

怪柳 (*Tamarix* spp.) 和梭梭 (*Haloxylon ammodendron*) 的“肥岛”效应

李 君^{1,2}, 赵成义^{1,*}, 朱 宏^{1,2}, 王 锋^{1,2}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:灌丛“肥岛”是全球干旱生态系统中的普遍现象,其发生和发展对于干旱灌木、草原生态系统的结构和功能都具有重要影响,但其物种效应容易得到忽视。对准噶尔盆地南缘怪柳(*Tamarix* spp.)和梭梭(*Haloxylon ammodendron*)这两种不同地表形态灌木的冠下、冠缘和灌丛间地3种生境的土壤进行了采样、分析,结果表明:(1)怪柳和梭梭都存在“肥岛”现象,主要表现在土壤表层,其土壤性状与“岛”外土壤的差异随土壤深度增加而减弱;(2)生物性限制土壤养分由“岛”内向外梯度递减,而非生物性限制土壤要素可能高于、也可能低于“岛”外土壤,或者两者无显著差异;(3)从“肥岛”的空间尺度来看,怪柳“肥岛”的水平范围可能超出了本身冠幅覆盖区,而梭梭“肥岛”要小于本身冠幅覆盖区,其深度亦小于怪柳“肥岛”;(4)相对于不同土壤要素而言,即使是同一物种,其“肥岛”也具有不同的空间范围。总的来看,研究区灌丛“肥岛”的发育具有明显的物种效应,相对梭梭而言,怪柳“肥岛”发育更广、更深,养分聚集更明显,其原因主要是怪柳的半球型树冠更利于保护和捕获凋落物,而较多的凋落物输入与土壤结构和土壤养分间的正反馈机制使怪柳冠下加速的生物地球化学循环能达到更广、更深的范围。灌丛“肥岛”的发育是干旱景观中生物过程与物理过程交互作用的产物,全面揭示其形成机理,探讨其对干旱生态系统结构、功能与动态的影响,需要更系统的研究。

关键词:怪柳;梭梭;肥岛;土壤性状;绿洲-荒漠过渡带

文章编号:1000-0933(2007)12-5138-10 中图分类号:Q143 文献标识码:A

Species effect of *Tamarix* spp. and *Haloxylon ammodendron* on shrub ‘fertile island’

LI Jun^{1,2}, ZHAO Cheng-Yi^{1,*}, ZHU Hong^{1,2}, WANG Feng^{1,2}

1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 10049, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(12): 5138 ~ 5147.

Abstract: Shrub fertile island' is a common feature worldwide in arid regions, and it greatly influences the structure and function of the arid ecosystems. However, the shrub fertile island' is species dependent. To examine the species effect on this phenomenon, soils were sampled from canopied area, vertically projected limit of crown margin and interspace between shrubs in *Tamarix* spp. and *Haloxylon ammodendron* Bge. communities at an oasis-desert ecotone in south Junggar Basin. Soil samples were analyzed for texture, pH, soil organic matter (SOM), total nitrogen (TN), available nitrogen (AN),

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40571011);中国科学院知识创新工程资助项目(20042077,20052099)

收稿日期:2006-10-26; **修订日期:**2007-01-19

作者简介:李君(1975~),男,湖南嘉禾人,博士生,主要从事干旱区生态学研究. E-mail: lijun@ms.xjb.ac.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zcy@ms.xjb.ac.cn

致谢:岳红霞高级实验师帮助分析了土壤化学性质,在此深表感谢!

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40571011) and Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (No. 20042077 and No. 20052099)

Received date:2006-10-26; **Accepted date:**2007-01-19

Biography: LI Jun, Ph. D., mainly engaged in arid ecology. E-mail: lijun@ms.xjb.ac.cn

calcium carbonate (CaCO_3) and total phosphorus (TP). Results indicate that (1) fertile islands' develop both under *Tamarix* and *H. ammodendron* canopies, with the differences of soil properties between islands' and interspaces decreasing with depth; (2) there are gradients in biologically-limiting nutrients from islands' toward interspaces, whereas the biologically-unlimited elements are more or less or equally distributed in islands' relative to interspaces; (3) in terms of the spatial scale, islands' of *Tamarix* spp. may extend out of the canopied area while islands' of *H. ammodendron* are relatively smaller and more shallow than that of *Tamarix* spp.; (4) spatial sizes of the islands' for different soil indices vary even for the same shrub species. In conclusion, *Tamarix* islands' have more nutrients enriched, larger area and greater depth in comparison to that of *H. ammodendron*. These differences are greatly due to the different morphologies of the two species, with the hemispheroidal crowns of *Tamarix* spp. more efficiently capturing and maintaining litter. As a result, the positive feedbacks among higher litter input, soil structure and nutrient storage make the accelerated biogeochemical cycling reach a greater spatial extent under *Tamarix* spp. To thoroughly clarify the development mechanism and role of the shrub 'fertile island' in the arid ecosystem, however, is of great challenge and needs further work.

Key Words: *Haloxylon ammodendron*; *Tamarix* spp.; fertile island; soil property; oasis-desert ecotone

在干旱半干旱区,土壤资源在生物、非生物过程作用下富集于灌丛周围,使土壤养分由灌丛向外逐步递减,从而形成灌丛“肥岛(fertile island)”,这种现象已在不同干旱生态系统得以证实^[1~5]。研究表明,“肥岛”的形成是诸多过程长期作用的结果,这些过程包括灌丛下加速的生物地球化学循环^[6]、侵蚀和沉积过程^[2, 7]、树干径流^[8]、火烧和干旱干扰以及动物排泄^[9]、过渡放牧^[10]等。“肥岛”的形成改变了土壤资源的空间格局,而在资源胁迫的干旱生态系统中,土壤资源(如 N)是影响植被结构、功能和动态的主要限制性因子^[11],因而势必对植被产生重要影响。如灌丛“肥岛”的发育一方面抑制了草本植物的生产力,另一方面又促进了灌丛自身的扩张,这种反馈机制加速了北美干旱草原荒漠化进程^[12]。“肥岛”虽是土壤小尺度空间异质性的表现,但对于干旱区大尺度植被格局具有重要影响^[13],因而“肥岛”现象在干旱区生态领域深受关注。

