: 2004-09-19; 修订日期: 2005-03-22

基金项目: 国家社会科学基金项目(05BJY024); 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所知识创新工程项目(210097)

作者简介: 张华(1965-), 女, 山东东明人, 副教授, 理学博士。主要从事土壤地理学、植物地理学教学工作及恢复生态学研究。

海拔 358 m)。本区为典型温带半干旱大陆性季风气候, 根据奈曼旗气象站 40 年 (1961~2000) 的气象观测资料, 年平均气温 6.3 °C, 年降水量 366 mm, 75%集中在 6、7、8、9 四个月, 春季 (3~5 月) 降水量仅占全年降水量的 12%左右。年蒸发量 1935 mm, 约为年降水量的 5 倍。年平均风速 3.5 m/s, 全年日平均风速大于土壤风蚀临界起动风速 (5 m/s) 的日数近 200 d, 主要出现在春季和冬季。

研究区地带性土壤为沙质栗钙土, 但因长期的风蚀作用已退化为风沙土, 表土层结构疏松, 有机质含量少, 抗风蚀能力极差。区内西辽河平原上深厚的沙层在风力作用下就地起沙, 风沙流和尘暴蔓延, 形成了沙丘、沙垄、缓起伏沙地、丘间低地及冲积平原等多种风沙地貌类型^[4]。区内主要植物有小叶锦鸡儿 (*Caragana microphylla*)、黄柳 (*Salix gordejewii*)、差巴嘎蒿 (*Artemisia halodendron*)、冷蒿 (*Artemisia frigida*)、扁蓿豆 (*Melissitus ruthenicus*)、糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*)、狗尾草 (*Setaria viridis*)、猪毛菜 (*Salsola collina*) 和沙米 (*Agriophyllum squarrosum*) 等。

2.2 研究方法

观测样地位于奈曼旗南嘎什图村旁的缓起伏沙地上。主要观测内容及方法如下:

2.2.1 灌木形态特征及基部积沙(尘)量测定 于 2002 年风蚀季节末, 分别在 3、4 年生 的小叶锦鸡儿灌丛、差巴嘎蒿灌丛和黄柳灌丛内随机抽取黄柳、差巴嘎蒿和小叶锦鸡儿各 30 株, 调查灌木的高度、平均冠幅、基部分枝数以及分枝直径, 同时调查灌木基部沉积沙堆的高度和平均底径(图 1)^[1]。

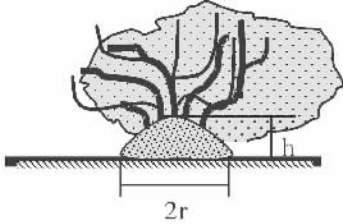


图 1 “灌木堆”示意图 (h 为“灌木堆”高度, r 为底部半径)

Fig. 1 A sketch map indicating an “island of fertility” under shrub canopy. “Island of fertility” is assumed a cone shape (h is height of “island of fertility” and r is radius of “island of fertility”)

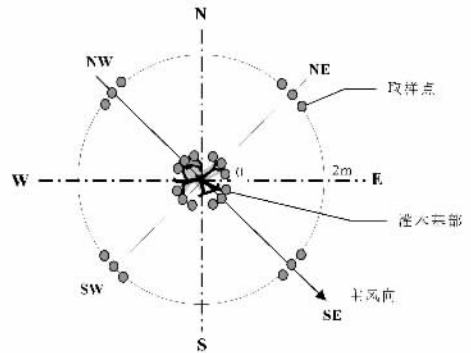


图 2 灌木基部及周围土壤取样部位示意图

Fig. 2 Soil sampling points placed under different positions around the shrubs

2.2.2 灌木周围土壤理化性质的测定 参照图 2, 分别在小叶锦鸡儿、差巴嘎蒿和黄柳灌丛内选取周围 3m 以内无任何灌木植物分布的小叶锦鸡儿中庸株 (依据灌木形态特征的调查统计结果, 按平均高度和平均冠幅选取)、差巴嘎蒿中庸株、黄柳中庸株各 3 株, 就每一株从东北 (NE)、东南 (SE)、西南 (SW)、西北 (NW) 四个方向, 对距灌木基部 0m (亦称灌木基部) 和 2m 处 (代表灌丛间裸地) 0~20cm 层的土壤采用土钻法取样 (3 次重复的混合样), 测定其理化性质。土壤容重采用环刀法测定, 土壤机械组成采用筛分法测定, 土壤有机质采用重铬酸钾氧化硫酸亚铁滴定法测定, 全 N 采用凯式定氮法测定, 全 P 采用碱溶钼蓝比色法测定, 速效 P 采用碳酸氢钠浸提钼蓝比色法测定^[5]。

