

毛乌素沙地南缘3种灌丛形态与阻沙能力的对比研究

唐艳, 刘连友, 哈斯, 王志, 孙炳彦, 杜建会

(北京师范大学资源学院, 北京 100875)

摘要:灌丛形态对其沙丘形态塑造具有重要作用。通过对毛乌素沙地南缘典型灌丛沙堆形态参数的测量, 定量分析了针茅、沙蒿、沙柳3种主要灌丛形态对其沙堆形态的影响, 并探讨了不同灌丛的阻沙能力。对灌丛及沙堆形态参数之间的相关分析表明, 3种灌丛沙堆的长度、宽度与灌丛的冠幅长度、宽度存在显著相关; 沙堆高度与灌丛高度微相关、与冠层高度不存在明显相关关系; 沙堆水平分量与灌丛高度也存在较强相关关系, 相关性强弱依次为针茅、沙柳、沙蒿; 沙堆体积与灌丛体积相关性显著, 相关性强弱依次为针茅、沙柳、沙蒿; 研究结果证明, 阻沙能力沙蒿最强, 其次为针茅、沙柳。

关键词:灌丛; 灌丛形态; 阻沙能力; 毛乌素沙地南缘

中图分类号: S157; X171.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)02-0044-05

Comparison on Morphology and Sand Trapping Capability of Three Shrubs in South Edge of Mu Us Sandland

TANG Yan, LIU Lian-you, Hasi Eerdun, WANG Zhi, SUN Bing-yan, DU Jian-hui

(College of Resources Science and Technology Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Plant morphology is important for shaping sand dune morphology. Based on the measurement of typical plants and dune morphology in the Mu Us Sandland, the paper quantitatively analyzes three kinds of plants, and then discusses their sand trapping capability. Correlative analysis of primary parameters shows that, the length and width of plants correspond with length and width of dunes apparently; dune height is slightly correlated to plant height, but there is no correlation between dune height and plant crown height; component L and plant height H have correlation, but the correlation coefficient from high to low is that *Stipa plareosa*, *Salix psammophila*, *Artemisia spheroccephala*; the dune volume is strongly correlated to the plant volume, but the correlation coefficient from high to low is that *Stipa plareosa*, *Salix psammophila*, *Artemisia spheroccephala*. The results prove that the capability of sand trapping is that *Artemisia spheroccephala* is higher than *Stipa plareosa*, *Stipa plareosa* is higher than *Salix psammophila*.

Key words: shrub; plant morphology; sand trapping capability; South Edge of Mu Us Sandland

灌丛沙堆是发育在干旱、半干旱环境下, 风沙流由于受灌丛阻挡, 沙物质在灌丛及周围堆积形成的一种地貌类型^[1-7]。灌丛沙堆是土壤风蚀和土地退化的标志^[1], 其产生和衰亡与土地荒漠化的过程密切相关。也有人认为沙质草原沙漠化过程实际上是一种木本(灌丛)植物取代草原草本植物的过程^[7-9], 灌丛沙堆一旦形成就标志着土壤风蚀加重, 土壤养分严重流失^[10], 因此研究灌丛沙堆不仅在丰富风沙地貌学研究内容方面具有重要价值, 而且在土地荒漠化监测与评价研究及重建区域环境演变历史等方面都具有重要意义^[9-11]。随着风沙地貌与沙漠化进程研究不断的深入, 灌丛沙堆的形态发育受到广泛的关注。20世纪80年代以来, 许多研究者从形态、沉积物、动力学、生物量角度对灌丛沙堆进行研究^[1-7, 12-21]。植被形态对其防风固沙效应以及沙堆形态的塑造起非常重要的作用^[12-15, 18], 在外界条件相同的情况

下, 植被可以成为沙堆发育的决定性因素^[22]。已有的研究结果表明, 植被主要通过覆盖地表、增加下垫面粗糙度以及阻挡输沙等途径起到防风固沙效果^[22-24]。植被阻沙能力的差异导致沙堆形态的差异, 从沙堆形态的差异也可以初步衡量不同植被的阻沙能力的强弱。由于研究方法、研究区域的不同, 灌丛与沙堆形态参数间的相关关系存在差异, 结果不具有普适性; 国内从单一角度出发研究同种植株较多^[13-21], 对不同灌丛的形态及阻沙能力的对比研究较少。

