科学通报 2011 年 第 56 卷 第 35 期：3003 ~ 3010
论 文 www.scichina.com csb.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

抛物线形沙丘与油蒿灌丛之间的动态关系

张萍[①②], 哈斯[①②*], 杜会石[①②], 吴霞[①②], 杨一[①②]

① 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;
② 北京师范大学资源学院, 北京 100875
* 联系人, E-mail: hasi@bnu.edu.cn

2011-05-11 收稿, 2011-08-17 接受
国家自然科学基金资助项目(41171002)

摘要 库布齐沙漠南缘广泛分布的油蒿灌丛与风沙相互作用后形成抛物线形沙丘, 同时沙丘上的油蒿经历侵入、萌发、发育及衰亡的生命过程. 2009 年的地面测量及 2005, 2007, 2010 年的遥感监测数据显示: 2005~2010 年间, 抛物线形沙丘顺风向东移的同时南北向扩展; 油蒿灌丛分布于沙丘外侧坡面、两翼脊线和两翼间的平坦区, 其生长及衰亡与沙丘弧顶段的东移和两翼外扩呈动态相关. 抛物线形沙丘弧顶段内侧坡脚逐年东移为两翼间平坦区的油蒿提供了生长空间, 导致油蒿群落以年龄、大小和盖度等差异为表征的分带性分布. 两翼脊线上的油蒿灌丛捕获来沙后形成灌丛沙堆, 其确保了沙丘两翼始终保持一定的高度, 是维持抛物线形沙丘的关键因子之一, 但随两翼缓慢外移, 其相对位移至沙丘内侧坡面继而遭受风蚀直至消亡. 沙丘外侧的油蒿灌丛使外侧坡面形态趋于稳定, 同时沙埋作用又使弧顶段脊线处的油蒿灌丛逐渐消亡.

关键词
抛物线形沙丘
油蒿灌丛
灌丛沙堆
动态关系

风沙-植被相互作用形成的沙丘主要包括抛物线沙丘和灌丛沙堆, 并广泛分布于内陆干旱、半干旱沙区[1~5]和沙质海岸[6~9]. 研究认为, 风况、沙源、植被是控制这些沙丘形态发育及演变的主要因子[10~12], 其中植物通过改变气流方向、降低风速和截获气流中的沙物质等方式控制沙丘形态及其变化[13~15], 同时风沙流通过风蚀或沙埋改变沙丘植被的分布及动态[9,16].

近年来, 采用实地观测及遥感监测的方法对抛物线形沙丘成因、动力过程[8,17]、蚀积模式[5,18]及移动速率[19,20]的研究已取得很多成果. 无论是新月形沙丘(链)起源[7]还是风蚀坑起源的抛物线形沙丘[21], 其形成都与植物有关, 在海岸地区促成抛物线沙丘形成的植物主要为草本植物[7,22], 内陆地区则以灌木和半灌木为主[12,13]. 但是, 以往的研究侧重于对沙丘动态变化及其控制因子的观测, 均未将沙丘上的植被作为主要研究对象, 只是以植被盖度作为影响气流及输沙率的参考因子, 或采用数值模拟方法研究沙丘上植被的动态变化[9,12], 未曾系统地对抛物线形沙丘上植被的类型、分布、尺度及其与沙丘的相互作用关系进行深入研究.

不同类型、植株形态及疏密度的灌丛与风沙流相互作用可形成形态各异的灌丛沙堆[23]. 依靠灌木半灌木与风沙作用后形成的抛物线形沙丘, 其上的部分灌丛截获沙物质后形成灌丛沙堆, 可看作沙丘的组成部分. 但这些灌丛沙堆也可独立为一个风沙地貌单元, 则其与沙丘间势必存在竞争沙源的关系, 体现在蚀积模式上互有牵制, 从而建立起两者间的动态关系. 目前仅有通过对抛物线形沙丘不同部位灌丛沙堆蚀积速率的观测, 探讨灌丛沙堆与抛物线形沙丘间动态关系的研究[24].

近年来, 我们在库布齐沙漠南缘发现形态典型的抛物线形沙丘, 其上分布单一的油蒿灌丛, 且部分灌丛捕沙形成灌丛沙堆. 本文根据对抛物线形沙丘

英文引用格式: Zhang P, Hasi E, Du H S, et al. Dynamic relationship between parabolic dunes and *Artemisia ordosica* (in Chinese). Chinese Sci Bull (Chinese Ver), 2011, 56: 3003–3010, doi: 10.1360/972011-802

上灌丛及灌丛沙堆形态的测量以及在卫星影像图上对沙丘动态变化的分析, 报道抛物线形沙丘上油蒿灌丛的分布特征、尺度及沙丘移动过程中灌丛的生命过程, 探讨内陆半干旱地区抛物线形沙丘与叠置其上的油蒿灌丛间的动态关系.