2.2.3 灌木周围枯落物的测定 在采集土样前, 首先在每个取样点采用小样方收获法(样方大小 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$, 3 个重复)测定土壤表层的枯落物重量(风干重)。

2.2.4 数据分析 灌木基部沉积的沙堆形状近似于圆锥体(图 1), 故积沙(尘)量采用圆锥体体积公式算得。

灌木对土壤营养成分的富集作用采用富集率(Enrichment ratio) E 来反映^[6]:

$$E = A/B$$

式中, A 为灌木基部 4 个方向 $0 \sim 20\text{cm}$ 层土壤的养分含量(平均值), B 为 4 个方向距离灌木基部 2m 处 $0 \sim 20\text{cm}$ 层土壤的养分含量(平均值)。 E 值愈大, 表示灌木对土壤养分富集作用愈显著。

灌木形态特征与积沙(尘)量的相关关系及多元逐步回归分析, 不同灌木种间积沙(尘)量的差异性统计学分析, 同一灌木不同取样部位的土壤性状值的显著性配对样本 t -检验分析均采用 SPSS 10.0 for windows 软件确定。

3 结果与分析

3.1 自然稀疏下固沙灌木的形态特征

由于飞播种子只有一部分能长成植株, 另一部分常因风蚀、沙埋、干旱等因子的胁迫而死亡, 因此, 飞播后即行封育形成的灌丛内分布有大小不等的林窗, 致使灌木种群的密度和盖度很小。

本次调查表明, 3、4 年生小叶锦鸡儿种群的自然稀疏密度为 $75\text{株}/\text{hm}^2$, 冠幅覆盖度仅为 6% , 灌木平均高 1.9m (平均数标准差 $SD=0.4, n=30$), 单株平均冠幅直径 3.1m ($SD=0.9, n=30$), 近地层分枝数 63 个($SD=34, n=30$), 分枝粗 1.5cm ; 3、4 年生黄柳种群的自然稀疏密度为 $63\text{株}/\text{hm}^2$, 灌木冠幅覆盖度为 10% , 灌木平均高 2.6m ($SD=0.5, n=30$), 单株平均冠幅直径 4.5m ($SD=1.0, n=30$), 近地层分枝数 29 个($SD=8, n=30$), 分枝粗 1.4cm ; 3、4 年生半灌木差巴嘎蒿种群的覆盖度为 24% , 平均高 53cm ($SD=10, n=30$), 单株平均冠幅直径 1.7m ($SD=0.4, n=30$), 近地层分枝数 28 个($SD=15, n=30$), 分枝粗 1.0cm 。

3.2 灌木阻固沙尘效应

3.2.1 灌木基部的积沙(尘)量 经测算, 小叶锦鸡儿、差巴嘎蒿和黄柳的平均积沙(尘)量分别为 $0.49\text{m}^3/\text{株}$ ($SD=0.22, n=30$)、 $0.16\text{m}^3/\text{株}$ ($SD=0.07, n=30$) 和 $0.03\text{m}^3/\text{株}$ ($SD=0.01, n=30$)。方差分析结果表明 ($P < 0.05$), 小叶锦鸡儿阻固沙尘的生态效应显著大于黄柳和差巴嘎蒿, 而差巴嘎蒿和黄柳尽管在丛高和丛幅上差异较大, 但其阻固沙尘的功效在统计学上没有明显的差异 ($P > 0.05$)。

