

沙地退化植被恢复过程中灌木发育 对草本植物和土壤的影响

左小安, 赵学勇, 赵哈林, 郭轶瑞, 李玉霖, 刘任涛, 毛伟

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所/奈曼沙漠化研究站, 甘肃 兰州 730000

摘要:应用野外调查和室内分析方法, 通过对科尔沁沙地沙丘固定和植被恢复过程中(流动、半流动、半固定和固定沙丘)灌丛内外草本植物的特征和土壤的理化性质分析, 研究了灌丛的发育对草本植物和土壤的影响。结果表明, 4种沙丘小叶锦鸡儿灌丛下植物的盖度、高度和密度显著高于灌丛外围, 由灌丛内向灌丛外呈现出明显下降的趋势。通过差巴嘎蒿、小叶锦鸡儿和冷蒿3种灌丛内、外的理化性质的对比分析表明, 沙地灌丛的形成对灌丛下土壤有机碳、全氮、全磷、有效氮和有效磷均有不同程度的富集作用, 特别是对土壤有机碳和全氮有明显的富集作用, 其大小顺序为小叶锦鸡儿>冷蒿>差巴嘎蒿; 小叶锦鸡儿灌丛对全磷和有效磷的富集作用明显大于其它灌木。这些结果表明在沙丘植被恢复过程中灌丛的发育具有明显的“保种”作用和“肥岛”效应, 促进了沙丘植物的侵入和土壤的进一步恢复。

关键词:灌木; 草本植物; 土壤特性; 影响作用

中图分类号: Q948.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 02-0643-05

我国北方沙丘的固定是沙地植被恢复的主要表现方式之一。当流动沙丘演变为半流动、半固定沙丘直至固定沙丘时, 能够适应风沙环境和沙埋的植物种不断侵入, 其中一些灌木、半灌木植物种在流动沙丘和半流动沙丘常常形成灌丛。沙埋的灌木、半灌木或灌丛沙堆的存在为其他植物种的生存提供了庇护, 在沙漠化逆转过程中发挥着重要的种源作用^[1]。此外, 在沙地环境中, 灌丛的形成、灌木对土壤养分的富集作用, 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^[2-3], 同时灌丛下养分聚积的程度可以反映出不同灌木种类对养分利用的状况和对土壤肥力的保护效应。已有研究表明, 在干旱地区灌丛的存在影响着土壤养分、水分和草本植物的分布及其特征, 从而产生了灌丛下植被与土壤的小尺度空间异质性^[4]。

科尔沁沙地是我国北方半干旱农牧交错带的典型代表区域。近代, 由于放牧、开垦和樵柴, 致使该区植被演替的顶级群落类型—疏林草原植被遭到破坏, 发生了不同程度的土地沙漠化^[5]。但由于该区具有 350~500 mm 的年降水量和良好的水热耦合条件, 在大量天然种源存在的情况下, 随着禁止放牧、开垦等良好保护措施的实施和治理, 科尔沁沙地的退化植被逐渐恢复, 沙漠化呈现出整体逆转的趋势^[6]。有关科尔沁沙地灌丛对土壤特性影响和草地封育对土壤与植物群落影响进行了研究已做了大量的工作^[1-2,7], 但对于沙丘植被恢复过程中

灌木发育对植被和土壤影响方面的研究还较少。本文选择科尔沁沙地退化植被恢复过程中出现的典型灌木及灌丛下植被和土壤为研究对象, 分析灌木的发育对退化植被恢复过程中的植被和土壤的影响作用, 为沙地退化植被的演替和恢复与重建提供理论依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于科尔沁沙地中南部的奈曼旗境内。地理位置 120°55'E, 42°41'N, 平均海拔 360 m。该区域属温带半干旱大陆性季风气候, 年均温 6.4 °C, ≥10 °C 年积温在 3 000 °C 以上, 无霜期约 150 d。年均降水量 364.6 mm, 主要集中在 6—8 月, 年均蒸发量 1 972.8 mm。土壤类型主要有风沙土、草甸土、沙质栗钙土和沼泽土。气候特征是冬、春季干旱, 多大风, 降雨集中在夏季, 水热同期, 有利于植物生长。地貌类型以流动和半流动沙丘、固定沙丘、缓平沙地、丘间低地和开阔的大片甸子地相间分布为特征。一些起伏的甸子地主要作为放牧草场和旱作农田。植被的斑块化分布和空间异质性较强, 优势植物种有沙蓬 *Agriophyllum squarrosum*、猪毛菜 *Salsola collina*、狗尾草 *Setaria viridis*、砂蓝刺头 *Echinops gmelini turcz*、冷蒿 *Artemisia frigida*、糙隐子草 *Cleistogenes squarrosa*、差巴嘎蒿 *Artemisia halodendron* 和小叶锦鸡儿 *Caragana microphylla* 等。