1 研究方法

1.1 研究区概况

库布齐沙漠地势南高北低, 由北向南依次分布三大地貌单元: 北部河漫滩地、中部新月形沙丘和沙丘链覆盖的黄河阶地、南部片状流沙和油蒿灌丛相间的构造台地. 研究区位于库布齐沙漠南部的构造台地上(40°14′39″N, 109°07′49″E), 新月形沙丘及沙丘链呈东西向带状展布在台地上, 发源于鄂尔多斯高原脊线北侧的几条干河床由南向北穿过台地接入黄河, 抛物线形沙丘分布在台地北部的干河床东侧(图1). 该区属温带大陆性季风气候, 冬季干冷多风, 夏季温和多暴雨, 年平均气温 6.0~7.5℃, 极端最低温度(1月)为–32.1℃, 极端最高温度(7月)为 38.7℃; 多年年平均降水量 287 mm, 年蒸发量 2100~2700 mm, 干燥度为 1.5~4.0; 平均相对湿度 47.9%; 年平均风速 3~4 m/s, 年大风天数 25~35 d. 地带性土壤为棕钙土, 非地带性土壤为风沙土. 植被为油蒿(*Artemisia ordosica*)单优势种半灌木群落, 油蒿灌丛年龄多在 15 年左右.

1.2 抛物线形沙丘形态特征及测量取样方法

库布齐沙漠南缘抛物线形沙丘的形态特征清晰, 平面形态为典型的 U 形抛物线形沙丘. 沙丘整体走向呈 WNW-ESE 向, 可划分为前段弧顶段、两翼及其间平坦区三部分(本文将两翼与弧顶段间的界线(见图 2)定义为, 通过沙丘中轴线与沙丘内部植被带边界线的交点, 并与沙脊线垂直的直线), 同时以沙丘脊线为界, 丘脊包围的内部区域称为沙丘内侧, 丘脊与沙丘外边界间的部分称为沙丘外侧. 研究沙丘东西向总长 378 m, 南北向最大宽度 180 m, 最大高度(弧顶段脊线处)5.5 m; 沙丘南、北翼东西向长分别为 200 和 230 m, 垂直于沙脊线的最大臂宽分别为 70 和 85 m, 沙丘内部平坦灌丛区的东西向总长 220 m, 南北向最大宽度 70 m.

如图 2 所示, 于 2009 年 10 月 1~7 日在抛物线形沙丘南、北两翼的沙脊线上各选 15 和 13 个油蒿灌丛沙堆, 测量油蒿灌丛及灌丛沙堆的长、宽、高. 沿中轴线在沙丘内部平坦区近入风口的老龄油蒿群落、中部的几年生稀疏油蒿群落、靠弧顶段的油蒿幼苗带、沙丘弧顶段外侧坡面、沙丘两翼的外侧坡面、沙丘外围的本底油蒿群落带上随机选取油蒿灌丛的测量点, 共计 24 个测量点, 测量油蒿灌丛及灌丛沙堆的长、宽、

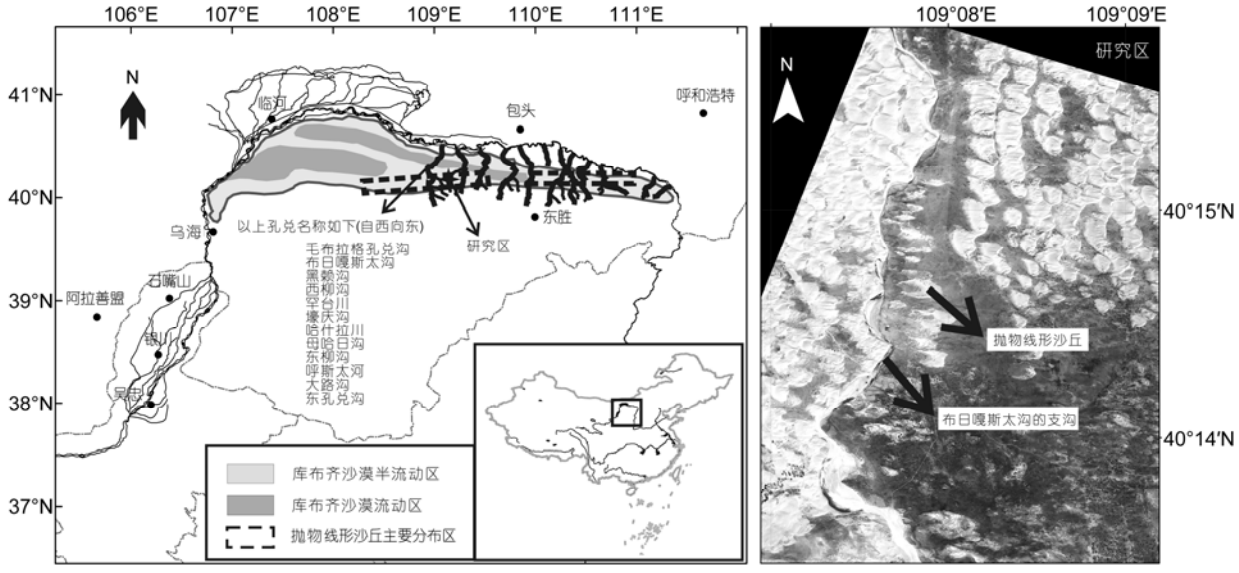

图 1 研究区位置图

孔兑分布大体位置来源于 Google earth, 孔兑名称来源于文献[25]