以毛乌素沙地南缘靖边县为研究区域, 在相同外界自然条件下, 选取主要形态参数对3种灌丛即针茅(*Stipa plareosa*)、沙蒿(*Artemisia spheroccephala*)、沙柳(*Salix psammophila*)及沙堆形态进行测量, 分析不同灌丛沙堆形态参数之间的关系, 初步推断植被阻沙能力随灌丛高度、冠幅增长的变化趋势, 并进行不同植被阻沙能力强弱的

收稿日期: 2007-05-10

基金项目: “十一五”国家科技支撑课题“鄂尔多斯高原人工固沙与植被恢复技术与试验示范”(2006BAD26B07)

作者简介: 唐艳(1983-), 女, 山东平原人, 博士研究生, 主要从事土地资源与环境演变研究。E-mail: tangyan@ires.cn

对比。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于毛乌素沙地南缘,地理坐标 $108^{\circ}54'93''-108^{\circ}58'00''E, 37^{\circ}38'42''-37^{\circ}47'54''N$ 。该区属温带半干旱地区,气候干燥多风,年均温 $7.8^{\circ}C$,年、日较差大;年降水量 395.4 mm ,主要集中在7—9月,占全年降水量的80%;年均蒸发量为 $2\,484.5\text{ mm}$,年均干燥指数2.3;年均风速为 3.2 m/s ,盛行西北风,平均大风日数19.2 d,最大风速 24 m/s ,多集中于冬春季节。自然景观以成片状的流动、半固定沙丘(地)与河谷、湖盆滩地相间为特色,土壤瘠薄,其机械组成主要为细砂和中砂,植被覆盖度低,属于暖温性草原植被,固定和半固定沙丘上沙生植物为优势种^[13],针茅沙堆、沙蒿沙堆、沙柳沙堆等分布较为广泛。

1.2 研究方法

野外调查于2006年10月在陕西省靖边县北部风沙区进行,样地面积为 $2\text{ km} \times 2\text{ km}$ 。选取针茅沙堆146个、沙蒿沙堆49个、沙柳沙堆58个,分别测量了灌丛高(H)、冠幅长(L_g)、冠幅宽(W_g)、沙堆高(h)、沙堆长(L_s)、沙堆宽(W_s)等,其中冠幅长(L_g)为沿主风向的灌丛长度,冠幅宽(W_g)为垂直主风向的灌丛宽度。在测量基础上,计算了冠层高(h_g)、水平分量(L)、冠幅面积(S)、灌丛体积(V_g)、沙堆体积(V_s)、单位冠幅面积所能拦截沙物质体积(V)。其中:冠层高为灌丛高与沙堆高之差;水平分量(L)为沙堆长宽的均值;冠幅面积(S)用椭圆估算,灌丛体积(V_g)用椭球体估算,沙堆体积(V_s)用半椭球体估算,计算公式分别为

$$h_g = H - h \quad (1)$$

$$L = (1/2) \times (L_s + W_s) \quad (2)$$

$$S = (1/4)\pi \times L_g \times W_g \quad (3)$$

$$V_g = (1/6)\pi \times L_g \times W_g \times (H - h) \quad (4)$$

$$V_s = (1/6)\pi \times L_s \times W_s \times h \quad (5)$$

$$V = V_s / S \quad (6)$$

式中: h_g ——冠层高; L ——沙堆水平分量; S ——冠幅面积; V_g ——灌丛体积; V_s ——沙堆体积; V ——单位冠幅面积所能拦截沙物质体积; H ——灌丛高度; h ——沙堆高度; L_g ——灌丛长度; W_g ——灌丛宽度; L_s ——沙堆长度; W_s ——沙堆宽度; $H-h$ ——冠层高。

进行沙堆水平分量(L)与灌丛高度(H)、沙堆体积(V_s)与冠幅面积(S)之间的回归,分析 L, V_s 随 H, S 的增长幅度。

2 结果与分析

针茅为旱生草本植物,密丛型,秆较柔软,叶片通常内卷,上下两面粗糙具细微的刺毛,整体植株形状呈圆锥形,沙蒿为菊科半灌木,单株散生,枝条灰白而有光泽,主茎明显,分枝多而细,叶无柄呈卵形,冠层紧密多孔,植株形状接近半球体;沙柳为灌木,枝灰褐色,分枝较多,叶线状披针形,平行生长,冠层较开放,整体呈锥形。灌丛从沙堆的纵剖面有两个不对称的斜坡(图1),迎风坡陡而短,背风坡缓而长。