基金项目: 中国科学院西部之光人才培养项目; 国家自然科学基金项目(40601008); 国家重点基础研究发展计划项目(2009CB421303); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-431-3)

作者简介: 左小安(1978年生), 男, 助理研究员, 博士, 主要研究方向为干旱区生态格局与过程。E-mail: xazuo@126.com

收稿日期: 2009-01-03

1.2 研究方法

1.2.1 灌丛内外草本植物特征调查

在沙丘封育恢复区的流动沙丘、半流动沙丘、半固定沙丘和固定沙丘内选择冠幅大小相同的小叶锦鸡儿灌丛为研究对象。为了便于灌丛下植被特征调查,选取灌丛灌幅在 260 cm×310 cm~280 cm×330 cm 的个体较大的灌丛,从灌丛中心开始沿西北、西南、东北和东南四个方向设置 5 m 长的样线,以灌丛中心开始在每条样线的左侧分别在灌丛内(0.5、1.0、1.5 m)、边缘(2.0 m)和灌丛外(3.0 m、5.0 m)设置 50 cm×50 cm 样方,做辐射状远离母株顺序取样,调查灌丛内、外的草本植物的盖度、高度和多度特征。每个样地内同一冠幅大小的灌丛重复 3~5 个。

1.2.2 灌丛内外土壤特性取样及分析

在沙丘封育恢复区内,选择不同植被恢复和固定程度的沙丘内生长的优势灌丛,即流动、半流动沙丘内的差巴嘎蒿,半固定和固定沙丘的小叶锦鸡儿,固定沙丘和丘间低地的冷蒿 3 种灌木为研究对象。取样灌丛的形态特征和分布如表 1 所示。在研究样地,灌木种多呈随机性分散分布,冷蒿的分布间距一般为 3 m 作用,其余种为 5 m 作用。对于每种类型灌木,选择地形特征、冠幅、株高和生长情况基本一致的灌丛各 3 丛。分别在这四种灌丛内选取周围 3 m 以内无任何灌丛分布的、长势良好的灌木各 3 株,就每一株从东北(NE)、东南(SE)、西南(SW)、西北(NW)4 个方向,对距灌丛基部 0~10 cm(灌丛内部)和 2 m 处 0~10 cm 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。

按常规方法分别对土样测定 8 项理化指标:土壤机械组成(湿筛法)、土壤 pH 值(1:1 土水比悬

液酸度计测定)、土壤电导率(1:5 土水比浸提液测定)、土壤有机质(重铬酸钾容量法-外加热法)、土壤全氮(半微量凯氏定氮法)、土壤全磷(HClO₄-H₂SO₄消煮-钼锑抗比色法)、土壤碱解氮(碱解扩散法)和土壤速效磷(0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法)^[8]。

灌丛对土壤养分的富集作用采用富集率(Enrichment ratio) *E* 来反映^[2]: $E=A/B$, 式中 *A* 为灌丛基部 4 个方向 0~10 cm 层土壤的养分含量或灌丛根际土的养分含量, *B* 为 4 个方向距离灌丛基部 2 m 处 0~10 cm 层土壤的养分含量或灌丛全土的养分含量。*E*>1, 表示灌丛对土壤养分具有富集作用。锦鸡儿灌丛内外的植被特征应用 LSD 多重比较,采用 SPSS 13.0 for windows 软件完成。