有关灌丛“肥岛”的研究主要集中在北美^[14],我国内蒙古草原、鄂尔多斯高原等地区近期也相继报道了此现象^[15~19],进一步说明了灌丛“肥岛”在干旱区的普遍性^[20]。然而,正是这种普遍性使“肥岛”的种间差异容易得到忽视^[21]。而证据表明,灌丛“肥岛”的发育存在物种效应,其发育程度与灌木的生命周期、形态特征等有关^[3, 22]。梭梭(*Haloxylon ammodendron*)和柽柳(*Tamarix* spp.)是准葛尔盆地南缘的优势种,它们都是落叶灌木,但形态特征差异显著,梭梭为具有明显主干的“Y”型树冠,而柽柳为多枝、半球状树冠。由于灌丛“肥岛”的发育程度和空间尺度都与生物量的空间格局相关^[14],而植物的形态特征是决定生物量空间格局的重要因子^[21]。因此,这两种形态特征差异显著的灌木可能通过影响生物量的空间格局而造成其“肥岛”效应的差异。本文研究了准噶尔盆地南缘柽柳和梭梭周围土壤属性的空间格局,目的是要验证灌丛“肥岛”发育的物种效应,这对胁迫景观中土壤资源格局与植被格局关系的深入理解、有效的生态管理和生态恢复等方面具有重要意义。

1 研究区概况

研究区位于天山中部北麓的三工河流域绿洲与古尔班通古特沙漠之间的绿洲-荒漠过渡带($87^{\circ}49' \sim 87^{\circ}54'E$, $44^{\circ}09' \sim 44^{\circ}22'N$),海拔 450 ~ 500 m,地貌上表现为山前冲击平原向固定沙丘过渡。该区属大陆性干旱气候,平原区和沙丘区年均降水量分别为 187.5mm 和 132mm,且 70% 的降水集中在春夏两季。年蒸发潜力则超过 2000 mm。年均温为 4 ~ 6℃,但夏季炎热,最热月(7 月份)均温达 32.6℃;冬季严寒,最冷月(1 月份)均温约 -21.8℃。该区有一长达 100 余天的积雪覆盖期,通常始于每年 11 月末,消融于翌年 3 月中旬,土壤则要在 4 月中下旬才能完全解冻^[23]。

研究区南侧冲积平原区地带性土壤为灰漠土,北侧沙丘区则主要为风沙土。植被为自然植被,主要由耐盐、耐碱和耐旱种构成,包括梭梭、柽柳、琵琶柴(*Reaumuria soongorica*)、碱蓬(*Suaeda acuminata*)、角果藜

(*Ceratocarpus arenarius*)、叉毛蓬(*Petrosimonia sibirica*)和猪毛菜(*Salsola arbuscula*)等,此外还有一些短命植物^[24]。梭梭是北部沙丘区植被的建群种,密度约 900 株/hm²,盖度约 15%;怪柳则是平原区的优势种之一,其密度约 800 株/hm²,盖度约 20%。在绿洲-荒漠过渡带,怪柳群落和梭梭群落呈犬牙交错分布,为在相似环境中验证灌丛“肥岛”的物种效应提供了天然实验场。

2 研究方法

2.1 样品采集

土壤样品用土钻法采于 2005 年 7 月。沿绿洲-荒漠过渡带选取成年怪柳和梭梭各 10 株进行取样,对每一取样对象分为 3 种生境,即冠下(离灌木中心或基茎约 20 cm)、冠缘(树冠边缘在地表的垂直投影位置)和灌丛间地。考虑到灌丛对土壤的影响可能超出树冠覆盖区^[25],灌丛间地样品采于距离冠缘 >1.5 m 的空地,同时确保该采样点距离其他灌丛冠缘 >1.5 m。对每一灌木的每一生境,以 10 cm 为间距,采样至 50 cm 深度,共采集样品 2×10×3×5=300 个。采样梭梭和怪柳的平均株高分别为 2.37 m 和 1.62 m,平均冠幅分别为 2.18 m×2.16 m 和 2.35 m×2.27 m(NS×WE)。

采集土样前,先收集采样灌丛冠下、灌丛间地的地表凋落物,然后在 60℃ 恒温下烘 48 h 后称重。同时用环刀法测量了这两种生境 0~10 cm 土壤的容重。

2.2 土壤理化分析

分析项目包括土壤机械组成、pH、电导率(EC)、土壤有机质(SOM)、全氮(TN)、速效氮(AN)、碳酸钙(CaCO₃)和全磷(TP)。土壤机械组成采用 Mastersizer2000 激光粒度仪(Malvern 公司,英国)分析,其结果从 0.2 μm 至 2000 μm 划分为 100 个粒级,按国际标准划分为砂粒(50~2000 μm)、粉粒(2~50 μm)和粘粒(<2 μm)3 种组分(土壤机械组成只分析了冠下和灌丛间地 0~10 cm 和 10~20 cm 样品)。土壤 pH 采用电位法、EC 采用电导法测定;SOM 采用重铬酸钾法;TN 采用凯氏法,用全自动氮素分析仪 Analyzer1035(Tecator 公司,瑞典)测定;AN 采用碱解蒸馏法;CaCO₃采用气量法测定;TP 采用硫酸-高氯酸消煮-钼锑抗比色法测定。以上所有土壤化学性质都参照中国生态系统研究网络(CERN)规范^[26]测定。

2.3 数据分析

分别对梭梭和怪柳不同生境相同深度土壤属性进行差异性检验。如果只是两种生境的比较,采用配对 *t* 检验;3 种生境的比较则采用单因子方差分析(One-way ANOVA),如果 ANOVA 结果显著,再用最小平方差方法(LSD)对不同生境土壤属性两两对比进行差异性检验。对用%表示的土壤属性值,统计检验前先进行反正弦(Arc-sine)转换。所有统计分析均采用 SPSS 13.0(SPSS 公司,美国)完成。

3 结果与分析

3.1 土壤质地

土壤粒度分析结果(表 1)表明,在土壤表层 10 cm,除了怪柳冠下与灌丛间地粉砂差异不显著外,两种灌

表 1 怪柳和梭梭群落不同生境土壤质地对比

Table 1 Comparisons of soil particle fractions between canopied area (canopy) and interspaces between shrubs (interspace) in *Tamarix* spp. and *H. ammodendron* communities