引起灌木种类间阻固沙尘生态效应差异的主要原因是不同灌木种的生态学特性不同。小叶锦鸡儿的丛生性很强, 基部分枝数较多, 其长枝上的托叶硬化成针刺, 由此构成了横向、竖向均比较密集的灌木篱。当含沙量较高的风沙流流经时, 风沙流中跃移的沙粒最多, 蠕移和悬移的沙粒较少^[7], 但都会受到小叶锦鸡儿丛篱的有效阻挡, 致使蠕移、跃移的沙粒大量沉积于灌木基部, 同时, 较高的灌木还会滞落少量的悬移粉尘沉积于灌木基部; 差巴嘎蒿为菊科蒿属半灌木, 植丛不高, 茎自基部分枝, 冠丛外倾或铺散, 也能够阻截大量蠕移和跃移的沙粒, 但因冠幅明显小于小叶锦鸡儿, 庇护的范围有限, 因此影响了其阻固沙尘的功效; 黄柳灌木冠幅高大, 但由于未采取过平茬抚育措施, 基部分枝较少,

且干性很强, 不能形成密集的丛篱, 因此阻截的沙量很少。

3.2.2 灌木的形态特征与积沙(尘)量的相关关系 相关分析结果显示, 灌木的形态特征直接影响着灌丛风积效应的大小。

小叶锦鸡儿的冠幅直径、基部分枝数、分枝直径和丛高都对灌木阻固沙尘的功能有着显著的影响。其中, 冠幅直径对积沙(尘)量的影响最大, 决定系数为 0.58 ($P < 0.05$, $n = 30$), 其次为基部分枝数, 决定系数为 0.22 ($P < 0.05$, $n = 30$), 分枝直径和丛高的影响较小, 决定系数不足 0.20 ($P < 0.05$, $n = 30$)。

差巴嘎蒿的冠幅直径、基部分枝数和分枝直径对灌木阻固流沙的功能有着显著的影响, 而丛高的影响不显著 ($P > 0.05$, $n = 30$)。其中, 冠幅直径对积沙(尘)量的影响最大, 决定系数为 0.57 ($P < 0.05$, $n = 30$), 其次为基部分枝数, 决定系数为 0.31 ($P < 0.05$, $n = 30$), 分枝直径的影响较小, 决定系数不足 0.15 ($P < 0.05$, $n = 30$)。

黄柳的冠幅直径、基部分枝数、分枝直径和丛高都对灌木阻固的流沙量有着显著的影响, 但决定系数都较小, 分别为 0.18、0.16、0.14 和 0.16 ($P < 0.05$, $n = 30$)。