2 结果与分析

2.1 灌丛内外草本植物特征的差异

由流动沙丘(表 2)、半流动沙丘(表 3)、半固定沙丘(表 4)和固定沙丘(表 5)小叶锦鸡儿灌丛内、外草本植物的丰富度、盖度、高度和密度特征变化可以看出,流动、半流动和半固定沙丘灌丛内植物的盖度、高度和密度明显高于灌丛外围,由灌丛内向灌丛外呈现出明显下降的趋势。这表明在这三个沙丘灌丛内草本生长状况较灌丛外要好,因而灌丛下植物在成熟时会提供更多的种子,一旦沙丘生境有所改善,植物种子就会从灌丛内向灌丛外扩散。在固定沙丘内,灌丛内外物种数差别不大,植被盖度和高度由灌丛内向向外减小,而植物密度由内向外逐渐增大,这表明流动沙丘随着封育固定,当沙丘趋于稳定时,经过灌丛内的物种长期向外扩散和周围物种的不断侵入和蔓延,灌丛内、外与周围草本植物的种类和密度就会逐步接近,随着沙丘灌丛外围生境的进一步改善,灌丛内的物种对资源

表 1 3 种灌木和半灌木的形态特征和分布

Table 1 Distribution and morphological traits of three kinds of shrub and subshrub

种类	Species	科属	高度/cm	冠幅/(cm×cm)	主要分布
差巴嘎蒿	<i>A. halodendron</i>	菊科半灌木	30~40	40×50~55×60	流动和半流动沙丘
小叶锦鸡儿	<i>C. microphylla</i>	豆科灌木	80~100	150×203~170×250	半固定和固定沙丘
冷蒿	<i>A. frigida</i>	菊科小灌木	40~60	30×50~42×58	固定沙丘或丘间低地

表 2 流动沙丘小叶锦鸡儿灌丛内外草本植物的数量特征变化

Table 2 Statistic characteristics of herbaceous plant in outside and inside shrub canopy of *C. microphylla* in mobile dune

m

群落特征	灌丛内			灌丛边缘	灌丛外围	
	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0
丰富度	2.50±0.50 ^a	2.75±0.82 ^a	3.00±0.00 ^a	2.50±0.50 ^a	2.50±0.50 ^a	2.00±0.00 ^b
盖度/%	22.00±5.35 ^a	24.00±10.98 ^a	35.00±11.22 ^b	16.00±4.55 ^c	9.75±7.14 ^d	6.25±2.25 ^e
高度/cm	35.27±12.55 ^a	16.83±4.90 ^b	23.83±7.93 ^c	15.96±6.37 ^b	11.38±8.27 ^d	9.25±6.45 ^d
密度/(株·m ⁻²)	45.00±20.56 ^a	59.00±20.12 ^b	91.00±31.40 ^c	39.00±29.04 ^a	30.00±28.56 ^d	34.00±29.76 ^d

注:同一特征同列中不同字母表示差异显著(*P*<0.01),以下同。

表 3 半流动沙丘小叶锦鸡儿灌丛内外草本植物的数量特征变化

Table 3 Statistic characteristics of herbaceous plant in outside and inside shrub canopy of *C. microphylla* in semi-mobile dune

m

群落特征	灌丛内			灌丛边缘	灌丛外围	
	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0
丰富度	2.00±0.82 ^a	3.25±0.50 ^b	3.50±0.58 ^b	3.25±0.96 ^b	3.25±0.96 ^b	2.00±0.00 ^a
盖度/%	56.75±5.65 ^a	47.50±13.77 ^b	32.50±10.60 ^c	21.50±11.56 ^d	17.00±12.52 ^c	18.50±4.35 ^c
高度/cm	59.58±18.40 ^a	33.54±14.15 ^b	27.83±9.71 ^c	21.58±13.82 ^d	16.46±14.23 ^e	17.05±8.14 ^e
密度/(株·m ⁻²)	118.00±26.80 ^a	91.00±30.07 ^a	63.00±22.40 ^b	40.00±22.28 ^c	23.00±19.20 ^d	42.50±20.10 ^e

