

民勤绿洲-荒漠过渡带植被梯度特征及其土壤水环境*

马 瑞¹ 王继和^{2**} 屈建军¹ 刘虎俊² 孙 涛² 魏林源²

(¹ 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙漠与沙漠化重点实验室, 兰州 730000; ² 甘肃省治沙研究所, 兰州 730000)

摘 要 民勤绿洲-荒漠过渡带的植被和土壤水环境随着与绿洲距离的增加具有明显的空间异质性,在景观分异角度沿绿洲至荒漠方向可划分为4个区段。本文研究了各景观区段上的植被特征以及各区段丘间地及灌丛沙包土壤水分特征。结果表明:过渡带植被总盖度约为36%,灌木盖度为18.7%,草本盖度为18.0%,物种丰富度为19。区段1至区段4,物种组成、植被盖度、优势种、建群种均表现出与各区段立地条件相适应的特征,呈现出大灌木→草本→小灌木→草本的格局,对应的地貌呈现出固定→半流动→半固定→流动的格局。各区段丘间地土壤含水量垂直分布差异较大,5~60 cm为降水主要持水层;因弱透水层的出现,区段1至区段3在60~180 cm含水量出现了第二次波动,水分在弱透水层上的积累为地上植物的生存提供了重要的补给。沙包内土壤含水量从区段1到区段3显著减少。

关键词 内陆河流域;绿洲-荒漠过渡带;景观;区段;梯度分析

中图分类号 P941;Q948 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2010)6-1075-06

Vegetation gradient characteristics and soil water environment of oasis-desert transitional zone in Minqin. MA Rui¹, WANG Ji-he², QU Jian-jun¹, LIU Hu-jun², SUN Tao², WEI Lin-yuan² (¹*Key Laboratory of Desert and Desertification, Cold and Arid Regions Environment and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*; ²*Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou 730000, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, **29**(6): 1075–1080.

Abstract: The vegetation and soil water environment in Minqin oasis-desert transitional zone have obvious spatial heterogeneity with the increasing distance from oasis, and can be divided into 4 sections, according to the differentiation of landscapes. This paper studied the vegetation features in each of the sections, and the soil water features in the inter-dunes and shrub islands in the sections. In the transitional zone, the total coverage was about 36%, shrub coverage was 18.7%, and herbal coverage was 18.0%. The species richness was 19. From section 1 to section 4, the species composition, vegetation coverage, dominant species, and constructive species all exhibited the features corresponding to the stand conditions of each section, with a pattern of large shrub→herb→shrub→herb. Accordingly, the geomorphology showed the pattern of fixed→semi-shifting→semi-fixed→shifting. There were obvious differences in the vertical distribution of soil water content among the sections, and 5–60 cm soil layer was the main rainwater retention layer. Due to the occurrence of aquiclude, the soil water content appeared a second fluctuation in 60–180 cm soil layer from section 1 to section 3. The water accumulation above the aquiclude was an important supplementary to the aboveground vegetation. The soil water content in the dunes from section 1 to section 3 decreased obviously.

Key words: inland river basin; oasis-desert transitional zone; landscape; section; gradient analysis.

* 国家“十一五”科技攻关项目(2006BAD26B08)、甘肃省重大专项(0702NKDH030)和甘肃省省开发专项资助项目(0805TCYH027)。

** 通讯作者 E-mail: wjh318@126.com

收稿日期: 2009-12-28 接受日期: 2010-03-20

景观边界是在特定时空尺度下,相对均质的景观之间所存在的异质性景观或过渡区域(Weins *et al.*, 1985; 常禹等, 2002; 肖笃宁等, 2003; 李丽光等, 2006), 绿洲-荒漠过渡带作为景观边界之一, 是介于绿洲与荒漠之间的半荒漠植被区, 是以水为主导因子的环境梯度产生的植被梯度现象(潘晓玲, 2001), 在本质上是水资源空间再分配的结果(赵成义等, 2001)。一般来说, 受水环境影响, 植被在绿洲内部及荒漠比较稳定, 但在绿洲-荒漠过渡带的环境因子变化中分异特征明显, 在景观上表现出环状分布的特征(刘虎俊等, 2006)。