土壤质地 Soil texture	深度 Depth (cm)	怪柳 <i>Tamarix</i> spp.			梭梭 <i>H. ammodendron</i>		
		冠下 Canopy	灌丛间地 Interspace	配对 <i>t</i> 检验 Paired <i>t</i> -test	冠下 Canopy	灌丛间地 Interspace	配对 <i>t</i> 检验 Paired <i>t</i> -test
粘粒(<2 μm) Clay (%)	0~10	6.62±0.27	7.85±0.30	3.24*	7.89±0.11	6.33±0.29	4.32**
	10~20	7.16±0.32	7.32±0.26	0.32NS	7.13±0.17	6.61±0.31	1.67NS
粉粒(2~50 μm) Silt (%)	0~10	61.25±1.22	63.56±0.43	1.94NS	57.25±0.76	52.14±0.75	4.19**
	10~20	63.82±0.74	64.31±0.50	0.74NS	54.97±0.97	53.51±0.54	1.58NS
砂粒(50~2000 μm) Sand (%)	0~10	32.12±1.23	28.58±0.58	2.93*	34.87±0.74	41.53±0.77	6.05**
	10~20	29.02±1.03	28.37±0.57	0.62NS	37.90±0.93	39.87±0.79	1.87NS

* *P* < 0.05; ** *P* < 0.01; NS not significantly different

丛不同生境各种土壤粒级都呈显著性差异($P < 0.05$),而在 10 ~ 20 cm 深度,两种灌丛不同生境各种土壤粒级都不存在显著性差异($P > 0.05$),说明灌丛对周围土壤机械组成的影响不超过 20 cm。值得指出的是,两种灌丛不同生境表层 10 cm 土壤质地的格局截然相反,即在柽柳冠下,土壤粗粒组分(砂)高、细粒组分(粘土和粉砂)含量则低于灌木间地;梭梭正好与之相反,冠下土壤细粒组分含量高、砂含量低。

3.2 土壤容重和地表凋落物

如图 1(b) 所示,两种灌木不同生境土壤容重亦呈现不同的空间格局。柽柳冠下表层土壤容重显著($P < 0.05$)低于其周围灌丛间地,而梭梭冠下稍高于灌丛间地,但这种差异不显著($P > 0.05$)。这说明柽柳冠下表层土壤相对于其灌丛间地具有较高的空隙度和渗透性,梭梭冠下与灌丛间地则差异不明显。

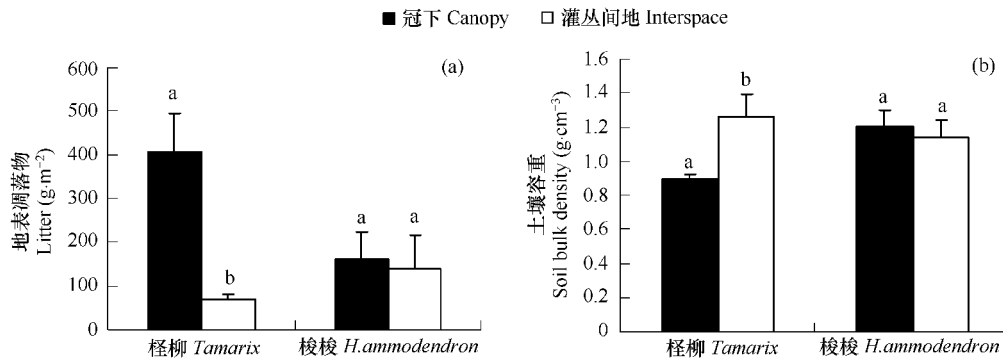


图 1 柽柳和梭梭冠下与灌丛间地地表凋落物(a)以及 0 ~ 10 cm 土壤容重(b)的对比

Fig. 1 Comparisons of soil bulk density and soil surface litter under canopies and at interspaces for *Tamarix* spp. and *H. ammodendron* communities

不同生境地表凋落物的空间分布在柽柳和梭梭群落中同样存在不同的格局。如图 2(a) 所示,柽柳冠下地表单位面积凋落物远多于灌丛间地,前者几乎是后者的 6 倍(分别为 406.5 g m^{-2} 和 70.0 g m^{-2}),而梭梭冠下与其灌丛间地则差异不显著($P > 0.05$)。

3.3 土壤化学属性的空间变化

3.3.1 柽柳群落

在柽柳群落中,除了 CaCO_3 和 TP 外,不同生境所测其他土壤化学性质都呈表层差异大、深层差异小的趋势(图 2)。具体来说,柽柳冠下土壤 pH 值在 0 ~ 20 cm 深度都显著($P < 0.05$)低于冠缘和灌丛间地,20 ~ 50 cm 冠下与冠缘差异不再显著,但在 20 ~ 30 cm 和 40 ~ 50 cm 还显著($P < 0.05$)低于灌丛间地;冠缘和灌丛间地则在整个 0 ~ 50 cm 都不存在显著差异(图 2(a),表 2)。SOM 从冠下向外明显梯度递减,这种梯度从土壤表层向下逐步减弱,具体表现在 SOM 曲线从上至下逐步靠拢(图 2(b)),在统计上表现在 0 ~ 10 和 0 ~ 20 cm SOM 从冠下经冠缘向灌丛间地逐步显著($P < 0.05$)递减;在 20 ~ 50 cm,冠下和冠缘 SOM 差异不再显著,两者都显著($P < 0.05$)高于灌丛间地(表 2)。TN(图 2(c))和 SOM 在不同生境中存在相似的空间格局,只在 40 ~ 50 cm 存在微小的差异,即冠缘和另外两种生境的差异都不显著(表 2)。AN 在统计上表现出与 SOM 完全一样的格局(表 2),即在 0 ~ 20 cm 从冠下向外显著($P < 0.05$)递减,在 20 ~ 50 cm 冠下和冠缘差异不显著,两者都与灌丛间地差异显著($P < 0.05$)。但图 2(d)表明灌丛间地 AN 在 50 cm 依然远低于冠下和冠缘,说明 AN 在灌丛下的聚集效应能达到更深的土层。 CaCO_3 在不同土壤深度呈现不同格局(图 2(e)):在 0 ~ 20 cm,由冠下向外逐步增加,冠下显著($P < 0.05$)低于灌丛间地,但冠缘与这两种生境的差异都不显著;在 20 ~ 30 cm,3 种生境间无显著差异;在 30 ~ 50 cm,冠下显著($P < 0.05$)低于其他两种生境。TP 在 0 ~ 50 cm 都呈由冠下向外梯度递减的趋势(图 2(f)),但只有 20 ~ 40 cm 的冠下和灌丛间地存在显著差异($P < 0.05$)。