表 4 半固定沙丘小叶锦鸡儿灌丛内外草本植物的数量特征变化

Table 4 Statistic characteristics of herbaceous plant in outside and inside shrub canopy of *C. microphylla* in semi-fixed dune

m

群落特征	灌丛内			灌丛边缘	灌丛外围	
	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0
丰富度	2.25±0.50 ^a	3.50±1.00 ^b	3.75±0.96 ^b	3.75±0.96 ^b	3.25±0.75 ^b	3.50±1.00 ^b
盖度/%	45.75±9.78 ^a	56.75±9.11 ^b	44.00±8.64 ^a	39.75±16.01 ^c	41.25±17.15 ^c	30.50±15.33 ^d
高度/cm	53.92±9.56 ^a	26.68±6.99 ^b	18.13±5.32 ^c	12.25±3.03 ^d	9.15±7.10 ^e	11.15±7.23 ^{de}
密度/(株·m ⁻²)	103.00±37.78 ^a	114.40±20.40 ^b	141.00±49.80 ^c	123.00±68.76 ^d	96.00±53.56 ^a	102.00±20.20 ^a

表 5 固定沙丘小叶锦鸡儿灌丛内外草本植物的数量特征变化

Table 5 Statistic characteristics of herbaceous plant in outside and inside shrub canopy of *C. microphylla* in fixed dune

m

群落特征	灌丛内			灌丛边缘	灌丛外围	
	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0
物种数	4.25±0.50 ^a	4.75±0.50 ^a	5.75±0.96 ^a	5.75±1.50 ^a	4.25±2.99 ^a	4.75±0.50 ^a
盖度/%	77.25±8.34 ^a	75.00±3.46 ^a	68.50±3.11 ^b	54.75±10.81 ^c	41.25±27.69 ^d	46.35±20.23 ^c
高度/cm	31.54±6.40 ^a	17.95±1.72 ^b	14.57±2.37 ^c	13.39±2.33 ^c	10.37±3.13 ^d	11.05±2.46 ^d
密度/(株·m ⁻²)	108.00±19.18 ^a	208.00±105.12 ^b	392.00±142.78 ^c	405.00±115.57 ^c	335.00±236.72 ^d	389.50±104.22 ^c

的竞争强于灌丛外围而产生“自疏现象”，而灌丛外植物个体间对土壤的水肥竞争较小，有利于植物的生存，所以有时灌丛内植物种的密度要低于外围。

2.2 沙地灌丛内外的土壤理化性质差异

不同灌丛内外的土壤化学性状及养分富集率如表 6 所示。由表可以看出，差巴嘎蒿、小叶锦鸡儿和冷蒿灌丛内、外的土壤中大部分养分特性值存在明显的差异 ($P<0.05$)，灌丛内有机碳、全氮、全磷、有效氮和有效磷均高于灌丛外围，表明 3 种灌丛对土壤有机碳、全氮、全磷、有效 N 和全 N 都有不同程度的富集作用，特别是对土壤有机碳和全氮有明显的富集作用，富集率值均超过了 1.65。小叶锦鸡儿和冷蒿灌丛对有效磷也有明显富集作用，

富集率均超过了 1.60。灌丛内外的与土壤盐分离子有关的土壤电导率 (EC)、土壤 pH 没有显著变化。从 3 种灌木对养分富集能力来看，对有机碳和全氮富集率均为小叶锦鸡儿>冷蒿>差巴嘎蒿，此外小叶锦鸡儿灌丛对全磷和有效磷的富集作用明显大于其它灌木。这主要是因为小叶锦鸡儿截获枯枝落叶、风蚀细颗粒和粉尘的能力较强的缘故，另外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。

从图 1 灌丛内外土壤的土壤机械组成可以看出，灌丛内、外土壤的粒径组成存在着微小的差异。由差巴嘎蒿、小叶锦鸡儿、冷蒿到小红柳灌丛，灌丛内的土壤中的粗、中砂粒 ($>0.25\text{ mm}$) 含量波

表6 不同灌丛内外土壤的化学性状比较

Table 2 Table 6 Comparisons of soil chemical properties in outside and inside shrub canopies