民勤绿洲地处石羊河下游。近50年来, 民勤绿洲-荒漠过渡带的植被类型发生了巨大的变化, 伴随着地下水位下降, 土壤干旱化加剧, 导致其植被类型趋于旱化, 湿生和中生植物相继退化, 取而代之的是旱生和超旱生植物(杨自辉, 1999), 成为民勤环境演化最显著的指针。作为具有统一生态水文系统的石羊河流域各绿洲中最下游的一个绿洲, 民勤目前的环境状况对中上游绿洲的演化趋势具有极其重要的指示和预警意义, 在植被生长摆脱地下水绝对控制的现状下, 对其绿洲外围植被特征及其土壤水环境的研究也就显得尤为重要。杨自辉和高志海(2000)通过定位观测对民勤绿洲外围降水和地下水对白刺群落消长的影响进行了研究; 王兵等(2002)应用同样的方法对民勤绿洲农业区外围土壤水分时空格局及动态规律进行了研究; 贾宝全等(2002a, 2002b)通过野外等距离调查的方法对民勤绿洲外围植被和与植被关系密切的灌丛沙包特征进行了研究, 并对过渡带土壤水分变化特征进行了初步分析; 马全林等(2006)根据民勤不同区段的水环境和农业生产特点对绿洲边缘怪柳荒漠林的时空变化及其驱动因素进行了研究; 杜建会等(2007)将民勤不同发育阶段的灌丛沙堆划分为雏形、发育、稳定和活化阶段, 在此基础上对不同发育阶段的灌丛沙堆的空间分布格局及水分特征进行了研究; 常兆丰等(2008)对民勤沙区主要植物群落退化特征及演替趋势进行了分析。综合而言, 这些研究成果对民勤绿洲-荒漠过渡带现阶段的环境状况有了较全面的认识, 但从景观分异的角度对过渡带植被特征及其土壤水环境的研究涉及并不多。本文在景观分异的基础上对过渡带的植被及其土壤水环境进行了分区段调查和梯度分析, 揭示形成植被分布格局的机理, 为制定区域植被保育措施提供理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

甘肃省民勤县(102°45'E—103°55'E, 38°20'N—39°10'N)地处石羊河下游, 为腾格里与巴丹吉林两大沙漠前缘交汇区, 四周被沙漠、低山环绕, 依据水环境可分为坝区、泉山区、湖区、环河区。本调查采样区对应于坝区, 位于民勤绿洲通过黄蒿井沙带和沙井子沙带向巴丹吉林沙漠的过渡地带, 西北有流沙压境, 东南为民勤绿洲灌区, 是民勤生态演化中环境质量退化最为严重的区域。在地质构造上, 该区属阿拉善北山台地边缘凹陷, 长期以来, 经剥蚀、夷平和冲洪积作用, 形成厚度近百米的松散沉积物(朱震达等, 1980), 为本区风沙地貌的形成和沙漠化的发展提供了充足的沙源。在植被类型上, 属民勤湖盆绿洲外围白刺(*Nitraria tangutorum*)集中分布带, 主要包括白刺灌丛沙堆、其他固定和半固定沙丘以及粘土为主的丘间低地。天然优势植物为白刺, 也分布有少量短穗怪柳(*Tamarix laxa*)、沙蒿(*Artemisia arenaria*)以及蒙古沙拐枣(*Calligonum mongolicum*), 另外也有20世纪60年代人工栽植的部分梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)等植物。该区属温带荒漠气候, 多年平均气温7.6℃, 年平均风速2.4 m·s⁻¹, 盛行风向为西北风, 多年平均降水量为116 mm, 蒸发量为2380 mm。据民勤治沙站水位观测数据显示, 20世纪60年代初, 调查区地下水位为1~3 m, 现已降至22 m以下。