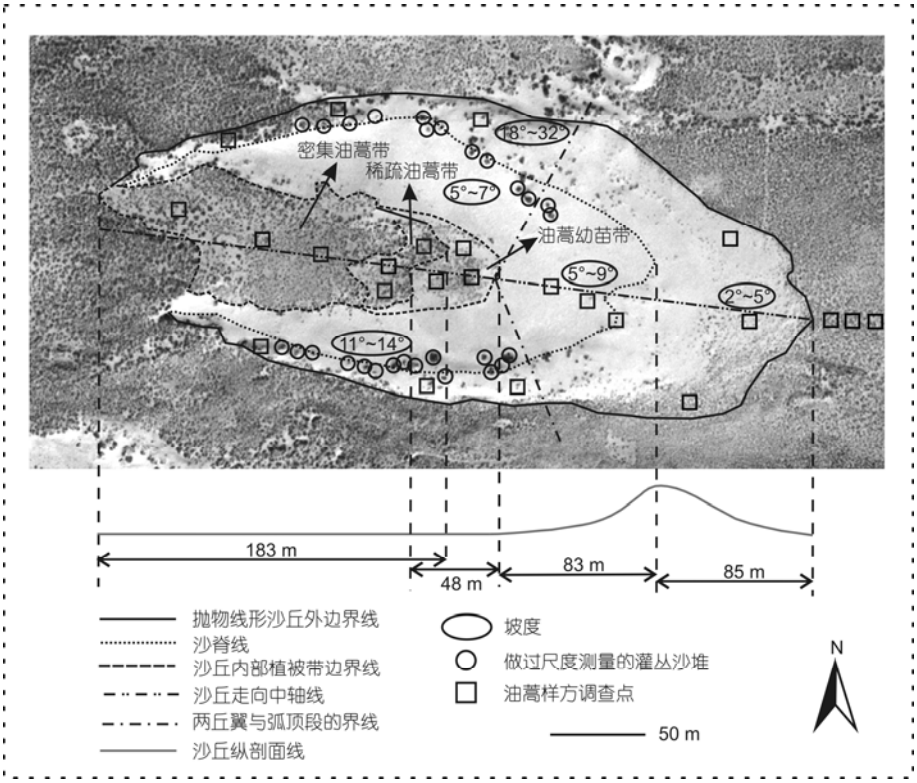

图 2　抛物线沙丘形态及测量点位图

高, 并以此计算灌丛沙堆的底面积和体积. 沙丘上灌丛沙堆的形态多为球冠体, 故采用以下计算公式:

底面积

$$A = 1/2 \times \pi \times [1/4 \times (L + W)]^2, \quad (1)$$

积沙体积

$$V = 1/3 \times \pi \times \{3/[4 \times (L + W)] - H\} \times H^2, \quad (2)$$

其中, L 为沙堆长; W 为沙堆宽; H 为沙堆高.

运用 ArcGIS9.2 配准 2005, 2007 和 2010 年 Quickbird 卫星影像图(影像分辨率为 0.61 m), 并提取三期影像上抛物线形沙丘形态及油蒿灌丛的动态变化信息, 对比分析沙丘形态尺度及油蒿灌丛盖度的变化.

2　油蒿灌丛的分布格局及形态参数

抛物线形沙丘上的植物种通常为单一的油蒿, 主要分布在两翼间的平坦区、两翼沙脊线和沙丘外侧坡面. 沙丘上各部位的油蒿灌丛及灌丛沙堆形态参数见表 1.

沙丘内侧坡脚线围绕的平坦区由单一的油蒿灌丛覆盖, 按生长年龄、群落盖度及灌丛的颜色可划分为 3 个抛物线形条带: 老龄密集油蒿灌丛带、几年生稀疏油蒿灌丛带、油蒿幼苗带. 密集带油蒿灌丛存活和枯死的老枝共同呈现出深绿加银灰色; 稀疏带的油蒿灌丛以一二年生的新枝为主, 呈绿色; 幼苗带的油蒿为一年生的新枝, 均为黄绿色(图 3). 老龄密集油蒿灌丛带的植被盖度和油蒿灌丛尺度最大, 稀疏油蒿带次之, 幼苗带的最小(表 1). 同时密集灌丛带的全部油蒿形成灌丛沙堆(平均体积为 0.35 m^3), 稀疏灌丛带内约 40%的油蒿形成灌丛沙堆(平均体积为 0.01 m^3), 油蒿幼苗带无灌丛沙堆发育且地表有大量砾石残留.

两翼脊线上油蒿灌丛及灌丛沙堆的尺度, 为其他部位的几倍至几十倍(表 1). 沙丘南翼脊线上灌丛沙堆的底面积较北翼脊线上的小, 但沙堆高度高于北翼的, 结果是南翼脊线上灌丛沙堆的平均体积(5.27 m^3)大于北翼脊线上灌丛沙堆的(3.32 m^3).