表1是3种草灌丛沙堆形态参数的测量及计算结果。3种草灌丛从沙堆的沙堆高度差异不大,而其余形态参数的种间差异明显;沙柳沙堆各形态参数的变化幅度较沙蒿、针茅大,另外,针茅、沙蒿、沙柳平均冠幅面积所拦截沙物质的体积分别为 $11.45, 32.89, 6.70\text{ cm}^3$ 。

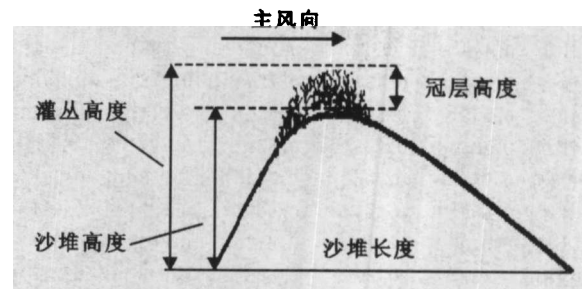


图1 沙堆纵剖面示意图

3种灌丛沙堆形态参数间的相关分析表明(表2),灌丛高度与冠层高度显著相关;沙堆长度与植物冠幅长度

表1 3种灌丛沙堆的形态参数

项目	H/cm	h/cm	h_g/cm	L_g/cm	W_g/cm	L_s/cm	W_s/cm	L/cm	$V_g/$ (10^3 cm^3)	$V_s/$ (10^3 cm^3)	$S/$ (10^2 cm^2)
平均值											
针茅	19.6	7.8	11.8	31.1	24.7	43.6	34.5	39.1	5.8	7.7	6.8
沙蒿	66.7	21.2	45.5	122.4	107.5	179.1	154.0	166.6	359.5	362.9	110.4
沙柳	296.4	28.4	267.9	343.5	345.9	197.7	196.9	197.3	18379.0	651.5	971.4
标准差											
针茅	5.8	2.6	4.6	11.6	9.7	16.0	12.5	13.7	6.6	8.5	4.8
沙蒿	17.7	8.0	15.5	36.6	33.0	54.8	47.2	47.3	269.1	301.0	61.4
沙柳	49.8	46.9	12.7	128.1	120.6	62.8	58.4	48.2	12921.1	574.5	568.5

(针茅、沙蒿、沙柳的相关系数分别为 $0.702, 0.664, 0.866$)、沙堆宽度与植物冠幅宽度(针茅、沙蒿、沙柳的相关系数分别为 $0.739, 0.779, 0.830$)、沙堆水平分量与植物冠幅长度、宽度之间的相关性都较高,沙堆水平分量与灌丛高度也存在一定的相关关系,相关性强弱依次为针茅、沙柳、沙蒿;沙堆高度与灌丛高度微相关,与冠层高相关性不明显;沙堆

水平分量与沙堆高度相关性明显;植物冠幅面积与沙堆长度、宽度、沙堆水平分量、沙堆体积相关性都较明显;沙堆体积与灌丛体积(针茅、沙蒿、沙柳的相关系数分别为 $0.843, 0.573, 0.696$)的相关性较高;针茅沙堆、沙柳沙堆的沙堆体积与灌丛的冠幅长度相关性显著,沙蒿沙堆的沙堆体积与灌丛冠幅宽度相关性显著。可以推断,植被的冠幅控制沙