1.2 调查方法

1.2.1 样地描述及空间取样设计 在野外踏查的基础上, 根据植被特征及不同宽度样带所包含的信息量, 在研究区沿绿洲至荒漠(东南-西北)方向选取典型的样带作为调查对象, 样带总宽度约为500 m, 长600~750 m, 依据景观分异特征, 从绿洲边缘至荒漠将样带横向划分为4个区段, 依次是: 绿洲边缘区; 植被衰亡、沙丘活化区; 白刺沙包集中分布区; 流沙与过渡带交接区, 对各区段植被及对应的土壤水分进行调查取样。

1.2.2 植被调查 植被调查采用样方法, 理论上样方的大小取决于群落的最小面积, 最小面积依据植物种-面积曲线确定。实地踏查表明, 大多数种群为随机分布, 但有少数种群为聚集型分布, 因此, 调查采取多样方调查对植被特征进行统计, 并对样方

外偶见种另行统计。调查时间选择在植被形态及结构相对稳定的8月份。

在4个区段内各取10 m×10 m大小的样方8~10个,样方间距不小于30 m,对样方内灌木及出现较少的草本植物进行每木调查,对出现较多的草本植物采取5点法固定5个小样方对其进行调查。调查记录内容包括:(1)灌木种类、密度、高度、冠幅、死枝与活枝比例;(2)草本植物的种类、密度、高度、冠幅、盖度;(3)柽柳沙包和白刺沙包的高度、尺寸、裸沙率、生物结皮情况;(4)记录样区及周围的基本情况,主要有地貌、群落范围、优势种植物、植物健康状况、目估盖度等。

以上,植被密度调查以样方为单元,即100 m²内的灌丛数(丛·100 m⁻²)或株数(株·100 m⁻²)为各自的密度,分盖度值(%)为样方内各植物种冠幅与样方面积之比。灌木盖度计算公式: $C = \pi XY/4$,式中, X 和 Y 分别为十字交叉法所测得的冠幅长短轴。草本盖度通过探针法结合目估获得。

1.2.3 土壤取样及含水量测定 丘间地土壤取样:在各区段沿过渡带走向的中间位置分别选取一个采样点,在各样点挖取土壤剖面,根据弱透水层或隔水层的出现深度,剖面深度在100~180 cm,将0~5 cm、5~20 cm各分为一土层,以下每20 cm为一土层,自下而上取土样,每一土层均匀取样,3个重复取其平均值。

沙包土壤取样:在各区段中部选取典型沙包,共5个样点,分别为:稳定的柽柳沙包、活化的柽柳沙包、发育的白刺沙包、稳定的白刺沙包、活化的白刺沙包,前两者对应的区域分别为区段1和区段2,后三者均位于区段3。由于植物主要通过须根、细根从土壤中吸收水分,而须根和细根的数量及埋深在沙包迎风面和背风面有很大不同(贾宝全等,2002),因此,在采样时,为了保证土壤环境的一致性,采样点均选择垂直于主风向的沙包侧位,在各沙包高度的2/3处取0~50 cm的土样,每10 cm为一土层,均匀取样,3个重复取其平均值。样品装入铝盒带回实验室,用烘干称重法测定土壤重量百分含水量,简称土壤含水量。

1.3 数据处理

对植被调查和土壤水分实验数据在Microsoft Excel 2003中建立数据库,分别统计计算不同区段的植被物种组成、盖度、多度及土壤含水量等,借助STDEV函数计算标准差。

2 结果与分析

2.1 植被特征

2.1.1 总特征 过渡带植被分布沿绿洲至荒漠方向分异明显,群落层片结构简单,以单层片占绝对优势。若以各区段盖度平均值作为过渡带盖度值,则过渡带灌木盖度为18.7%,草本盖度为18.0%,植被总盖度约为36%,物种丰富度为19。沿区段1至4在生活型特征上呈现出大灌木→草本→小灌木→草本的格局,在地貌上呈现出固定→流动→半固定→流动的格局。依据生活型将植物分草本和灌木2种类型。在区域尺度上,草本植物的分布受土壤质地和土壤水分的影响,例如,沙米(*Agriophyllum squarrosum*)几乎全部生长在流动沙丘和半固定沙丘上,而沙蒿则主要生长在平坦的覆沙地和较为低缓的流动沙丘和半固定沙丘上;在局部地段上,草本植物分布还受集水区和养分富集区的影响,在适宜区域,1年生植物生长相对旺盛。灌木分天然林和人工林。天然灌木种类较少,有柽柳、白刺、红砂(*Reaumuria songarica*)、蒙古沙拐枣和沙蒿,其中,柽柳、白刺和红砂分布相对较多,基本以沙包或小沙堆的形式存在,单株较少。现存的人工林多种植于60—70年代,主要为梭梭,其他如花棒、柠条(*Caragana korshinskii*)等人工林仅在局部区域有少量分布。