沙丘外侧坡面上尺度由大到小的灌丛沙堆依次分布在: 弧顶段外侧坡面(平均体积为 0.89 m^3)、南翼南坡(平均体积为 0.61 m^3)、北翼北坡(平均体积为 0.43 m^3)(表 1). 这种尺度差异源于沙丘外侧坡面各部

表 1 抛物线形沙丘上油蒿灌丛及灌丛沙堆的形态参数 a)

生长位置	盖度(%)	灌丛沙堆尺度			灌丛尺度(长×宽×高)(m×m×m)	丛数	备注
		底面积(m^2)	体积(m^3)	高度(m)			
密集油蒿灌丛带	50~70	0.83	0.35	0.33	1.51×1.29×0.30	14	全部油蒿灌丛形成沙堆
稀疏油蒿灌丛带	15~30	0.40	0.01	0.07	1.05×0.92×0.48	18	部分油蒿灌丛形成沙堆
油蒿幼苗带	3~5	0	0	0	0.54×0.43×0.30	14	未形成沙堆
北翼丘脊		6.40	3.32	0.77	4.68×3.09×0.82	13	部分灌丛沙堆被侵蚀
南翼丘脊		5.65	5.27	0.95	4.28×3.09×0.79	15	部分灌丛沙堆被侵蚀
弧顶段外侧	10~40	2.85	0.89	0.37	2.28×1.80×0.61	18	部分油蒿灌丛被沙埋
南翼南坡	5~25	1.63	0.61	0.33	1.76×1.49×0.54	12	部分油蒿灌丛被沙埋
北翼北坡	20~60	1.51	0.43	0.27	1.96×1.60×0.54	16	部分油蒿灌丛被沙埋
本底油蒿灌丛	30~50	未测			0.83×0.35×0.59	5	全部油蒿灌丛形成沙堆

a) 尺度数据均为平均值

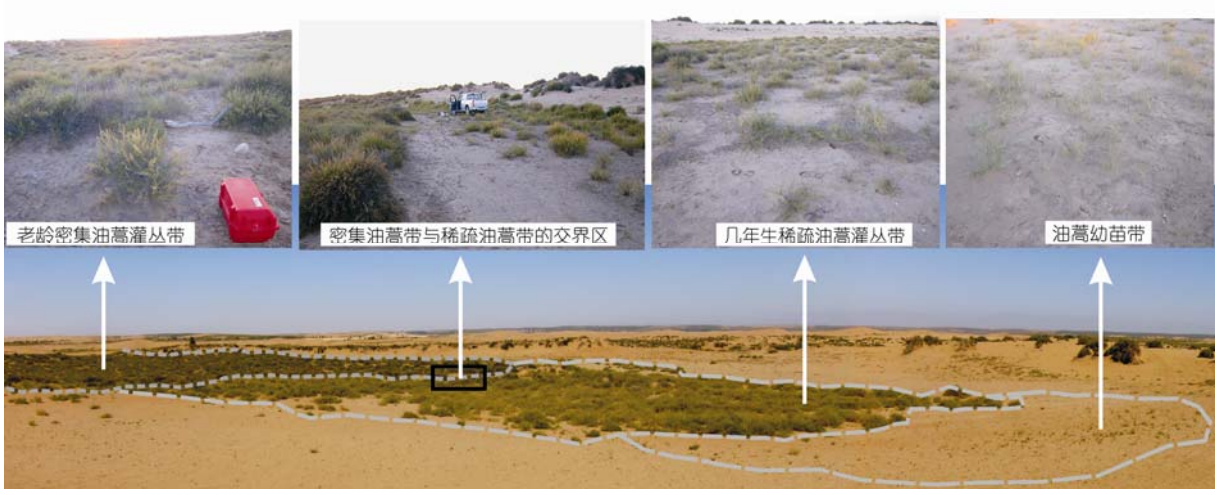

图 3 抛物线形沙丘内部平坦区植被分带性

位沙沉积量的差异, 弧顶段外侧坡面的沙沉积量最大, 尺度小的油蒿灌丛被完全沙埋, 只有尺度较大的才能保持完整的灌丛沙堆形态, 同理南翼南坡沙沉积量较北翼北坡大, 故其灌丛沙堆的尺度较北翼大.

3 沙丘及油蒿灌丛的动态

沙丘面积在2005~2007年及2007~2010年间分别增长了 2073 和 4613 m^2, 面积增长率为 5%和 10.5%; 2005~2007 年沙丘未向东移动, 向南扩张最大距离为 25 m(见图 4), 2007~2010 年向东最大延伸 20 m, 向南最大扩展 9 m, 沙丘西侧和北侧没有显著的移动. 沙丘内部平坦区以沙丘内侧坡脚线为界, 2005~2007 年及2007~2010年间平坦区的面积增长率分别为33.1%和 21.6%, 内部油蒿灌丛区的面积增长率分别为 12.6%和 40.5%, 5 年间平坦区的面积增长率(54.7%)与油蒿灌丛的面积增长率(53.1%)基本持平, 平坦区和油蒿灌丛区面积的增加主要归因于弧顶段内侧坡脚线向东的持续前移.