堆水平分量与沙堆体积。

表2 3种灌草丛沙堆形态参数的相关分析

	H	h_x	L_x	W_x	h	L_s	W_s	L	V_x	V_s	S
针茅	1										
H 沙蒿											
沙柳											
针茅	0.903**	1									
h_x 沙蒿	0.893**										
沙柳	0.967**										
针茅	0.452**	0.328**	1								
L_x 沙蒿	0.579**	0.455**									
沙柳	0.584**	0.527**									
针茅	0.375**	0.218**	0.810**	1							
W_x 沙蒿	0.479**	0.331*	0.766**								
沙柳	0.551**	0.498**	0.327**								
针茅	0.650**	0.260**	0.434**	0.456**	1						
h 沙蒿	0.485**	0.040	0.401**	0.421**							
沙柳	0.349**	0.100	0.343**	0.322*							
针茅	0.619**	0.459**	0.702**	0.626**	0.579**	1					
L_s 沙蒿	0.461**	0.230	0.664**	0.535**	0.578**						
沙柳	0.403**	0.339**	0.866**	0.259*	0.329*						
针茅	0.532**	0.367**	0.656**	0.739**	0.546**	0.842**	1				
W_s 沙蒿	0.365**	0.191	0.639**	0.779**	0.440**	0.721**					
沙柳	0.438**	0.356**	0.258	0.830**	0.400**	0.264*					
针茅	0.605**	0.436**	0.710**	0.704**	0.588**	0.969**	0.949**	1			
L 沙蒿	0.449**	0.228	0.703**	0.698**	0.554**	0.938**	0.916**				
沙柳	0.528**	0.437**	0.720**	0.672**	0.457**	0.812**	0.778**				
针茅	0.655**	0.580**	0.831**	0.714**	0.447**	0.749**	0.684**	0.750**	1		
V_x 沙蒿	0.785**	0.725**	0.829**	0.794**	0.334*	0.527**	0.606**	0.607**			
沙柳	0.754**	0.706**	0.773**	0.758**	0.351**	0.639**	0.626**	0.795**			
针茅	0.659**	0.444**	0.669**	0.627**	0.694**	0.880**	0.796**	0.878**	0.843**	1	
V_s 沙蒿	0.510**	0.168	0.617**	0.645**	0.808**	0.861**	0.789**	0.892**	0.573**		
沙柳	0.463**	0.291*	0.563**	0.558**	0.742**	0.654**	0.662**	0.827**	0.696**		
针茅	0.492**	0.352**	0.940**	0.903**	0.482**	0.731**	0.740**	0.765**	0.906**	0.772**	1
S 沙蒿	0.538**	0.394**	0.906**	0.940**	0.429**	0.615**	0.749**	0.729**	0.882**	0.679**	
沙柳	0.652**	0.588**	0.797**	0.783**	0.386**	0.699**	0.655**	0.853**	0.977**	0.741**	

** $P < 0.01$; * $P < 0.05$ 。

对3种灌草丛沙堆的水平分量 L 与灌草丛高度 H 、沙堆体积 V 、与冠幅面积 S 分别进行回归分析,得出最佳拟和方程(图2),针茅沙堆的水平分量 L 随高度 H 的增大而呈线性增加,沙堆体积 V 随冠幅面积 S 增大也呈线性增加;沙蒿沙堆与沙柳沙堆的 L, V 分别随 H, S 的增大呈幂函数增大,但变化趋于平缓,可以推断,3种灌草丛的阻沙能力随灌草丛高度、冠幅的增大呈不同趋势的增强。对6个拟合方程分别求导,对比水平分量 L 与沙堆体积 V 的增长幅度、单位冠幅面积 S 所拦截的沙物质体积以评价不同植物阻沙能力的强弱,结果表明,沙蒿沙堆水平分量 L 与沙堆体积 V 的增加幅度较针茅沙堆大,沙柳沙堆水平分量 L 及沙堆体积 V 的增加幅度较针茅沙堆小;单位冠幅面积所拦截沙物质的体积从大到小依次为沙蒿、针茅、沙柳。初步结论:在灌草丛沙堆发育初期,阻沙能力沙蒿高于针茅,针茅高于沙柳。