以上分析结果表明,柽柳灌丛与灌丛间地土壤化学性质的差异随土壤深度增加而趋于减弱,说明灌丛对其周围土壤的影响主要在表层。这种趋势尤其表现在体现土壤养分的 SOM、TN 和 AN 3 种属性上,它们由灌丛向外逐步递减,说明灌丛对土壤养分具有聚集效应,表现出明显的“肥岛”特征。不同生境养分差异随深度

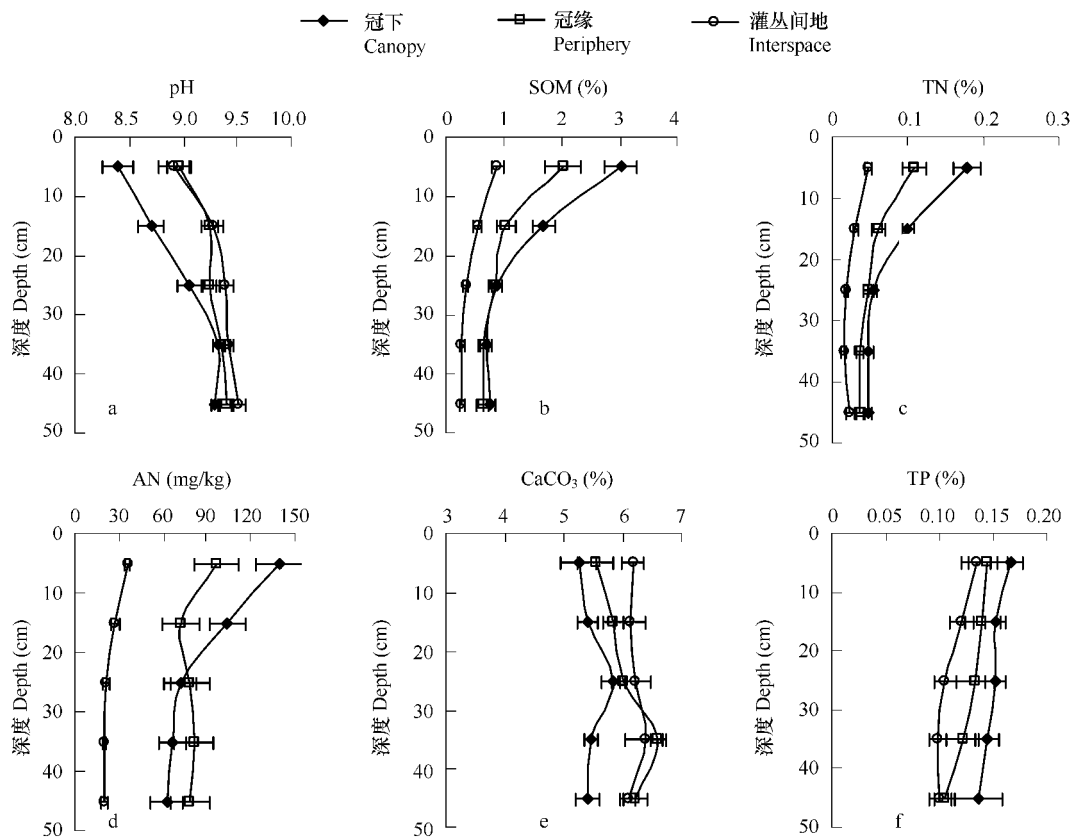


图2 柽柳群落中不同生境0~50 cm土壤化学属性空间变化

Fig. 2 Spatial variations of chemical properties of 0~50 cm soil at various microhabitats in *Tamarix* spp. community

增加而变小,某些(如TN)指标到一定深度后不再差异显著,说明“肥岛”现象随深度而逐渐变弱,其空间范围随着深度的增加而变小,直至消失。就柽柳而言,“肥岛”的深度可达50 cm,因为在40~50 cm,冠下SOM、TN和AN依然显著($P < 0.05$)高于灌丛间地;冠缘SOM、TN和AN在0~20 cm深度都显著($P < 0.05$)高于灌丛间地,说明其水平范围可能超出了冠幅覆盖范围,因为土壤性状由“岛”内向外的变化是一种渐变过程^[25]。不同指标在3种生境不同深度的差异检验结果有所差异,表明相对于不同的养分指标而言,即使是同种灌丛,“肥岛”的空间范围也不一样。

3.3.2 梭梭群落

梭梭群落中不同生境土壤化学性状空间特征(图3)与柽柳群落相比差异明显。土壤pH在整个0~50 cm都是冠下显著高于其他两种生境,且不随土壤深度增加而变化(图3(a)、表2)。SOM的格局(图3(b)、表2)随土壤深度变化明显,在0~30 cm都是冠下显著高于($P < 0.05$)冠缘和灌丛间地,后两种生境则差异不显著;在30~40 cm为冠下和冠缘显著高于($P < 0.05$)灌丛间地;40~50 cm则是冠下显著($P < 0.05$)高于灌丛间地,冠缘与其他两种生境的差异都不显著。出乎意外的是,3种生境土壤TN在整个0~50 cm都不存在显著差异(表2)。AN的变化与在柽柳群落中相似,即从上至下差异逐渐变小(图3(e)),不同的是,不同生境的显著性差异($P < 0.05$)只存在于0~30 cm,在水平方向上表现为冠缘和灌丛间地低于冠下。 CaCO_3 和TP的空间变化也与柽柳群落差异明显,梭梭群落中不同生境土壤这两种指标在整个采样深度都不存在显著差异。

3.3.3 柽柳和梭梭群落的对比

上述结果表明,两种群落中不同生境土壤化学性状的空间变化的差异明显,这种差异表现在3个方面:(1)柽柳群落中所有所测指标在不同生境都表现出不同程度的显著性差异($P < 0.05$),而梭梭群落中不同生境一些指标(如TN、 CaCO_3 和TP)在整个采样深度的差异都不明显;(2)在水平方向上,柽柳冠下养分聚集的