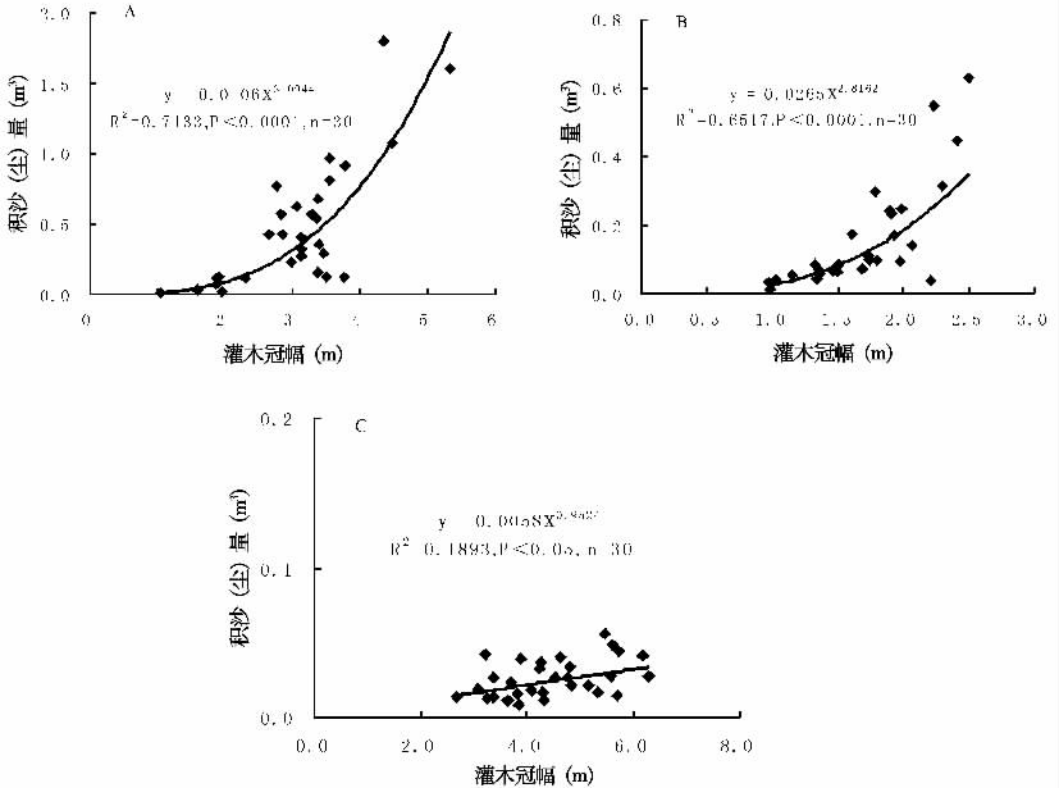


图 3 灌木基部积沙(尘)量与冠幅的曲线回归关系 (A: 小叶锦鸡儿, B: 差巴嘎蒿, C: 黄柳)

Fig. 3 Relationship between shrub canopy size and sand and dust sediment amount (A: *Caragana microphylla*, B: *Artemisia halodendron*, and C: *Salix gordejvii*)

基于灌木的冠幅、基部分枝数、分枝直径和冠高对积沙(尘)量的影响程度, 按四个自变量对因变量的作用大小, 由大到小依次逐个引入回归方程, 并对每个自变量的作用进

行显著性检验（若无显著性意义时，即行剔除）。多元逐步回归的结果是：只有冠幅直径引入回归方程。该结果表明，灌木的冠幅，尤其是小叶锦鸡儿和差巴嘎蒿的冠幅直径主要影响着灌木阻固沙尘效应。基于此，将积沙（尘）量（ Y ）与灌木冠幅直径（ X ）作曲线回归，则曲线回归方程能更好地反映二者之间的实际关系（图 3），借此方程可以估算出不同冠幅灌木所能阻固的积沙（尘）量。

3.3 灌木对风沙土结构及养分的影响

3.3.1 灌木对风沙土结构的改良效应 表 1 为距灌木基部 0、2m 处 0~20cm 层的土壤物理性状。可以看出，在距灌木基部 0 和 2m 处，表层土壤的粒径组成和容重等物理性状存在着一定的差异。与 2m 处相比较，灌木基部土壤中的粗颗粒（粒径 $>0.25\text{mm}$ ）含量明显减少，而细颗粒（粒径 $<0.1\text{mm}$ ）含量有所增加，其中小叶锦鸡儿、差巴嘎蒿、黄柳灌木基部土壤中的粗颗粒含量分别是 2m 处的 37%、99% 和 79%，细颗粒含量则分别是 2m 处的 1.2、1.2 和 1.4 倍。灌木基部的土壤容重略小于 2m 处。

另外，统计发现，灌木基部及周围同一取样距离处 NE、SE、SW 和 NW 四个方向土样的物理特性差异不大，表明风向对灌木四周土壤质地的影响不明显。

表 1 距灌木基部不同距离处 0~20cm 土层的土壤物理性状

Tab. 1 Soil physical properties (0~20 cm) under shrub canopies and at 2m distances from the shrub canopies