3 结论与讨论

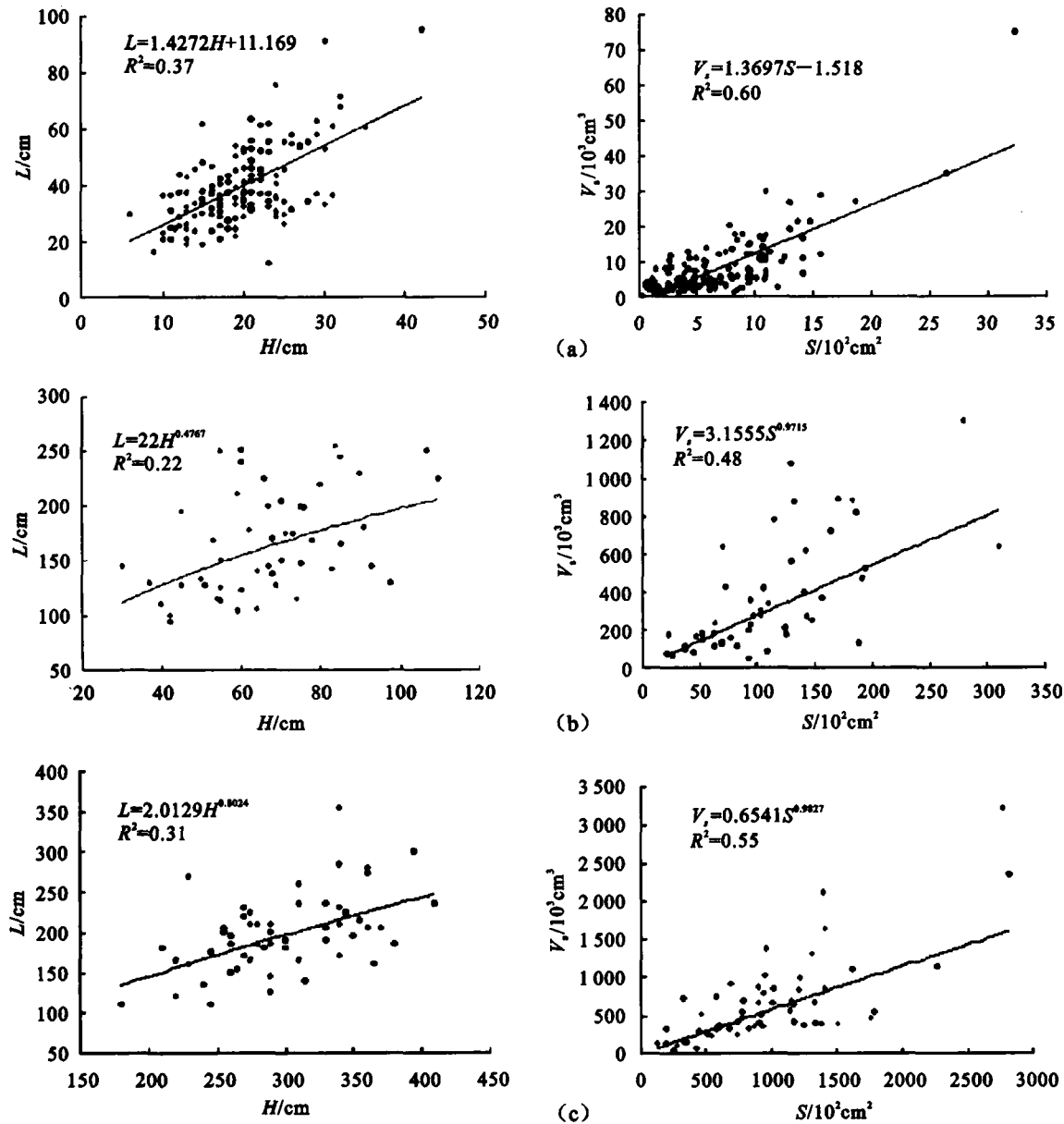
在对毛乌素沙地南缘典型灌草丛沙堆形态参数野外测

量的基础上,选取针茅、沙蒿、沙柳3种主要灌草丛,分析了植被与其下沙堆形态参数间的相关关系。3种灌草丛各自的沙堆长度、宽度与其冠幅长度、宽度的相关性均较显著;而沙堆高度与灌草丛高度微相关,与冠层高度的相关性则不明显,与Khalaf^[5]得出的沙堆高度与灌草丛高度相关性较高,与冠层高度微相关的结论不一致;各自的水平分量 L 和总的灌草丛高度 H 具有相关性,与Tengberg^[4]的研究结果相一致,但相关性系数以针茅最高,沙蒿最低;冠幅面积与沙堆各形态参数相关性较高,与Magdy^[7]的研究一致;沙堆体积与其灌草丛体积间的相关性都较高,相关性强弱依次为针茅、沙柳、沙蒿;针茅沙堆、沙柳沙堆的沙堆体积与冠幅长度相关性显著,沙蒿沙堆的沙堆体积与冠幅宽度相关性显著。