表 2 柽柳和梭梭群落中不同生境土壤化学性质的单因子方差分析

Table 2 One-way ANOVA of soil chemical properties at various shrub microhabitats (canopied area (canopy), canopy periphery (periphery) and interspaces between shrubs (interspace)) in *Tamarix* spp. and *H. ammodendron* communities

土壤属性 Soil parameters	土壤层次 Soil layer (cm)	柽柳 <i>Tamarix</i> spp.			梭梭 <i>H. ammodendron</i>		
		冠下 Canopy	冠缘 Periphery	灌丛间地 Interspace	冠下 Canopy	冠缘 Periphery	灌丛间地 Interspace
pH 值 pH	0 ~ 10	a	b	b	a	b	b
	10 ~ 20	a	b	b	a	b	b
	20 ~ 30	a	ab	b	a	b	b
	30 ~ 40	a	a	a	a	b	b
	40 ~ 50	a	ab	b	a	b	b
有机质 SOM	0 ~ 10	a	b	c	a	b	b
	10 ~ 20	a	b	c	a	b	b
	20 ~ 30	a	a	b	a	b	b
	30 ~ 40	a	a	b	a	a	b
	40 ~ 50	a	a	b	a	ab	b
总氮 TN	0 ~ 10	a	b	c	a	a	a
	10 ~ 20	a	b	c	a	a	a
	20 ~ 30	a	a	b	a	a	a
	30 ~ 40	a	a	b	a	a	a
	40 ~ 50	a	ab	b	a	a	a
碱解氮 AN	0 ~ 10	a	b	c	a	b	b
	10 ~ 20	a	b	c	a	b	b
	20 ~ 30	a	a	b	a	b	b
	30 ~ 40	a	a	b	a	a	a
	40 ~ 50	a	a	b	a	a	a
碳酸钙 CaCO ₃	0 ~ 10	a	ab	b	a	a	a
	10 ~ 20	a	ab	b	a	a	a
	20 ~ 30	a	a	a	a	a	a
	30 ~ 40	a	b	b	a	a	a
	40 ~ 50	a	b	b	a	a	a
总磷 TP	0 ~ 10	a	a	a	a	a	a
	10 ~ 20	a	a	a	a	a	a
	20 ~ 30	a	ab	b	a	a	a
	30 ~ 40	a	ab	b	a	a	a
	40 ~ 50	a	a	a	a	a	a

同群落中同一土层不同字母表示相应指标在不同生境显著差异 ($P < 0.05$) Different letters imply significant difference between shrub microhabitats at $P < 0.05$ by LSD post hoc test after ANOVA

空间范围可能超出了冠幅覆盖区,而梭梭的养分聚集范围小于冠幅覆盖区,因为柽柳群落中冠缘表土 SOM、TN 和 AN 都显著 ($P < 0.05$) 高于灌丛间地,而梭梭群落中即使在土壤表层,冠缘和灌丛间地的 SOM 和 AN 差异也不显著;(3) 在垂直方向上,柽柳的养分聚集效应比梭梭能达到更深的土层,如 AN 在柽柳群落不同生境 50 cm 深度还存在显著差异 ($P < 0.05$),而梭梭群落中 30 cm 以下差异不再明显。这些差异说明研究区灌丛“肥岛”的发育具有明显的物种效应,相对于梭梭而言,柽柳“肥岛”发育得更广、更深,聚集的养分要素更多。

4 讨论

灌丛“肥岛”是灌丛及其产生的非生物环境的总体,“岛”中不仅土壤养分较高,在土壤质地、微气候等方面也异于灌丛间地^[27]。Klemmenson 和 Barth 以 TN 为指标构建的“肥岛”空间结构表明“肥岛”为一倒立的近似锥体:在水平方向上从灌丛中心向外土壤 TN 含量递减,这种趋势深度增加而减弱,到约 40 cm 深度后

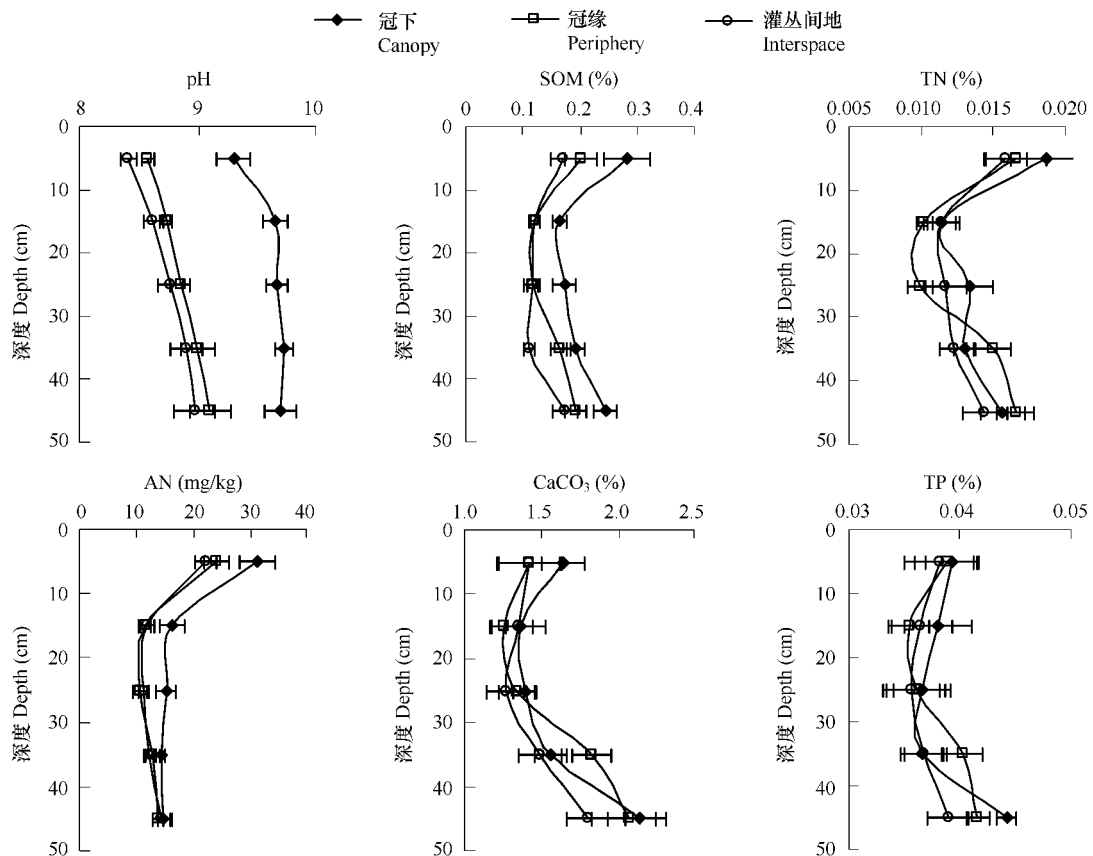


图3 梭梭群落中不同生境0~50 cm土壤化学属性空间变化

Fig. 3 Variations of chemical properties of 0~50 cm soil at various microhabitats in *H. ammodendron* community