2.1.2 各区段特征 (1)区段1。可视为绿洲与过渡带交接区或交接带,在绿洲侧渗水补给下,植被生长相对良好,分布宽度在14~19 m,总物种丰富度为15,植被总盖度约为57%,灌木盖度为42.9%,草本盖度为14.5%(图1)。柽柳既是建群种又是优势种,盖度占灌木总盖度的72.3%,在绿洲边缘呈非连续性带状分布,部分区域缺失柽柳带或被柠条等其他人工植被取代。据研究,柽柳适宜生长的地下水位在为3.5~4.0 m(王芳等,2002),能勉强维持生长的水位应高于10 m(马全林等,2006),而目前研究区地下水远低于这一水位,因此,只有耕地边缘的柽柳得益于农田灌水盈余部分的侧渗而保持良好的生长状态,形成高度在1.2 m左右的沙包,沙包上柽柳盖度可达90%以上,但沙包发育停滞,大多处于稳定状态,个别沙包有活化迹象。丘间地灌丛“肥岛效应”(Garner & Steinberger,1989;Schlesinger *et al.*,1990,1996;许文强等,2006)突出,画眉草大量分布。此外,黄花矾松(*Limonium aureum*)、红砂、沙拐枣、白刺(沙包或单株)、猪毛菜(*Salsola ikonnikovii*)、

白茎盐生草 (*Halogeton arachnoideus*)、五星蒿 (*Bassia dasyphyua*)、碟果虫实 (*Corispermum patelliforme*)、芦苇 (*Phragmites communis*) 也是这一区段丘间地分布较广、较常见的植物种。

(2) 区段 2。为怪柳衰亡、沙包活化带, 宽度约 350 ~ 385 m, 总物种丰富度降低为 12, 草本盖度较区段 1 有所增加, 为 19.6%, 但灌木盖度不足区段 1 的 1/3, 仅为 12.1%, 其降低与怪柳的大面积死亡有直接关系 (怪柳盖度由区段 1 的 31.0% 降至区段 2 的 5.0%)。区段 2 与区段 1 的最大区别表现在两个方面: 一是沙包上怪柳的存活率急剧下降, 死枝占到 90% 以上; 二是灌丛沙包与丘间地相间分布的格局被打破, 裸露的流沙成为该区段的主要地貌类型。区段 2 的景观特点是: 怪柳沙包上残存的怪柳生长极差, 远离绿洲则仅有残存的死枝, 沙包表层土壤结皮大多已经完全破坏, 裸沙率达到 95% 以上, 沙包活化后以流沙形式存在, 沙包高度降低但水平分布范围扩大, 使得沙包间覆沙层增厚, 无明显的丘间地。在盛行风作用下, 活化沙包形成的就地起沙成为威胁绿洲边缘耕地的主要沙源。

(3) 区段 3。为白刺沙包集中分布带, 总物种丰富度为 15, 同区段 1 相比, 总丰富度一致, 但草本丰富度减少了 2, 灌木丰富度增加了 2, 增加的灌木为人工种植的梭梭和花棒。植被总盖度约为 26%, 草本盖度为 7.6%, 灌木盖度为 19.4%。由于白刺沙包的形成和不断的积沙过程紧密联系, 故白刺沙包密集区一般出现在靠近流沙的区域, 且沿主风向沙包上有明显的白刺长势及分布上的分异特征。沙埋机制是沙包发育及包上白刺不断更新的保证, 一旦沙包固定或缺少必要的沙埋, 白刺分蘖幼苗的条件就会遭到破坏, 进而老枝退化死亡、固定沙包活化, 成为新的流沙源。白刺沙包的沙埋式繁殖方式使得其在分布上没有明显的界限, 过渡带范围内凡是有流沙产生的地方, 在其下风向就会出现白刺沙包, 这使得白刺沙包分布带的宽度难以界定。