灌丛类型	部位	w(有机碳) (g·kg ⁻¹)	富集率 E_A	w(全氮) (g·kg ⁻¹)	富集率 E_A	w(全磷) (g·kg ⁻¹)	富集率 E_A	w(有效氮) (mg·kg ⁻¹)	富集率 E_A	w(有效磷) (mg·kg ⁻¹)	富集率 E_A	电导率 (μs·cm ⁻¹)	富集率 E_A	pH (H ₂ O)	富集率 E_A
差巴嘎蒿	灌丛外	1.40±0.12 ^a	2.03	0.12±0.05 ^a	1.67	0.07±0.01 ^a	1.13	9.00±0.74 ^a	1.26	3.46±0.04 ^a	1.11	22.74±6.49 ^a	1.18	7.54±0.18 ^a	1.03
	灌丛内	2.85±0.01 ^b		0.20±0.03 ^b		0.08±0.01 ^a		11.38±1.37 ^b		3.84±0.39 ^a		26.74±3.40 ^b		7.78±0.20 ^a	
小叶锦鸡儿	灌丛外	1.43±0.36 ^a	3.29	0.12±0.01 ^a	2.17	0.04±0.01 ^a	2.29	12.88±0.25 ^a	1.54	1.75±0.10 ^a	3.19	30.36±1.25 ^a	1.01	7.88±0.05 ^a	0.94
	灌丛内	4.69±0.57 ^b		0.26±0.04 ^b		0.09±0.02 ^b		19.78±5.50 ^b		5.58±1.84 ^b		30.68±1.25 ^a		7.43±0.07 ^a	
冷蒿	灌丛外	2.53±0.26 ^a	2.19	0.15±0.01 ^a	1.86	0.06±0.02 ^a	1.87	15.53±7.97 ^a	1.45	2.44±0.10 ^a	2.69	25.88±10.64 ^a	1.00	7.63±0.45 ^a	1.01
	灌丛内	5.52±1.20 ^b		0.28±0.10 ^b		0.10±0.01 ^b		22.47±4.81 ^b		6.57±1.44 ^b		25.88±3.49 ^a		7.70±0.40 ^a	

注：同一灌木种同一列中标有不同字母者为差异显著， $P<0.01$ 。

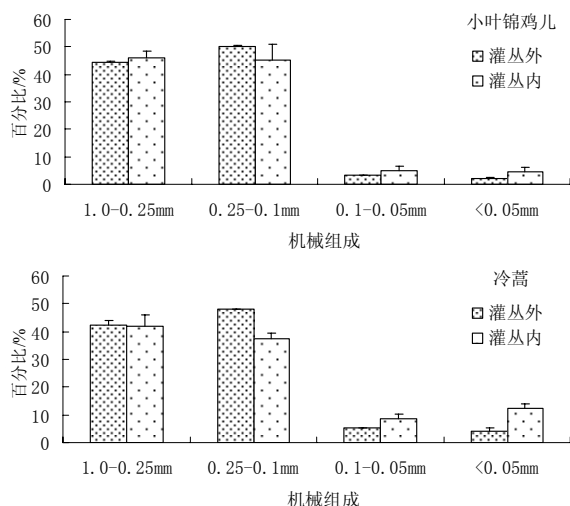


图1 不同灌丛内外土壤的机械组成比较

Fig. 1 Comparisons of soil particle size fractions in outside and inside shrub canopies

动减少,而细砂粒(0.10~0.05 mm)及粘粉粒(<0.05 mm)的含量有所增加。差巴嘎蒿、小叶锦鸡儿和冷蒿灌丛内的极细砂含量分别是灌丛外的1.17、1.50和1.63倍,粘粉粒分别是灌丛外的1.34、1.92和3.04倍,这些结果表明随着灌丛的形成和发育,灌丛内土壤颗粒呈现细粒化的趋势。