“肥岛”消失^[28]。结果表明柽柳和梭梭冠下与灌丛间地土壤性状的差异随深度加深而变小,尤其是与植物密切相关的SOM、TN和AN,说明柽柳和梭梭“肥岛”在空间形态上和Klemmenson和Barth构建的“肥岛”结构基本一致。结果进一步证实,“肥岛”的发育具有物种效应,两种灌丛“肥岛”的差异明显:其一,不同土壤要素在“肥岛”的空间格局可能随物种而异,如柽柳冠下土壤细粒组分含量、pH均小于灌丛间地,梭梭则正好相反;其二,“肥岛”的空间尺度随物种而异,如柽柳“肥岛”在土壤表层可能超出了本身冠幅覆盖的范围,而梭梭则小于本身冠幅覆盖范围。此外,即使是同一物种,“肥岛”的空间尺度也可能随土壤指标而异,如在梭梭冠下,SOM的“肥岛”深度达到了50 cm,而相对AN而言,其深度只有30 cm。

多数研究表明干旱半干旱区灌丛“肥岛”土壤比灌丛间地含有较多的细粒组分和较少的粗粒组分^[29~31],但也曾见相反的报道^[2, 25]。本文研究结果表明柽柳和梭梭周围土壤质地正好呈相反的格局,前者冠下粗粒组分多,后者细粒组分多,暗示着这两种灌木对其周围土壤性状的影响机制存在差异。通常,“肥岛”土壤在树冠的保护作用下而风蚀较弱,甚至由于树冠对风尘的捕获而导致一些细颗粒物沉积,且这些细颗粒物主要源自土壤养分最丰的表层,亦有利于增加“岛”中土壤养分^[3]。相反,几近裸露的灌丛间地表土在风的作用下损失细颗粒物,从而导致梭梭“肥岛”表土细粒组分多、粗粒组分少。依此原理,树冠比梭梭更密的柽柳应更能保护其下土壤和截获更多的风尘,柽柳“肥岛”相应地应有更多的细粒组分,而事实正好与此相反。这说明柽柳冠下表层土壤质地分异存在二次过程。一种可能是春季大量雪融水和夏季偶发性暴雨造成的淋溶作用把柽柳冠下表层土壤的细粒组分搬到了较深土层,其证据在于冠下土壤细粒组分随深度而增加,灌丛间地正好相反(表1);冠下土壤的低容重(图1(b))意味着高渗透性,亦为这种可能提供了佐证。

土壤pH值和土壤质地类似,在两种灌丛“肥岛”中呈相反的格局。事实上,“肥岛”土壤pH值高、低或与

灌丛间地相似的结果都曾见报道^[3, 4, 5, 32], 说明冠下土壤 pH 值不仅受灌丛覆盖的影响, 也可能受其他环境因子的影响更大^[33]。怪柳和梭梭都是泌盐种, 冠下凋落物输入带来的盐分积累应会导致较高的 pH 值。野外观察表明, 该区土壤盐碱含量强烈受土壤水最丰的融雪期间的土壤蒸发影响。由于树冠的遮蔽效应, 怪柳冠下蒸发较弱, 表土的盐碱聚集相对较少, 而灌丛间地在盐碱较重的地段甚至可见白色疏松的盐碱层, 冠下和灌丛间地土壤界线非常明显。梭梭由于枝条稀疏(此时尚未发芽), 遮蔽效应不明显, 周围土壤则不见此现象。这可能是导致该两种灌丛“肥岛”pH 值相反格局的主要原因。

干旱生态系统的一大特征就是土壤养分水平低, 特别是 N, 被认为是限制植物生长的资源^[34]。一些生物学上受限制的养分要素(指源于凋落物的营养元素, 如 N), 一旦通过根系吸收到植物体内, 就会通过循环(凋落物、微生物分解和固定)使之得以保存^[35]。Cross 和 Schlesinger 认为在资源胁迫的干旱生态系统中植被对生物性限制养分要素的循环过程的控制作用明显, 而非生物性限制要素主要受环境因子的控制, 从而使这些要素在“岛”内和“岛”外或高或低, 或者无显著差异^[36]。本文研究结果表明土壤质地、pH 在不同灌丛下呈相反的格局, CaCO₃ 和 TP 也不如 SOM、TN 和 AN 那样由灌丛中心向外呈明显的梯度递减, 从而验证了 Cross 和 Schlesinger 的理论。从两种群落中土壤质地不同格局来看, 非生物性限制要素的格局取决于灌丛与风、水等因子复杂的交互作用。梭梭群落中 TN 由灌丛向外的梯度变化虽然明显, 在统计学上却差异不显著, 这也说明梭梭的“肥岛”效应不如怪柳明显。

干旱半干旱区灌丛“肥岛”的发育程度随干旱程度增加而增加^[6], 本文研究的怪柳和梭梭取样于环境是相似的绿洲-荒漠过渡带, 因此, 这两种灌木“肥岛”的差异只能用物种效应来解释。凋落物是土壤有机质最主要的来源^[37], 在荒漠生态系统中则扮演着土壤碳、氮动态控制者的角色^[38]。怪柳冠下地表凋落物高于灌丛间地数倍, 而梭梭冠下与灌丛间地的差异不显著(图 1(a)), 可见这两种灌木“肥岛”的差异因归因于凋落物输入量的差异。怪柳冠下较高的凋落物输入一方面可以加强对冠下表土的机械保护, 另一方面可以增加降雨截流和提高表土的生物活性^[2]。进而土壤颗粒与 SOM 的结合导致了土壤颗粒间结合力、团聚体稳定性、孔隙度以及土壤渗透能力的增加^[39], 这使怪柳冠下所谓加速的生物地球化学循环^[6]能达到更深的土层。反之, 土壤结构的改善更有利于土壤养分的保存, 从而形成一种正反馈机制使“肥岛”发育更深、更广和积累更多养分。梭梭冠下地表凋落物、表土土壤容重与灌丛间地的差异都远不如怪柳群落中明显(图 1), 说明其冠下上述反馈机制不明显。