依据沙包的形态特征、土壤及白刺生长状况, 将白刺沙包定性的划分为 4 个阶段: 雏形阶段、发育阶段、稳定阶段和活化阶段 (Tengberg & Chen, 1998; 杜建会等, 2007)。调查表明, 不同阶段白刺沙包上白刺及土壤状况与沙包发育过程中的沙埋机制有关: 雏形阶段的白刺沙包多分布在较为空旷、周围沙包密度较低的区域, 沉积沙粒在沙包背风侧拖曳成沙舌, 使得沙包长度远远大于其宽度; 发育阶段的白刺

沙包多分布在沙源较为充足的区域的下风向, 其上即有风蚀又有风积, 裸沙率约为 50%, 沙包上白刺生长良好; 稳定的白刺沙包发育停滞, 沙面多为结皮所覆盖, 裸沙率不足 30%, 沙包上白刺盖度较大但长势较差; 活化阶段的白刺沙包处于消亡过程, 其上白刺活枝较少, 生长状态差, 一些沙包上白刺已全部枯死, 此外, 不同活化沙包上结皮的破坏程度不一, 使得裸沙率差异较大, 在 30% ~ 80%。

(4) 区段 4。可视为沙漠与过渡带交接区, 由于沙漠边缘的流动沙丘多是以单个的不规则穹状沙丘的形式存在, 使得交接区范围和宽度难以界定, 因其在沙丘背风侧的中下部及紧挨沙丘的区域呈现与白刺沙包集中分布区不同的植被特征, 故将其作为独立的区段进行分析。在这一区段, 丰富度降低至 8, 灌木仅存沙拐枣和梭梭; 植被总盖度约为 33%, 其中, 以沙米为主的草本盖度为 30.4%, 占总盖度的 89.4%, 说明该区植被盖度主要决定于 1 年生草本植物; 在流动沙丘下部, 群落层片结构简单, 几乎为单层片结构。

2.2 土壤水分

2.2.1 各区段丘间地土壤水分 从丘间地土壤含水量垂直变化来看 (图 2), 由于土壤表面干沙层的存在, 不同取样点在表层 0 ~ 5 cm 的土壤含水量均最低, 不足 1%。随着深度增加, 区段 1 和区段 2 的丘间地土壤含水量出现了两增两减的过程, 其中, 第一次波动是由于降水在下渗过程中在土壤中再分配的结果, 5 ~ 60 cm 成为下渗水的主要持水层, 而第

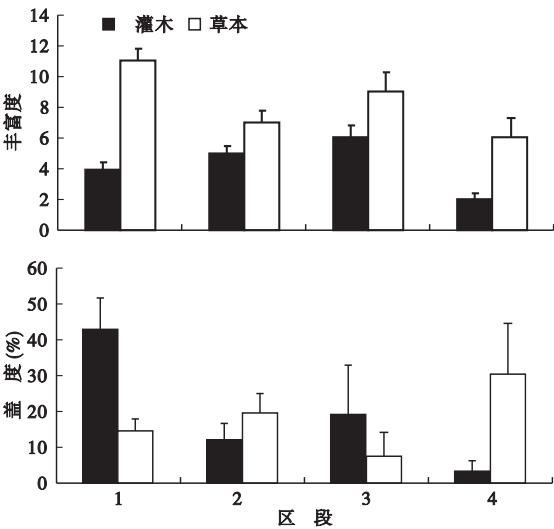


图 1 过渡带各区段植被盖度及丰富度
Fig.1 Vegetation coverage and richness in each section of transitional zone