2005~2007 年及 2007~2010 年间, 沙丘外侧坡面上的油蒿灌丛不断被沙埋, 导致灌丛面积有所减少, 灌丛主要消亡区的面积分别为 2792 和 9032 m^2(图 4 中的油蒿灌丛消亡区), 其中沙丘弧顶段外侧坡面的油蒿灌丛消亡最为严重. 此外沙丘上的部分灌丛沙堆(图4 中的黑色小圆圈)在 2005~2010 年间被风蚀至残缺或完全消失, 可辨别的已消失灌丛沙堆至少有 20 个, 多分布在沙丘脊线附近.

4 讨论

有研究认为沙丘不同部位植物生长的差异是由于风蚀与堆积引发沙层松紧度所致[26], 这一结果也

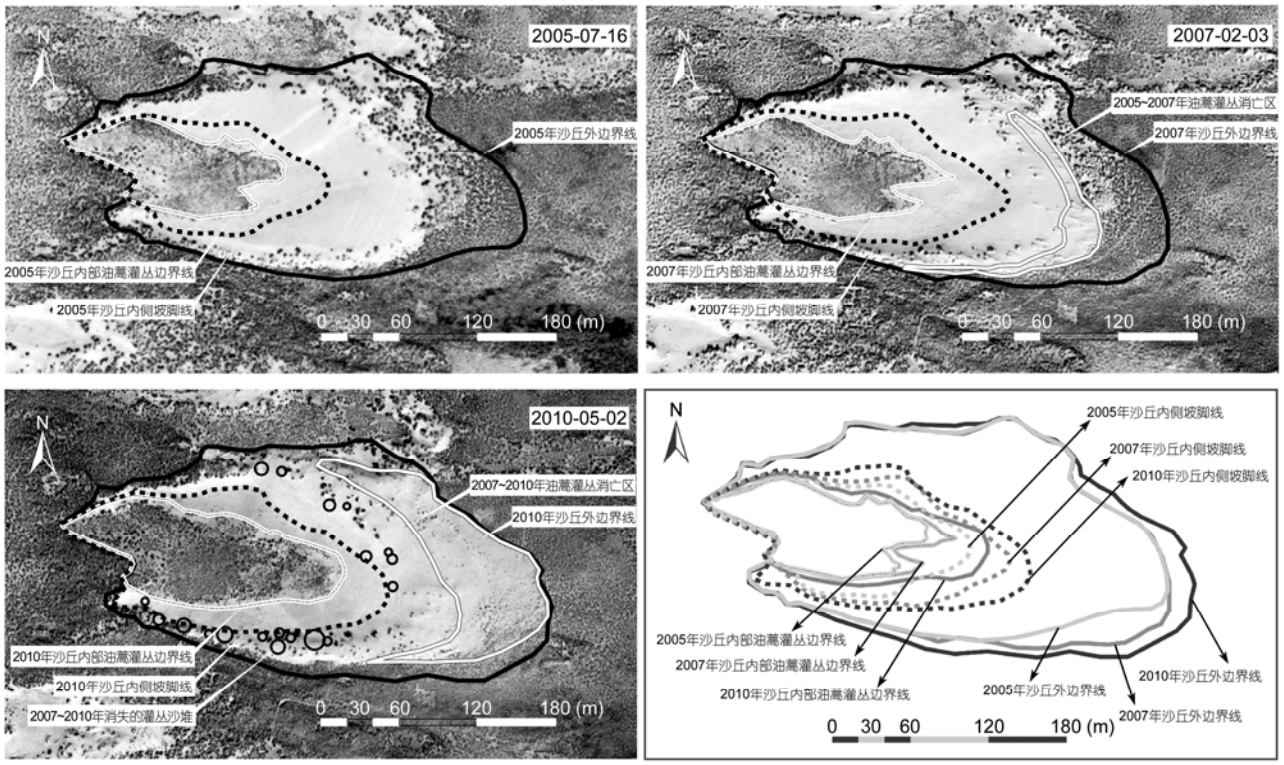

图 4　抛物线形沙丘及油蒿灌丛的动态变化

表 2　沙丘及其各区块的尺度变化 [a)]