针茅沙堆的水平分量随灌草丛高度的增大而呈线性增加,与Tengberg^[1]研究一致,沙堆体积也随冠幅增大而线性增加,沙蒿沙堆与沙柳沙堆的水平分量随灌草丛高度的增大而呈幂函数增加,但变化趋于平缓,沙堆体积随冠幅增大呈幂函数增加,变化也趋于平缓;水平分量与沙堆体积的增加

幅度为沙蒿>针茅>沙柳;单位冠幅面积所拦截沙物质的体积从大到小依次为沙蒿、针茅、沙柳,从而可以初步得出结

论:在毛乌素沙地南缘的区域环境下,阻沙能力沙蒿>针茅>沙柳。



(a) 针茅沙堆; (b) 沙蒿沙堆; (c) 沙柳沙堆

图2 3种灌草丛沙堆水平分量与高度、沙堆体积与冠幅面积的回归关系

同种灌草丛由于植株疏密、树冠及枝叶展开度差异而使沙堆具有不同的发展速度和形态^[14]。沙蒿拦截沙物质体积的增长幅度较针茅、沙柳大,从而具有相对较强的阻沙能力,根据 Tengberg^[1,4]和 Hesp^[6]的推测,沙蒿具有紧密多孔的冠层,相同的植株高度可以拦截更多的沙物质,使其下的沙堆具有较大的水平分量与体积,另外沙蒿紧密多枝的生长习性也可能导致其阻沙能力较强。根据 Magdy^[7]的研究,沙蒿相对针茅与沙柳,冠层可能更趋近半球体,沙柳叶片平行生长,冠层较为开放可能是导致拦截能力较差的原因。本文仅考虑灌草丛沙堆发育初期,植被形态对沙堆形态及植被阻沙能力的影响,今后还需要大量野外观测数据的验证。

参考文献:

[1] Tengberg A. Nebkha dunes as indicators of wind erosion

and land degradation in the Sahel zone of Burkina Faso [J]. Journal of Arid Environment, 1995, 30: 265-282.

[2] 武胜利,李志忠,肖晨曦,等. 灌草丛沙堆的研究进展与意义[J]. 中国沙漠, 2006, 26(5): 734-738.

[3] Cooke R U, Warren A, Goudie A S. Desert Geomorphology[M]. London: UCL Press, 1993: 526.

[4] Tengberg A, Deliang Chen. A comparative analysis of nebkhas in central Tunisia and northern Burkina Faso [J]. Geomorphology, 1998, 22: 181-192.

[5] 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]. Journal of Arid Environment, 1995, 29: 267-292.