二次波动则是由于地下由粘土层形成的弱透水层的出现对下渗水的阻滞和存储作用造成的。区段1弱透水层较区段2深40 cm,这与古河道河床分布的位置有关。据民勤治沙站资料记载,沙井子绿洲外围曾是已消失的大西河流经之地,依河床距河道中心的远近,其土壤中沉积了不同厚度的质地黏重的粘土层,成为阻滞土壤水下渗的隔断层。而造成区段1第二高含水层的含水量远高于区段2第二高含水层含水量的原因与农田灌水的侧渗量和侧渗距离有直接关系。侧渗水的补给及在弱透水层上的积累为区段1中柽柳及其他伴生种的生长提供了良好的土壤水分条件。区段3的土壤含水量在0~80 cm持续增加,在60~80 cm处达到最大值,80 cm以下又迅速减小,其弱透水层出现的深度显然要浅的多。除降水外,在没有其他水源补给的情况下,区段3弱透水层的出现无疑对这一区域白刺及地上浅根性植物的生长都是有利的。区段4在0~200 cm内没有出现弱透水层,土壤含水量随深度增加持续降低,这也是区段4除人工种植的梭梭外仅分布沙米和少量短命浅根植物的原因之一。

2.2.2 各区段灌丛沙包土壤水分 位于区段1的稳定柽柳沙包上植被盖度最大,其从土壤中吸取的水分也应该最多,若不考虑土壤内水分水平运动,则其土壤应更为干旱,但从图3来看,0~50 cm内,其沙包土壤含水量较其他沙包明显高很多,说明绿洲边缘农田水侧渗是该区段植被生长所需水分的一个重要补充。通过土壤颗粒间的毛管作用和根系水力提升作用(赵文智和刘鹄,2006),区段1柽柳沙包所获得的土壤水分总量明显高于区段2中活化的柽柳沙包,但在0~10 cm出现反常,其原因可能与沙包上柽柳冠层对降水的截留量较多、沙包表层土壤

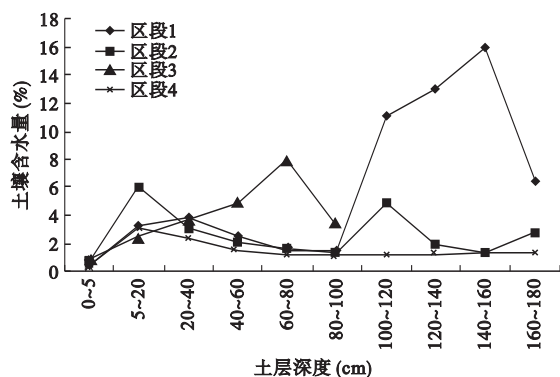


图2 过渡带各区段土壤含水量
Fig.2 Soil water content in each section of transitional zone

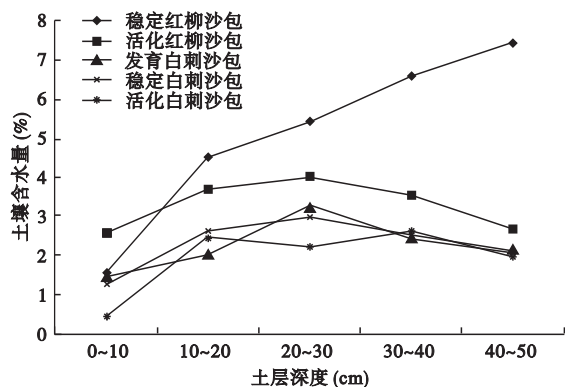


图3 灌丛沙包土壤含水量
Fig.3 Soil water content of shrub islands

结皮发育且枯枝落叶较多,阻滞降水在沙包表层的下渗有关。区段2中土壤水分条件的恶化使得柽柳盖度迅速降低,沙包上裸露沙面强烈的水分蒸发作用使得其土壤总体含水量降低。区段3中不同发育程度的白刺沙包的土壤含水量没有明显的差异,0~50 cm土壤水分在0.5%~3.5%,这与贾宝全等(2002b)对民勤连古城绿洲外围的白刺沙包水分测定结果(0.8%~2.5%)较为接近,且均在20~30 cm处出现了最大值。