3 结论与讨论

在科尔沁沙地,差巴嘎蒿主要分布在流动和半流动沙丘,小叶锦鸡和冷蒿儿则是半固定、固定沙丘的优势种,3种灌丛类型之间的这种差异,既是其改善土壤养分能力的差异,也是灌丛形成发展过程中改良土壤的结果^[9]。通过对差巴嘎蒿、小叶锦鸡儿和冷蒿3种灌丛内外的理化性质研究表明,沙地灌丛形成对灌丛下土壤有机碳、全氮、全磷、有效氮、全氮和全磷都有不同程度的富集作用,特别是对土壤有机碳和全氮有明显的富集作用,这一研究结果与苏永中^[2]和张华^[10]等人的研究结果相似,证实了沙地灌木的“肥岛”作用。研究也表明灌丛内土壤颗粒呈现细粒化的趋势。随着“灌丛堆”的形成,固沙灌木将沙漠景观廊道由相对“平直”变得较为“曲折”,有利于吸收过境的物质“流”,从而积累更多的养分^[10]。Garner和Steinberger^[11]从氮的聚集机制出发,认为“肥岛”的形成是由于聚集养分功能的生物运输养分机制(诸如液流动、动物运动等)的作用大于以分散养分为主要功能物理运输机制(诸如分子扩散、水分流动、风运输等)的作用,从而造成干旱和半干旱生态系统中单株灌木或乔木下土壤氮资源的不断聚集,从而形成了“肥岛”现象。研究表明,灌丛下土壤养分的富集是植物、土壤和土壤生物之间复杂的相互作用的结果。灌丛对

土壤风蚀物质和凋落物的截获、沉积和分解,根系对养分的吸收、大气降尘、叶子的分泌物以及茎秆粗糙层中的微生物活动产物和其它物质均通过灌丛茎流和透灌雨输入土壤^[12-13]。

在风蚀作用极为强烈的科尔沁沙地,灌丛主要通过其自身凋落物及对周围风蚀物质的截获、沉积和分解以及根系的活动,在其下层土壤中积累了土壤养分,这种土壤养分的积累不仅形成了“肥岛”效应为自身的生存和繁衍创造了条件,也为草本植物在灌丛下的侵入、蓄积、生存提供了良好的条件。流动、半流动和半固定沙丘灌丛内植物的盖度、高度和密度明显高于灌丛外围,由灌丛内向灌丛外呈现出明显下降的趋势,灌丛内草本生长状况较灌丛外要好,因而灌丛下植物在成熟时会提供更多的种子,表明灌丛具有明显的“种源”作用。

当植物不能在裸露的流沙上定居时,由于灌木的保护减少了土壤的风蚀、改善了土壤条件,在灌丛内形成土壤水肥条件良好的植物生存环境,从而有利于草本植物在灌丛内的定居和恢复^[13]。此外,由于灌丛的“肥岛”效应,灌丛下新的土壤营养斑块形成,从而促进了土壤养分的异质性^[12,14]。因此,一旦沙丘风蚀减弱、生境条件有所改善,草本植物会依靠灌木下的“肥力岛”开始向灌丛外传播和散布,从而引起草本植物在沙丘上空间分布的差异性。在沙地植被恢复过程中,灌木植物对土壤环境条件的改善,是植物演替和恢复及其分异的一个重要机制。

参考文献:

- [1] ZHAO H L, ZHOU R L, SU Y Z, et al. Shrub facilitation of desert land restoration in the Horqin Sand Land of Inner Mongolia[J]. Ecological Engineering, 2007, 31: 1-8.
- [2] 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[J]. 应用生态学报, 2002, 13(7): 802-806.
SU Yongzhong, ZHAO Halin, ZHANG Tonghui. Influencing mechanism of several shrubs and subshrubs on soil fertility in Herqin Sandy Land[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(7): 802-806.
- [3] MARTINEZ-MEZ E, WHITFORD W G. Stem flow through fall and channelization of stem flow by roots in three Chinhuahuan deserts shrubs[J]. Journal of Arid Environments, 1996, 32: 271-287.
- [4] MAESTRE F T, CORTINA J. Remnant shrubs in Mediterranean semiarid steppes: effects of shrub size, abiotic factors and species identity on understory richness and occurrence[J]. Acat Oecologica, 2005, 27: 161-169.
- [5] 左小安, 赵学勇, 赵哈林, 等. 科尔沁沙地草地退化过程中的物种组成和多样性变化特征[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1): 181-185.
ZUO Xiao'an, ZHAO Xueyong, ZHAO Halin, et al. Changes on species composition and function diversity in degraded process of grassland in Horqin Sand[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006,