灌木种	距灌木基部距离(m)	土壤粒径 (%)					容重 (g/cm^3)
		$>0.5\text{mm}$	0.5-0.25mm	0.25-0.1mm	0.1-0.05mm	$<0.05\text{mm}$	
		Mean+SD	Mean+SD	Mean+SD	Mean+SD	Mean+SD	Mean+SD
小叶锦鸡儿	0	0.18±0.06a	7.78±1.05a	83.41±2.74a	5.67±0.95a	2.96±1.24a	1.56±0.10a
	2	0.60±0.19b	20.96±1.42b	71.03±1.18b	5.43±1.51a	1.98±0.56a	1.64±0.02a
差巴嘎蒿	0	0.40±0.09a	26.48±1.82a	67.16±1.98a	4.28±0.94a	1.68±0.81a	1.62±0.01a
	2	0.57±0.25a	26.60±0.89a	67.78±1.55a	3.85±0.48a	1.19±0.45a	1.63±0.02a
黄柳	0	0.23±0.03a	17.24±1.23a	73.75±0.43a	6.56±0.70a	1.10±0.29a	1.63±0.01a
	2	0.42±0.03b	21.78±1.33b	71.29±2.05a	5.41±1.15a	1.10±0.30a	1.65±0.02b

表中所列数据为 4 个方向土样的平均值，SD=平均数标准差。

每一灌木种所在同一列中不同字母 a, b 者为差异显著 ($P<0.05$)。下同。

3.3.2 灌木对风沙土营养成分的富集作用 表 2 为距灌木基部 0、2m 距离处 0~20cm 层土壤的化学性状及养分富集率。可以看出，灌木基部土壤中的有机质、全 P、速效 P 和全 N 都不同程度地高于距灌木基部 2m 处，表明三种灌木对土壤有机质、全 P、速效 P 和全 N 都有不同程度的富集作用。

从不同灌木种对土壤养分的富集作用看，小叶锦鸡儿对土壤有机质和全 N 的富集作用明显大于差巴嘎蒿和黄柳。这主要是因为小叶锦鸡儿能够截获较多的枯枝落叶、风蚀细颗粒和粉尘，而同期的研究资料表明^[8]，研究区林地滞落的粉尘中含有全 C 16.76 g/kg、全 N 1.63 g/kg 和速效 P 0.211 g/kg。可见，小叶锦鸡儿截获的粉尘能为灌木基部的土壤补给一部分养分；再者，小叶锦鸡儿属于豆科灌木，具有固 N 根瘤菌，因此，对土壤全 N 的富集率较高。

表 2 距灌木基部不同距离处 0~20cm 土层的土壤化学性状

Tab. 2 Comparisons of chemical properties in soils (0~20 cm) under shrub canopies with those at 2m distances from the shrub canopy

灌木种	距灌丛距离 (m)	有机质 (%)		全 P (%)		速效 P (mg/kg)		全 N (%)	
		Mean+SD	E	Mean+SD	E	Mean+SD	E	Mean+SD	E
小叶锦鸡儿	0	0.23±0.05a	1.44	0.016±0.002a	1.23	9.01±1.60a	1.16	0.014±0.003a	1.40
	2	0.16±0.04b		0.013±0.002b		7.75±2.00b		0.010±0.002b	
差巴嘎蒿	0	0.15±0.05a	1.25	0.011±0.001a	1.10	6.20±1.95a	1.36	0.013±0.001a	1.18
	2	0.12±0.03b		0.010±0.001b		4.57±1.42b		0.011±0.002b	
黄柳	0	0.12±0.02a	1.20	0.013±0.001a	1.08	3.34±1.27a	1.11	0.007±0.002a	1.17
	2	0.10±0.02b		0.012±0.001a		3.02±1.23a		0.006±0.002b	

表中 E 为土壤养分富集率。

另外, 从灌木基部及周围同一取样距离处 NE、SE、SW 和 NW 四个方向土样的化学性状看, 只有有机质含量在每一灌木的四周有很微小的差异 (表 3), 表现为 SE 和 NE 方向略高于 SW 和 NW 方向。这是因为研究区风蚀季节的侵蚀风主要是 SW 风和 NW 风, 当侵蚀风流经灌木群落时, 会将灌木 SW 和 NW 方向的枯落物 (表 4) 吹走, 而在灌木的 SE 和 NE 方向沉落。枯落物量的这种再分配可能是导致灌木 SE 和 NE 方向的土壤有机质含量高于 SW 和 NW 方向的主要原因。

表 3 灌木周围土壤有机质 (%) 分布特征

Tab. 3 Characteristics of the distribution of organic matter (%) in soils (0~20 cm) around the shrubs