3 讨论

民勤绿洲地处石羊河下游,在干旱气候背景下,土壤水环境是影响过渡带植被组成和分布格局最为主要的生态因子,随着上游来水量的减少和地下水的急剧下降,过渡带植被完全处于稀少降水补给下的偏荒漠状态,其分布与土壤、地貌和水分的空间分配往往具有一致性,在景观上呈现环状分布格局,这与过渡带的功能结构具有一致性。本研究中,区段1至区段4,物种组成、植被盖度、优势种、建群种均表现出与各区段立地条件相适应的特征,呈现出大灌木→草本→小灌木→草本的格局,对应的地貌呈现出固定→半流动→半固定→流动的格局。

柽柳是绿洲边缘主要的植被景观,由于柽柳对土壤水分的依赖性很强,其消长是反映环境变化最为有力的证据。由于农田侧渗水只能输送到周围一定距离,且补给量由农田边缘向外围迅速减少,这使得从区段1到区段2柽柳的生长状况呈现出明显的由良好到衰亡的陡变现象。根据生态学的适宜性理论,环境因子对某一植物种总存在最适值或最适范围,在该值或范围内植物种的个体数或盖度或丰度达到最大值,随着环境因子偏离最适值,种的个体数

将逐渐减小,直至植物死亡消失(赵传燕等,2008),怪柳在环境梯度上的变化正是对这一理论的印证。在民勤坝区、泉山区及湖区的过渡带,怪柳均有一定宽度的分布,形成灌丛沙包与丘间地相间分布的格局,但随水环境及农业生产特点,在分布宽度、长势等方面均表现出明显的区域性差异(马全林等,2006)。在泉山区红沙梁乡刘家地村,区段1的宽度在200~1000 m,紧挨着便是白刺沙包集中分布区,并不存在区段2的景观,因此,区段2的出现可视为过渡带发生荒漠化的一个显著特征,其形成与黄培祐(1991)提出的“界外区”和贾宝全等(2002a)提出的“生态裂谷”的形成原因完全不同,前者是由于土壤干旱化造成的,而后者则强调樵采、放牧等人为活动对这一范围的影响。目前,白刺在过渡带占绝对优势,以沙包形式集中分布在区段3,构建了区域植被外貌。从白刺沙包分布的位置和沙包形成机理看,其发育在更大程度上取决于沙源充足与否和周围环境对风沙流流场的影响。贾宝全等(2002a)对灌丛沙包的研究认为:灌丛沙包的密度、占地面积揭示了一地的沙源多少,也预示着该地发生沙质荒漠化的潜在可能性的大小,而沙包的裸沙率则直接揭示着沙包的活动性,是沙质荒漠化在这类地区发生与否的直接标志。笔者认为,对于白刺沙包而言,密度及占地面积在特定的地貌环境下大体上是确定的,是区域性特征,沙包从雏形到稳定,再到解体是一个动态过程,而裸沙率变化范围则对应于沙包发育的各个阶段。

与50年代末的植被组成情况(杨自辉,1999;彭鸿嘉等,2004)相比,现阶段过渡带的物种丰富度显著降低、群落类型减少、优势种和建群种变更、乔木林消失殆尽。植被的这种变化是近50年来在以地下水下降为主导因子的环境演替中逐步形成的,正如常兆丰和赵明(2006)所指出的:“一定的植被是当地生境自然选择的结果,在与生态环境退化的同时,当地植物也处于适应,即自然驯化的过程,现在保存下来的植物就是自然选择最为适应的植物及其状态”。此外,从民勤水环境和区域生态环境退化的速度来说,沙井子绿洲-荒漠过渡带目前的植被状况将有可能是整个民勤绿洲-荒漠过渡带植被演变的最终状态或趋势所在。