类别	范围	2005 年	2007 年	2010 年	2005~2007 年差额	2007~2010 年差额
面积(m^2)	沙丘	41795	43868	48481	2073	4613
	内部平坦区	11544	15364	18682	3820	3318
	内部油蒿区	7267	8186	11498	919	3312
东西向最大长度(m)	沙丘	358	358	378	0	20
	内部平坦区	204	234	250	30	17
	内部油蒿区	171	188	220	17	40
南北向最大宽度(m)	沙丘	175	180	189	25	9
	内部平坦区	90	100	112	30	26
	内部油蒿区	60	60	70	0	10

a) 2005~2007 及 2007~2010 年东西向长度、南北向宽度的差额是依据影像数据测得的最大移动距离

解释了在抛物线形沙丘以堆积为主的外侧坡面有油蒿灌丛生长，而在以风蚀为主的内侧坡面则无油蒿灌丛. 抛物线形沙丘两翼间的平坦区被风蚀至地带性土壤出露后，油蒿入侵并定植于此形成油蒿群落带. 由于上风向无流动沙源输入，这一区块的油蒿灌丛主要靠降尘的供给发育灌丛沙堆且部分沙堆表面已形成生物结皮，油蒿灌丛和生物结皮对地表的双重保护作用确保这一油蒿带由原来的风蚀区转变为沉积区，从而并未在两翼间形成以往研究描述的风蚀坑[27]. 同时因上风向无沙源输入加之平坦区的固定，不饱和气流进入沙丘后只能将沙丘内侧裸露坡面上的沉积物不断向弧顶段外侧运移，从而加速沙丘的移动及形态的演变. 2005~2010 年间沙丘内侧坡脚不断外移，相应地在 2005 年以前生长的老龄油蒿带东侧原裸露区出现稀疏油蒿灌丛带和油蒿幼苗带(图 4). 可见抛物线沙丘内侧坡脚逐年向东的快速移

动为油蒿灌丛的生长提供了空间, 且使平坦区的油蒿群落因生长年龄的差异引发群落盖度、灌丛尺度上表征出的分带性分布特征.

气流从入风口进入沙丘后, 在两翼由内侧坡面向外坡面移动, 由于两翼内侧坡面上常裸露(降雨多的年份也仅有一年生的刺沙蓬生长), 两翼丘脊上的油蒿灌丛为第一道拦截风沙流的屏障[7,24], 从而成为沙源供应最充足的油蒿灌丛, 形成沙丘上尺度最大的油蒿灌丛沙堆. 两翼脊线上的油蒿灌丛捕获大量沙物质发育灌丛沙堆的同时, 其捕沙作用导致风沙流中沙物质的沉积格局发生改变, 从沙丘内侧向外侧移动的沙物质被灌丛拦截, 从而减缓了沙丘两翼的外扩. 此外, 两翼脊线上的灌丛沙堆形成后亦对沙物质在沙丘内外侧间的输移产生阻挡作用, 灌丛沙堆的高度不断增加, 从而保证了沙丘两翼的垂向高度, 因此两翼脊线上的灌丛沙堆是沙丘抛物线型形态保持的关键因子之一. 沙丘弧顶段脊线上的灌丛沙堆稀少, 对沙丘弧顶段由内侧向外侧输移的沙物质未能产生有效的阻挡, 因此弧顶区的移动速度高于两翼. 沙丘两翼的缓慢移动及弧顶段的快速移动将导致沙丘的形态由抛物线形向发夹形演变[21,28].

随着沙丘两翼脊线缓慢的外扩, 原脊线上的灌丛沙堆相对位移至沙丘内侧坡面上, 不饱和的风沙流将灌丛沙堆间狭窄的裸沙区突破为出风口, 出风口两侧的灌丛沙堆开始受垂直于丘臂的横向风的侧蚀(图 5(a)), 且横向风与沿丘臂内外侧的纵向风汇合形成水平绕灌丛沙堆的环流, 在灌丛沙堆的外缘侵蚀出环形风蚀槽(图 5(b)), 灌丛沙堆逐渐瓦解直至消失. 沙丘外侧坡面上的油蒿灌丛与风沙流作用后以两种方式存在: 一是灌丛大部分被积沙掩埋, 二是截获少量沙后形成灌丛沙堆. 在西北风的作用下, 沙丘的风沙流主要从沙丘弧顶段和南翼的内侧坡面向外侧坡面移动, 因此沙源相对较少的北翼北坡大部分油蒿灌丛形成灌丛沙堆, 而在沙源较多的弧顶段脊线处及南翼的外侧坡面上部分油蒿灌丛完全被沙埋或只有一两年生的顶部新枝出露(图 5(c), (d)), 这直接造成弧顶段脊线处和南翼外侧坡面上的油蒿群落盖度大幅减小(图 4 消亡区). 2005~2010 年间沙丘外边界延展 20 m, 在此过程中, 原沙丘外的油蒿灌丛沙堆逐渐进入沙丘外侧坡面. 当这些灌丛沙堆接受沉