[6] Hesp P A. The formation of shadow dunes [J]. Sedi-

- mentary Petrology, 1981, 51: 101-112.
- [7] Magdy I, El-Bana, Ivan Nijs, et al. Microenvironmental and vegetational heterogeneity induced by phytogenetic nebkhas in an arid coastal ecosystem [J]. Plant and Soil, 2002, 247: 283-293.
- [8] 熊小刚, 韩兴国, 陈全胜, 等. 木本植物多度在草原和稀树干草原中增加的研究进展[J]. 生态学报, 2003, 23(11): 2436-2443.
- [9] Bahre C J, Shelton M L. Historic vegetation change, mesquite increases and climate in southeastern Arizona [J]. Journal of Biogeography, 1993(20): 489-504.
- [10] York J C, Dick-Peddie W A. Vegetation changes in southern New Mexico during the past hundred years [C]//Ginnies W G, Goldman B J, Eds. Arid Lands in Perspective. 1969: 156-157.
- [11] De Soyza A G, Whitford W G, Van Zee J W, et al. Early warning indicators of desertification examples from the Chihuahuan Desert [J]. Journal of Arid Environments, 1998, 39: 101-112.
- [12] Hesp A, McLachlan A. Morphology, dynamics, ecology and fauna of *Arctotheca populifolia* and *Gazania rigens* nahkha dunes [J]. Journal of Arid Environments, 2000, 44: 155-172.
- [13] 王蕾, 王志, 刘连友, 等. 沙柳灌丛植株形态与气流结构野外观测研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2007-2011.
- [14] 黄富祥, 王明星, 王跃恩. 植被覆盖对风蚀地表保护作用研究的某些新进展[J]. 植物生态学报, 2002, 26(5): 627-633.
- [15] 黄富祥, 高琼. 毛乌素沙地不同防风材料降低风速效应的比较[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 27-30.
- [16] 哈斯, 王贵勇, 董光荣. 腾格里沙漠东南缘格状沙丘表面气流及其地貌学意义[J]. 中国沙漠, 2000, 20(1): 30-34.
- [17] 贾宝全, 蔡体久, 高志海, 等. 白刺灌丛从沙包生物量的预测模型[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16(1): 96-99.
- [18] 马士龙, 丁国栋, 罗俊宝, 等. 沙蒿植被粗糙度动力学特性的检验与研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1): 86-88.
- [19] 关德新, 朱廷曜. 单株树的阻力系数模式[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 202-204.
- [20] 杨光, 丁国栋, 赵廷宁, 等. 沙蓬防风阻沙效能初步研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2): 172-174.
- [21] 郭雨华, 赵廷宁, 丁国栋, 等. 灌木林盖度对风沙土风蚀作用的影响[J]. 水土保持研究, 2006, 13(5): 246-251.
- [22] 岳兴玲, 哈斯, 庄燕美, 等. 沙质草原灌丛从沙堆研究综述[J]. 中国沙漠, 2005, 25(5): 738-743.
- [23] Wolf SA, Nicking W G. Shear stress partitioning in sparsely vegetation desert canopies[J]. Earth Surface Proc Landform, 1996, 21(7): 607-620.
- [24] Wolfe S A, Nickling W G. The protective role of sparse vegetation in wind erosion[J]. Prog. Physical Geogr., 1993, 17(1): 50-68.

(上接第 31 页)

参考文献:

- [1] 朱咏莉, 刘军, 王益权. 国内外土壤结构改良剂的研究利用综述[J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 140-142.
- [2] Kazanskii K S, Dubrovskii S A. Chemistry and physics of agricultural hyrogels[J]. Adv. Polymer Sci., 1992, 104: 97-133.
- [3] Bicerano J. Predicting key polymer properties to reduce erosion in irrigated soil[J]. Soil Sci., 1994, 158(4): 255-266.
- [4] 胡德春, 李贤胜, 尚健, 等. 不同改良剂对棕红壤酸性的改良效果[J]. 土壤, 2006, 38(2): 206-209.
- [5] 何传龙, 张金云, 徐义流, 等. 大棚土壤障碍因子综合改良技术研究初报[J]. 土壤通报, 2005, 36(5): 812-814.
- [6] 张宏伟, 陈志泉, 宁平, 等. 腐植酸共聚物土壤改良剂对土壤化学性能的影响[J]. 水土保持通报, 2003, 23(6): 36-38.
- [7] 冯浩, 吴淑芳, 吴普特. 高分子聚合物对土壤物理及坡面产流产沙特征的影响[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(1): 15-19.
- [8] 李建法, 宋湛谦. 高分子土壤结构改良材料的研究及应用[J]. 高分子通报, 2003(4): 69-75.
- [9] 林杰, 柯金炼, 刘鸿洲, 等. 高吸水树脂对侵蚀性土壤物理性状的影响[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2002, 31(2): 259-261.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 1-535.
- [11] 隋方功, 李俊良, 催德杰, 等. 土壤农化分析实验[M]. 山东莱阳农学院, 2004: 1-78.
- [12] 周厚诚, 任海, 向言词, 等. 南澳岛植被恢复过程中不同阶段土壤的变化[J]. 热带地理, 2001, 21(2): 104-107.
- [13] 邱仁辉, 周新年. 择伐对林地土壤物理性质影响及作业技术[J]. 福建林学院学报, 2001, 21(4): 301-303.
- [14] 郑郁善, 洪长福. 沿海丘陵巨尾桉人工林土壤培肥能力研究[J]. 福建林学院学报, 2001, 21(4): 312-315.
- [15] 邱仁辉, 杨玉盛, 俞新妥. 不同栽植代数杉木林土壤结构特性的研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(4): 6-11.