Ludwig 等认为在干旱半干旱区斑块状植被景观中, 植物覆盖区是土壤资源的“汇”斑块, 植物间裸地则为“源”斑块^[40]。显然, 在他们的理论中灌丛“肥岛”就是“汇”。“源”斑块土壤资源在风、水、重力、动物搬运等外力作用下向“汇”斑块运动, 而“汇”斑块获取土壤资源的能力则取决于斑块中的植物特征。怪柳为多枝、半球状树冠, 冠底紧贴地表, 这种形态有利于捕获和保持凋落物; 而梭梭树冠呈“Y”型, 且枝叶比较稀疏, 这种形态使其冠下凋落物容易被风搬运到其他地方^[2]。正如图 1(a) 所示, 怪柳和梭梭群落中凋落物分布格局截然不同, 前者主要集中在“汇”区, 而后者在“源”和“汇”区几乎呈对等分布。由此可见, 怪柳和梭梭由于地表形态的差异而影响了作为土壤养分源的凋落物的空间格局, 从而导致了这两种灌木“肥岛”不同程度的发育, 这与 Hirobe 等在毛乌素沙漠发现匍匐状灌丛下土壤的 SOM 和 TN 聚集效应更明显的结果相似^[16]。当然, 怪柳和梭梭不同地表形态的影响不仅体现在凋落物空间格局上, 对土壤水分运移、土壤微生物活动、群落内小尺度侵蚀/堆积过程等方面的作用也是显然的, 这些过程对灌丛“肥岛”的发育亦具有不同程度的影响。深入揭示这种影响, 对进一步增进对于干旱半干旱区生物地球化学循环、甚至干旱生态系统的结构、功能及其动态的理解都具有重要意义。

5 结论

通过对准噶尔盆地南缘三工河流域绿洲-荒漠过渡带怪柳和梭梭两种群落内不同生境土壤空间差异分析, 探讨了灌丛“肥岛”发育的物种效应, 获得了以下认识:

怪柳和梭梭都存在“肥岛”现象, 且在土壤表层表现最明显, “岛”中土壤性状与灌丛间地的差异随土壤深

度增加而减弱;

生物性限制土壤养分由“肥岛”向外梯度递减,而“肥岛”非生物性限制土壤要素可能高、也可能低于“岛”外土壤,或者两者无显著差异,其格局取决于灌丛(直接或间接)与风、水等因子复杂的交互作用;

在空间尺度上,相对于不同土壤要素而言,即使是同一物种,其“肥岛”也具有不同的广度和深度。就柽柳和梭梭来看,柽柳“肥岛”的水平范围可能超出了本身冠幅覆盖区,而梭梭“肥岛”要小于本身冠幅覆盖区,其深度亦小于柽柳“肥岛”,说明柽柳对周围土壤的改造能力相对更强;

综合来看,研究区灌丛“肥岛”的发育具有明显的物种效应。相对梭梭而样,柽柳“肥岛”发育更广、更深,养分聚集更明显,其原因主要是柽柳的半球型树冠更利于保护和捕获凋落物,而较多的凋落物输入与土壤结构和养分间的正反馈机制使柽柳冠下加速的生物地球化学循环能达到更广、更深的范围;

灌丛“肥岛”的发育是树冠与多种环境因子交互作用的产物,全面揭示其形成机理,探讨它对于旱生态系统结构、功能与动态的影响,需要更系统研究。

Reference:

- [1] Schlesinger W H, Raikes J A. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. *Ecology*, 1996, 77(2): 364—374.
- [2] Bochet E, Rubioand J L, Poesen J. Modified topsoil islands within patchy Mediterranean vegetation in SE Spain. *Catena*, 1999, 38(1): 23—44.
- [3] Wezel A, Rajot J L, Herbrig C. Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agro-ecosystems in semi-arid Niger. *J. Arid Environ.*, 2000, 44(4): 383—398.
- [4] Titus J H, Nowak R S, Smith S D. Soil resource heterogeneity in the Mojave Desert. *J. Arid Environ.*, 2002, 52(3): 269—292.
- [5] Hagos M G, Smit G N. Soil enrichment by *Acacia mellifera* subsp. *detinens* on nutrient poor sandy soil in a semi-arid southern African savanna. *J. Arid Environ.*, 2005, 61(1): 47—59.
- [6] Garner W, Steinberger Y. A proposed mechanism for the formation of fertile islands' in the desert ecosystem. *J. Arid Environ.*, 1989, 16: 257—262.
- [7] Zaady E, Offer Y Z, Shahchak M. The content and contributions of deposited aeolian organic matter in a dry land ecosystem of the Negev Desert, Israel. *Atmospheric Environment*, 2001, 35(4): 769—776.
- [8] Martinez-Meza E, Whitford W G. Stemflow, throughfall and channelization of stemflow by roots in three Chihuahuan Desert shrubs. *J. Arid Environ.*, 1996, 32(3): 271—287.
- [9] Chew R M, Whitford W G. A long-term positive effect of kangaroo rats (*Dipodomys spectabilis*) on creosotebushes (*Larrea tridentata*). *J. Arid Environ.*, 1992, 22(4): 375—386.
- [10] Kieft T L, White C S, Loftin S R. Temporal dynamics in soil carbon and nitrogen resources at a grassland-shrubland ecotone. *Ecology*, 1998, 79(2): 671—683.
- [11] Aguiar M R, Sala O E. Patch structure, dynamics and implications for the functioning of arid ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*, 1999, 14(7): 273—277.
- [12] Schlesinger W H, Reynolds J F, Cunningham G L, *et al.* Biological feedbacks in global desertification. *Science*, 1990, 247(4946): 1043—1048.
- [13] HilleRisLambers R, Rietkerk M, Van den Bosch F, *et al.* Vegetation pattern formation in semi-arid grazing systems. *Ecology*, 2001, 82(1): 50—61.
- [14] Hook P B, Burke I C, Lauenroth W K. Heterogeneity of soil and plant N and C associated with individual plants and openings in North American shortgrass steppe. *Plant Soil*, 1991, 138(2): 247—256.
- [15] Liu F M, Jin Y, Zhang X J. Preliminary study on “fertile island” effect about *Haloxylon Ammodendron*. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1999, 13(3): 86—88.
- [16] Hirobe M, Ohte N, Karasawa N, *et al.* Plant species effect on the spatial patterns of soil properties in the Mu-us desert ecosystem, Inner Mongolia, China. *Plant Soil*, 2001, 234(2): 195—205.
- [17] Su Y Z, Zhao H L, Zhang T H. Influencing mechanism of several shrubs and subshrubs on soil fertility in Keerqin sandy land. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(7): 802—806.
- [18] Bai Y F, Xu Z X, Li D X. On the small scale spatial heterogeneity of soil moisture, carbon and nitrogen in *Stipa* communities of the Inner Mongolia Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1215—1223.