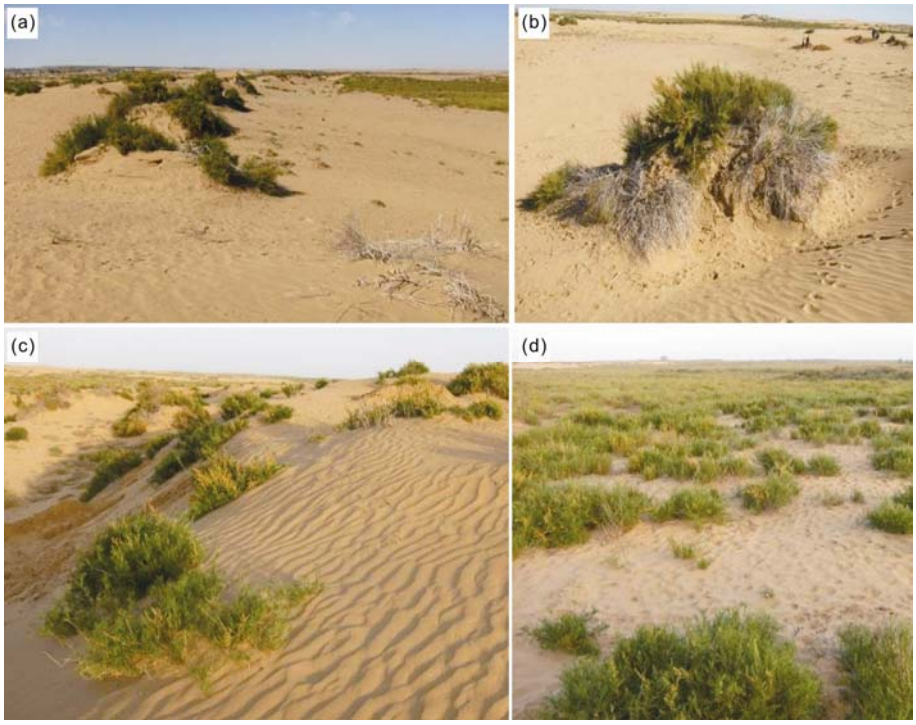

图 5 抛物线形沙丘上受侵蚀((a), (b))和沙埋((c), (d))的灌丛沙堆

(a) 沙丘南翼原脊线上受风蚀的灌丛沙堆; (b) 沙丘南翼北坡上受风蚀的灌丛沙堆; (c) 沙丘南翼南坡上受沙埋的灌丛沙堆; (d) 沙丘弧顶段外侧坡面受沙埋的灌丛沙堆

积物的厚度达到其积沙体的最大高度时，灌丛沙堆的形态消失，仅剩油蒿灌丛出露，若继续沉积的速率超过油蒿灌丛的生长速度，灌丛将逐步被沙埋直至完全埋没；若油蒿灌丛相对位移至沙丘脊线上时仍存活，则其截获沙丘来沙后再次发育为沙丘上尺度最大的灌丛沙堆.

5 结论

(1) 库布齐沙漠抛物线形沙丘上生长单一的油蒿灌丛. 两翼间平坦区油蒿灌丛在群落盖度和灌丛尺度上表征出分带性分布特征. 两翼沙脊线上的油蒿灌丛形成沙丘上尺度最大的灌丛沙堆. 沙丘外侧坡面上的油蒿灌丛多数被沙埋，是油蒿灌丛的主要消亡区.

(2) 抛物线形沙丘上油蒿灌丛的生长、衰亡与沙丘的动态变化密切关联. 沙丘内侧坡脚的外扩是沙丘内部平坦区油蒿灌丛出现分带性分布的主因. 沙丘两翼脊线上灌丛沙堆的存在是维持抛物线形沙丘的关键因子之一. 同时其阻碍两翼外扩的作用结合植被稀少的沙丘弧顶段的快速东移，有利于沙丘的形态由抛物线形向发夹形演变.

(3) 气流、植物、沙源三者是分析沙丘蚀积格局及沙丘形态变化的关键因子. 本文中讨论的油蒿灌丛与风沙的作用以及灌丛、灌丛沙堆与抛物线形沙丘的相互作用均是以风为媒介，因此今后需要对抛物线形沙丘及油蒿灌丛沙堆的气流场进行长期系统的观测.

致谢 感谢内蒙古师范大学地理科学学院包玉海、乌兰图雅及银山老师对野外工作的支持，及其学生额日敦同拉嘎、佟哈斯毕力格、巴图孟和在野外工作中给予的大力帮助.