- 20(1): 181-185.
- [6] 王涛, 吴薇, 薛娟, 等. 近 50 年来中国北方沙漠化土地的时空变化[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 203-212.
- WANG Tao, WU Wei, XUE Xian, et al. Spatial-temporal changes of sandy desertified land during last 5 decades in Northern China[J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(2): 203-212.
- [7] LI F R, ZHAO L Y, WANG X Z. Effect s of enclosure of soil seed bank and plant community st ructure in sandy grassland of Horqin Sand Land[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2003, 12(4): 32-40.
- [8] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- LIU Guangsong. Description of Profile and Physico-Chemical Analysis of Soil[M]. Beijing: Chinese Standard Press, 1996.
- [9] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 沙漠化的生物过程及退化植被的恢复机理[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- ZHAO Halin, Zhao Xueyong, Zhang Tonghui, et al. Bioprocess of Desertification and Restoration Mechanism of Degraded Vegetation[M]. Beijing: Science Press, 1996.
- [10] 张华, 何红, 李锋瑞, 等. 科尔沁沙地灌木对风沙土壤的生态效应[J]. 地理研究, 2005, 24(5): 707-716.
- ZHANG Hua, HE Hong, LI Fengrui, et al. Study on ecological effects of several shrubs on sandy soils in Horqin Sandy Land[J]. Geographical Research, 2005, 24(5): 707-716.
- [11] GARNER W, STEINBERGER Y. A proposed mechanism for the formation of-Fertile Islands in the desert ecosystem[J]. Journal of Arid Environments, 1989, 16: 257-262.
- [12] WHITFORD W G, ANDERSON J, RICE, P. M. Stem flow contribution to the "fertile island" effect in creosotebush, *Larrea tridentate*[J]. Journal of Arid Environments, 1997, 35: 451-4571.
- [13] SHUMWAY S W. Facilitative effects of a sand shrub on species growing beneath the shrub canopy[J]. Oecologia, 2000, 124: 138-148.
- [14] ZHENG J, HE M, LI X, et al. Effects of *Salsola passerina* shrub patches on the microscale heterogeneity of soil in a montane grassland, China[J]. Journal of Arid Environments, 2008, 72: 150-161.

Effects of shrub on understory herbaceous plants and soil properties in the restoration processes of degraded vegetation in Horqin Sand Land

Zuo Xiaolan, Zhao Xueyong, Zhao Halin, Guo Yirui, Li Yulin, Liu Rentao, Mao Wei

Naiman Desertification Research Station//Cold and Arid Regions of Environmental and Engineering Research Institute,
Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Abstract: In order to understand the roles of shrubs in the restoration processes of degraded vegetation in semiarid areas, we investigated the effects of shrubs on soil properties and community characteristics of herbaceous plants in Horqin Sand Land, Northern China. Based on the field investigation and lab analysis, the plant community characteristics of herbaceous plants and soil physico-chemical properties in outside and inside shrub canopies were studied in the restoration processes of degraded vegetation (mobile dune, semi-mobile dune, semi-fixed dune and fixed dune). The results showed that the vegetation cover, plant height and density were higher in inside than outside of *Caragana microphylla* shrub in mobile dune, semi-mobile dune, semi-fixed dune and fixed dune, and community characteristics showed a declined trend from shrub inside to outside. The comparison of soil properties in outside and inside shrub canopies of *Artemisia halodendrom*, *Caragana microphylla*, *Artemisia frigida*, showed that the contents of soil organic carbon, total nitrogen and phosphorus, available nitrogen and phosphorus at 0~10 cm depth were higher in inside than outside shrub canopies, which suggests that the development of shrubs can enrich the soil nutrient under shrubs on dunes. These results suggest that the development of shrubs has an important role in protecting and restoring seed resource under shrubs and creates significant "islands of fertility", supporting the benign environment for herbaceous plants invasion and establishment under shrubs.

Key words: shrub; herbaceous plant; soil properties; effect