参考文献

常禹,布仁仓,胡远满. 2002. 景观边界研究概况. 生态

- 学杂志, **21**(5): 49-53.
- 常兆丰,赵明. 2006. 民勤荒漠生态研究. 甘肃: 科技出版社.
- 常兆丰,仲生年,韩福贵,等. 2008. 民勤沙区主要植物群落退化特征及其演替趋势分析. 干旱区研究, **25**(3): 382-388.
- 杜建会,严平,俄有浩. 2007. 甘肃民勤不同演化阶段白刺灌丛沙堆分布格局及特征. 生态学杂志, **26**(8): 1165-1170.
- 贾宝全,慈龙骏,蔡体久,等. 2002a. 绿洲-荒漠交错带环境特征初步研究. 应用生态学报, **13**(9): 1104-1108.
- 贾宝全,慈龙骏,蔡体久,等. 2002b. 绿洲-荒漠交错带土壤水分变化特征初步研究. 植物生态学报, **26**(2): 203-208.
- 李丽光,何兴元,李秀珍. 2006. 景观边界影响域研究进展. 应用生态学报, **17**(5): 935-938.
- 刘虎俊,王继和,常兆丰,等. 2006. 石羊河下游荒漠绿洲区系及其植被特征. 生态学杂志, **25**(2): 113-118.
- 马全林,王继和,刘虎俊,等. 2006. 民勤绿洲边缘怪柳荒漠林的时空变化及其驱动因素. 中国沙漠, **26**(5): 802-808.
- 潘晓玲. 2001. 干旱区绿洲生态系统动态稳定性的初步研究. 第四纪研究, **21**(4): 345-351.
- 彭鸿嘉,傅伯杰,陈利顶,等. 2004. 甘肃民勤荒漠区植被演替特征及驱动力研究. 中国沙漠, **25**(5): 628-633.
- 王兵,崔向慧,白秀兰,等. 2002. 荒漠化地区土壤水分时空格局及其动态规律研究. 林业科学研究, **15**(2): 143-149.
- 王芳,梁瑞驹,杨小柳,等. 2002. 中国西北地区生态需水研究. I. 干旱半干旱地区生态需水理论分析. 自然资源学报, **17**(1): 1-8.
- 肖笃宁,李秀珍,高峻. 2003. 景观生态学. 北京: 科学出版社.
- 许文强,罗格平,陈曦. 2006. 干旱区绿洲-荒漠过渡带灌丛土壤属性研究. 应用生态学报, **17**(4): 583-586.
- 杨自辉,高志海. 2000. 荒漠绿洲边缘降水和地下水对白刺群落消长的影响. 应用生态学报, **11**(6): 923-926.
- 杨自辉. 1999. 民勤沙井子地区40 a来荒漠植被变迁初探. 中国沙漠, **19**(4): 395-398.
- 赵成义,王玉朝,李国振. 2001. 荒漠-绿洲边缘区研究. 水土保持学报, **15**(3): 93-97.
- 赵传燕,李守波,贾艳红,等. 2008. 黑河下游地下水波动带地下水与植被动态耦合模拟. 应用生态学报, **19**(12): 2687-2692.
- 赵文智,刘鹤. 2006. 荒漠区植被对地下水埋深响应研究进展. 生态学报, **26**(8): 2702-2708.
- 朱震达,吴正,刘恕,等. 1980. 中国沙漠概论. 北京: 科学出版社.
- Garner W, Steinberger Y. 1989. A proposed mechanism for the formation of "fertile islands" in the desert ecosystem. *Journal of Arid Environments*, **16**: 257-262.
- Schlesinger WH, Raikes JA, Hartley AE, et al. 1996. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. *Ecology*, **77**: 364-374.
- Schlesinger WH, Reynolds JF, Cunningham GL, et al. 1990. Biological feedbacks in global desertification. *Science*, **247**: 1043-1048.
- Tengberg A, Chen D. 1998. A comparative analysis of nebkhas in central Tunisia and northern Burkina Faso. *Geomorphology*, **22**: 181-192.
- Weins JA, Crawford CS, Gosz JR. 1985. Boundary dynamics: A conceptual framework for studying landscape ecosystems. *Oikos*, **45**: 421-427.

作者简介 马瑞,女,1977年生,博士研究生。主要从事荒漠生态研究,发表论文6篇。E-mail: mr031103@126.com
责任编辑 王伟