- [19] Chu Y, Yang H L, Zhu X W, *et al.* Spatial heterogeneity of *Caragana microphylla* shrub communities in the Otindag Sandland. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(12): 3294—3300.
- [20] Crawford C S, Gosz J R. Desert ecosystems: their resource in space and time. *Environmental Conservation*, 1982, 9(3): 181—195.
- [21] Vinton M A, Burke I C. Interactions between individual plant species and soil nutrient status in shortgrass steppe. *Ecology*, 1995, 76(4): 1116—1133.
- [22] Stock W D, Dlamini T S, Cowling R M. Plant induced fertile islands as possible indicators of desertification in a succulent desert ecosystem in northern Namaqualand, South Africa. *Plant Ecology*, 1999, 142(1-2): 161—167.
- [23] Huang P Y, Pan W B, Li H T, *et al.* The feedback of desert plants on the spatial pattern of snowmelt in Zhunger Basin. *Acta Phytocologica Sinica*, 1992, 16(4): 346—353.
- [24] Zhang L Y, Chen C D. On the general characteristics of plant diversity of Gurbantunggut sandy desert. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1923—1932.
- [25] Dunkerley D. Hydrologic effects of dryland shrubs: defining the spatial extent of modified soil water uptake rates at an Australia desert site. *J. Arid Environ.*, 2000, 45(2): 159—172.
- [26] Li G S. Soil physical and chemical analysis and description of soil profiles. Beijing: Standards Press of China, 1996.
- [27] Reynolds J F, Virginia R A, Kemp P R, *et al.* Impact of drought on desert shrubs: Effects of seasonality and degree of resource island development. *Ecological Monographs*, 1999, 69(1): 69—106.
- [28] Klemmedson J O, Barth R C. Distribution and balance of biomass and nutrients in desert shrub ecosystems. US/IBP Desert Biome Res. Memo. 75-5. Logan: Utah State University Press, 1975. 18.
- [29] Brisson J, Reynolds J F. The effect of neighbors on root distribution in a creosotebush (*Larrea tridentata*) population. *Ecology*, 1994, 75(6): 1693—1702.
- [30] Whitford W G, Anderson J, Rice P M. Stemflow contribution to the 'fertile island' effect in creosote bush, *Larrea tridentata*. *J. Arid Environ.*, 1997, 35(3): 451—457.
- [31] Eldridge D J, Robson A D. Bladeploughing and exclosure influence soil properties in a semi-arid Australian woodland. *J. Range Manage.*, 1997, 50(2): 191—197.
- [32] Palmer A R, Crook B J C, Lubke R A. Aspects of the vegetation and soil relationships in the Andries Vosloo Kudu Reserve, Cape Province. *S. Afr. J. Bot.*, 1988, 54(4): 309—314.
- [33] Imhoff S, da Silva A P, Tormena C A. Spatial heterogeneity of soil properties in areas under elephant-grass short-duration grazing system. *Plant Soil*, 2000, 219(1-2): 161—168.
- [34] Day A D, Ludeke K L. *Plant Nutrients in Desert Environments*. Heidelberg: Springer-Verlag, 1993. 39—43.
- [35] Caldwell M M, Richards J H. Hydraulic lift, water efflux from upper roots improves effectiveness of water uptake by deep roots. *Oecologia*, 1989, 79(1): 1—5.
- [36] Gross A F, Schlesinger W H. Plant regulation of soil nutrient distribution in the northern Chihuahuan Desert. *Plant Ecology*, 1999, 145(1): 11—25.
- [37] Meentemeyer V, Box E O, Thompson R. World patterns and amounts of terrestrial plant litter production. *Bioscience*, 1982, 32(2): 125—128.
- [38] Zaady E, Groffman P, Shachak M. Litter as a regulator of N and C dynamics in macrophytic patches in Negev desert soils. *Soil Biol. Biochem.*, 1996, 28(1): 39—46.
- [39] Oades J M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma*, 1993, 56(1-4): 377—400.
- [40] Ludwig J A, Tongway D. The Conservation of Water and Nutrients within Landscapes, in: Ludwig J A, Tongway D, Freudenberger D, *et al.* *Landscape Ecology Function and Management: Principles from Australia's Rangelands*. Collingwood: CSIRO publishing, 1997.

参考文献:

- [15] 刘发民, 金燕, 张小军. 梭梭林“肥岛”效应的初步研究. *干旱区资源与环境*, 1999, 13(3): 86—88.
- [17] 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*, 2003, 13(7): 802—806.
- [18] 白永飞, 许志信, 李德新. 内蒙古高原针茅草原群落土壤水分和碳、氮分布的小尺度空间异质性. *生态学报*, 2002, 22(8): 1215—1223.
- [19] 初玉, 杨慧玲, 朱选伟, 等. 浑善达克沙地小叶锦鸡儿灌丛的空间异质性. *生态学报*, 2005, 25(12): 3294—3300.
- [23] 黄培祐, 潘伟斌, 李海涛, 等. 准葛尔盆地荒漠灌丛对融雪水空间分布的反馈初探. *植物生态学与地植物学学报*, 1992, 16(4): 346—353.
- [24] 张立运, 陈昌笃. 论古尔班通古特沙漠植物多样性的一般特点. *生态学报*, 2002, 22(11): 1923—1932.
- [26] 刘光崧. *土壤理化分析与剖面描述*. 北京: 中国标准出版社, 1996.