距灌木基部 距离 (m)	灌木种	SE	SW	NW	NE
		0	小叶锦鸡儿 差巴嘎蒿 黄柳	0.29 0.16 0.12	0.20 0.12 0.12
2	小叶锦鸡儿 差巴嘎蒿 黄柳	0.17 0.14 0.09	0.14 0.12 0.10	0.15 0.11 0.09	0.18 0.13 0.11

表 4 灌木周围枯落物 (g/m²) 分布特征Tab. 4 Characteristics of the distribution of surface litter mass (g/m²) around the shrubs

灌木种	距灌木基部 距离 (m)	SE	SW	NW	NE
		Mean+SD	Mean+SD	Mean+SD	Mean+SD
小叶锦鸡儿	0	606.9±20.4	290.0±76.5	271.3±72.8	404.9±107.9
	2	22.9±1.1	16.4±3.4	18.9±12.1	23.5±17.5
差巴嘎蒿	0	308.9±171.1	172.5±28.0	137.0±38.5	260.3±26.0
	2	0.7±0.1	0.2±0.1	0.4±0.2	1.2±0.5
黄柳	0	400.0±39.8	334.3±76.3	105.8±86.3	592.6±259.4
	2	82.1±70.6	0.8±0.8	1.5±1.5	2.5±0.3

4 小结与讨论

(1) 在研究区风沙活动期间, 沙地灌木在保护土壤免受风蚀方面, 有着草本植物无可比拟的功效。尽管小叶锦鸡儿、差巴嘎蒿和黄柳灌丛同当地的草本植物一样尚处在枯萎期, 但其在近地层的丛状分枝, 不仅能够覆盖一定面积的地表免遭风蚀, 而且作为地表非活动性障碍物的存在, 能够改变近地层的风速状况及风沙流结构^[1,9~11], 从而有效地截获大量跃移、蠕移的沙物质和悬移的粉尘堆积于灌木基部, 形成“灌木堆”。本研究发现:

① 研究区三种灌木阻固沙尘的生态效应有所差异, 其中小叶锦鸡儿阻固沙尘的能力最强, 单株灌木的积沙(尘)量为 0.49m^3 , 是差巴嘎蒿和黄柳的 3 倍和 16 倍。据前人测定, 新疆艾比湖覆盖度大于 40% 的人工沙拐枣种群第四年的平均积沙(尘)量可达 $3\text{m}^3/\text{株}$ ^[1]。以往已有研究证实, 灌木阻固流沙的功效与覆盖度有关, 当植被覆盖度达 40~50% 时, 风沙流中 99% 以上的沙粒可被阻截沉积^[1]。基于此, 研究区人工飞播构建的固沙灌木植被尚需采取补植措施提高覆盖度, 以充分发挥灌丛阻固沙尘的功效。

② 同种灌木阻固沙尘的风积效应也有差异, 主要由灌木的冠幅直径不同所致。相关分析结果显示, 灌木的冠幅直径、基部分枝数、分枝直径都对灌木阻固流沙的功能有着显著的影响。其中, 冠幅直径对积沙(尘)量的影响最大, 决定系数为 $0.18\sim 0.58$ ($P < 0.05$, $n=30$)。该结论对沙地灌木植物群落的经营管理有着重要的意义。

(2) 随着“灌木堆”的形成, 固沙灌木将沙漠景观廊道由相对“平直”变为“曲折”, 因此有利于吸收过境的物质“流”, 从而积累更多的养分^[9]; 另外, 灌木的小气候效应与“灌木茎流”和“灌丛雨”作用^[12]相叠加, 有效地改善了灌丛基部的水热条件, 从而加快了灌木枯落物以及阻截的风滚植物如猪毛菜等^[13]和其他枯草枯枝的分解, 使得灌木基部的土壤结构得以改善, 并富集大量的有机质和其他营养元素, 从而形成灌木“肥岛”, 而灌木“肥岛”是干旱生态系统中生物地球化学过程最为活跃的地方^[14]。本研究发现:

① 沙地灌木引起了风沙土壤物理性状的水平分异。在 0~20cm 土层内, 小叶锦鸡儿、黄柳和差巴嘎蒿基部土壤中的粗颗粒含量分别是距灌丛基部 2m 处相同土层的 37%、99% 和 79%, 细颗粒含量则分别是 2m 处的 1.2、1.2 和 1.4 倍; 土壤容重比 2m 处分别降低了 $0.08\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ 和 $0.02\text{g}/\text{cm}^3$ 。这种由灌丛引起的土壤粒径组成和容重等物理性状的水平分异特征表明, 灌木基部土壤的质地和结构正趋于良性化。

② 沙地灌木也引起了风沙土壤化学性状的水平分异。在 0~20cm 土层内, 小叶锦鸡儿、黄柳和差巴嘎蒿灌丛基部土壤中的有机质、全 P、速效 P 和全 N 分别比距灌丛基部 2m 处提高了 20~44%、8~23%、11~36% 和 17~40%, 表明三种灌木对土壤有机质、全 P、速效 P 和全 N 都有不同程度的富集作用, 尤其是对土壤有机质的富集作用更为明显。有学者认为, 土壤中有有机质的积累是导致土壤中其他元素积累的动力^[9], 本研究结果印证了这一观点。另外, 本研究中的一些结论也与前人的结论相近, 例如 Schlessinger 等^[15]发现, 美国西南部的 *Prosopis glandulosa* 和 *Larrea tridentata* 灌丛群落土壤 N、P 和有机 C 等在“肥岛”内的含量显著高于灌丛间的相同土层, 其中 0~30cm 土层有机 C 含量是灌丛间相同土层的 6 倍; 他们还发现, 离 *Prosopis glandulosa* 和 *Larrea tridentata* 灌丛中心距离越远, 土壤中有效 N 的含量越低。Charley 等^[16]也认为, 在北美沙漠中, 由于灌木植物的影响, 致使土壤中的 C、N、P 含量和土壤性质发生了空间变异。

三种灌木富集土壤养分的能力有所差异。在 0~20cm 土层内, 小叶锦鸡儿对土壤有机质和全 N 的富集率分别为 1.44 和 1.40, 明显大于差巴嘎蒿和黄柳。

③ 风向对灌木四周土壤物理结构的影响不明显, 而对土壤有机质含量的分布有着一一定的影响, 具体表现为灌丛 SE 和 NE 方向土壤的有机质含量略高于 SW 和 NW 方向。风向的这种作用主要是通过研究区风蚀季节的侵蚀风 SW 风和 NW 风引起的植物枯落物量在灌木不同方向的再分配而所致。李香真等^[9]在研究禁牧围栏内小叶锦鸡儿引起的土壤中营养元素的变异情况时发现, 风向能够影响土壤表层有机质的分布, 但他们认为风向的这种作用主要是通过影响灌丛周围不同方向的草本植物的分布形状而实现的。

根据上述研究结果, 仅从阻固流沙、防止风蚀、保育土壤的功效出发, 研究区流动沙地上建立人工固沙灌木植被时, 应以小叶锦鸡儿作为主栽树种, 且栽植密度不能太小。

参考文献:

- [1] 张奎壁, 邹受益. 治沙原理与技术. 北京: 中国林业出版社, 1990. 28~34.
- [2] 张宏, 史培军, 郑秋红. 半干旱地区天然草地灌丛化与土壤异质性关系研究进展. 植物生态学报, 2001, 25(3): 366~370.
- [3] Martinez-Meza E, Whitford W G. Stemflow, throughfall and channelization of stemflow by roots in three Chinhuahuan desert shrubs. Journal of Arid Environ., 1996, 32:271~287.
- [4] 刘新民, 赵哈林, 赵爱芬, 等. 科尔沁沙地风沙环境与植被. 北京: 科学出版社, 1996.
- [5] 中国科学院南京土壤研究所 编. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [6] 苏永中, 赵哈林, 张铜会. 几种灌木、半灌木对沙地土壤肥力影响机制的研究. 应用生态学报, 2002, 13(7):802~806.
- [7] 张华, 李锋瑞, 张铜会, 等. 科尔沁沙地不同下垫面风沙流结构及变异特征. 水土保持学报, 2002, 16(2):20~23.
- [8] 张华, 李锋瑞, 张铜会, 等. 科尔沁沙地人工杨树林生态服务效能评价. 应用生态学报. 2003. 14(10). 1591~1596.
- [9] 李香真, 张淑敏, 邢学荣. 小叶锦鸡儿灌丛引起的植物生物量和土壤化学元素含量的空间变异. 草业学报, 2002, 11(1):24~30.
- [10] 尤联元, 卢金发, 陈浩, 等. 以防沙治沙为目标的土地利用方式调整——以内蒙古自治区多伦县为例. 地理研究, 2003, 22(6):680~686.
- [11] 孙武, 李保生. 荒漠化分类分级理论的初步探讨. 地理研究, 1999, 18(3):225~230.
- [12] Whitford W G, Anderson J, Rice P M. Stem flow contribution to the "fertile island" effect in creosotebush, *Larrea tridentata*. Journal of Arid Environments, 1997, 35:451~457.
- [13] 台培东, 李培军, 贾宏宇, 等. 排土场边坡人工沙棘灌丛对风滚植物的固留作用及生态效应. 应用生态学报, 2001, 12(6):833~836.
- [14] Virginia R A, Jarrell W M, Whitford W G. Soil biota and soil properties in the surface rooting zone of mesquite (*Prosopis glandulosa*) in historical and recently desertified Chinhuahuan Desert habitats. Biology and Fertility of Soils, 1992, 14:90~95.
- [15] Schlesinger W H, Raikes, Hartley A E. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. Ecology, 1996, 77:364~374.
- [16] Charley J L, West N E. Plant-induced soil chemical patterns in some shrub-dominated semi-desert ecosystems of Utah. Journal of Ecology, 1975, 63:945~963.

Study on ecological effects of several shrubs on sandy soils in Horqin Sandy Land

ZHANG Hua¹, HE Hong¹, LI Feng-rui², ZHANG Hong-rong³

(1. College of Urban and Environment Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China;

2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China;

3. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In this study, we examined the pedoecological effects of three shrub species that occur generally in shifting, semi-shifting and semi-fixed sand lands in the Horqin Sandy Land. Several important conclusions were drawn from this study. (1) There were significant differences in the interception and retention of sand and aeolian dust among three shrub species. Of the three shrubs, the mean amount of the interception and retention of sand and aeolian dust per plant was the greatest (0.49 m^3) in *Caragana microphylla*, followed by *Artemisia halodendrom* (0.16 m^3) and *Salix gordejvii* (0.03 m^3). Regression analyses showed that the sediment amount of sand and aeolian dust per plant was positively and significantly correlated with its average canopy (accounting for 18-58% of the variance), branching number (accounting for 16-31% of the variance) and shoot diameter (accounting for 14-17% of the variance). (2) All three shrubs exhibited significant effects of "island of fertility", i. e. the soils under shrub canopies were significantly higher in nutrient availability than those beyond shrub canopies. Such effects may create a nutrient-rich substrate, thus providing a better environment for further invasion and establishment of other plant species on bare sandy land. The effects of "inland of fertility" varied markedly with the type of shrub species. Of the three shrubs examined, *Caragana microphylla* had the greatest "fertile island" effect, followed by *Artemisia halodendrom* and *Salix gordejvii*, largely because of significantly higher levels of organic matter, total N and available P in soils (0-20 cm) under the *Caragana microphylla* canopies than those under *Artemisia halodendrom* and *Salix gordejvii* canopies. Shrubs differed appreciably in accumulation efficiency of different nutrients. For example, the accumulation efficiencies of organic matter, total P, available P and total N in soils under shrub canopies averaged 1.20-1.44, 1.08-1.23, 1.11-1.36 and 1.17-1.40. (3) Wind direction appeared not to influence the spatial distribution of soil physical properties, but showed an effect on the spatial distribution of organic matter content. Organic matter contents in soils at the SE and NE directions of the shrubs were somewhat higher than the other directions.

Key words: shrubs; sand and dust retention; soil properties; nutrient enrichment; ecological effect