参考文献

1 吴正. 风沙地貌与治沙工程学. 第二版. 北京: 科学出版社, 2010. 151
2 Hack J T. Dunes of the Western Navajo Country. Geogr Rev, 1941, 31: 240–263
3 Kumar M, Goossens E, Goossens R. Assessment of sand dune change detection in Rajasthan (Thar) Desert, India. Int J Remote Sens, 1993, 14: 1689–1703
4 Seppala M. Location, morphology and orientation of inland dunes in Northern Sweden. Phys Geogr, 1972, 54: 85–104
5 Hugenholtz C H, Wolfe S A, Walker I J, et al. Spatial and temporal patterns of aeolian sediment transport on an inland parabolic dune, Bigstick Sand Hills, Saskatchewan, Canada. Geomorphology, 2009, 105: 158–170
6 Lancaster N. Geomorphology of Desert Dunes. London: Routaledge, 1995. 76–77
7 Tsoar H, Blumberg D G. Formation of parabolic dunes from barchan and transberse dunes along Israel's Mediterranean Coast. Earth Sruf Process Landf, 2002, 27: 1147–1161
8 Anderson J L, Walker I J. Airflow and sand transport variations within a backshore-parabolic dune plain complex-NE Graham Island, British Columbia, Canada. Geomorphology, 2006, 77: 17–34
9 Duran O, Silva M V N, Bezerra L J C, et al. Measurements and numerical simulations of the degree of activity and vegetation cover on parabolic dunes in north-eastern Brazil. Geomorphology, 2008, 102: 460–471
10 武胜利, 李志忠, 肖晨曦, 等. 灌丛沙堆的研究进展与意义. 中国沙漠, 2006, 26: 734–738
11 Pye K. Coastal dunes. Phys Geogr, 1983, 7: 531–557
12 Joanna M N, Andreas C W B. Investigating parabolic and nebkha dune formation using a cellular automaton modelling approach. Earth Surf Process Landf, 2008, 33: 724–740
13 Hesp P. The formation of shadow dunes. J Sediment Petrol, 1981, 51: 101–112
14 Duran O, Herrmann H J. Vegetation against dune mobility. Phys Rev Lett, 2006, 97: 188001
15 Leenders J K, Boxel J H V, Sterk G. The effect of single vegetation elements on wind speed and sediment transport in the Sahelian Zone of Burkina Faso. Earth Sruf Process Landf, 2007, 32: 1454–1474
16 Dech J P, Maun M A. Zonation of vegetation along a burial gradient on the leeward slopes of Lake Huron sand dunes. Can J Bot, 2005, 83: 227–236
17 Robertson-Rintoul M J. A quantitative analysis of the nearsurface wind flow pattern over coastal parabolic dunes. In: Nordstrom K F, Psuty N P, Carter R W G, eds. Coastal Dunes: Form and Process. London: Wiley, 1990. 57–78
18 Hansen E, DeVries-Zimmerman S, Van Dijk D, et al. Patterns of wind flow and Aeolian deposition on a parabolic dune on the southeastern shore of Lake Michigan. Geomorphology, 2009, 105: 147–157

19 Ranwell D. Movement of vegetated sand dunes at Newborough Warren, Anglesey. J Ecol, 1958, 46: 83–100
20 Bailey S D, Bristow C S. Migration of parabolic dunes at Aberffraw, Anglesey, North Wales. Geomorphology, 2004, 59: 164–174
21 Pye K. Morphological development of coastal dunes in a humid tropical environment, Cape Bedford and Cape Flattery, North Queensland. Geogr Ann, 1982, 64A: 213–227
22 Arens S M, Slings Q, Vries C N. Mobility of a remobilised parabolic dune in Kennemerland, The Netherlands. Geomorphology, 2004, 59: 175–188
23 Khalaf F I, Misak R, Al-Dousari A. Sedimentological and morphological characteristics of some nabkha deposits in the northern coastal plain of Kuwait, Arabia. J Arid Environ, 1995, 29: 267–292
24 Ardon K, Tsoar H, Blumberg D G. Dynamics of nebkhas superimposed on a parabolic dune and their effect on the dune dynamics. J Arid Environ, 2009, 73: 1014–1022
25 艾冲. 公元 7~9 世纪库布齐沙漠分布范围探考. 唐史论丛, 2009, 11: 251–260
26 李鸣岗. 关于沙丘松紧度对植物根系影响的问题. 科学通报, 1960, 7: 218–219
27 Hesp P. Foredunes and blowouts: Initiation, geomorphology and dynamics. Geomorphology, 2002, 48: 245–268
28 Nishimori H, Tanaka H. A simple model for the formation of vegetated dunes. Earth Surf Process Landf, 2001, 26: 1143–1150

Dynamic relationship between parabolic dunes and *Artemisia ordosica*

ZHANG Ping[1,2], HASI Eerdun[1,2*], DU HuiShi[1,2], WU Xia[1,2] & YANG Yi[1,2]

[1] *State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;*
[2] *College of Resource Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*

Parabolic dunes arising from the interaction between *Artemisia ordosica* shrubs and aeolian activities are distributed widely in the southern part of the Hobq desert. On the dunes, the shrubs sequentially experience a process of invasion, germination, development and decline. Results of topographical investigations of a parabolic dune combined with satellite images from 2005, 2007 and 2010 show that the dune moved toward the east while its two arms expanded outward. Shrubs were distributed at the crests of both arms, on the flat area between the arms and outside the slopes of the arms. Their growth and deterioration were closely related to the dynamic changes brought about by the eastward movement of the body of the dune in conjunction with the expansion of the arms. The eastward movement of the parabolic dune body created space for the growth of shrubs between the arms which lead to a zonal distribution of the *Artemisia ordosica* community based on age, size, coverage and the like. The nebkas that derive from deposits trapped by shrubs on the arms of the dune play a crucial role in maintaining the parabolic shape of the dune. However, as the arms expand outward, the shrubs that were previously on the crest move to the inside slopes of the dune, which leads to their deterioration. The shrubs on the outside slopes of the parabolic dune maintain the stability of the slopes, whereas sand deposition on the body of the dune leads to the deterioration of the shrubs.

Parabolic dune, *Artemisia ordosica*, Nebkha, Dynamic relationship

doi: 10.1360/972011-802