

阿拉善戈壁区白刺灌丛沙堆形态特征研究

左合君^{1,3}, 杨 阳¹, 张宏飞², 姚立强³, 闫旭东², 吴晓光^{1,2}, 刘宝河¹, 闫 敏¹

(1. 内蒙古农业大学 沙漠治理学院/内蒙古风沙物理与防沙治沙工程重点实验室, 呼和浩特 010011;

2. 内蒙古自治区土地整治中心, 呼和浩特 010020; 3. 内蒙古自治区水土保持工作站, 呼和浩特 010020)

摘 要:戈壁地区分布着许多大小不同的白刺灌丛沙堆, 为了探究造成戈壁地区灌丛沙堆差异的影响因素, 通过对阿拉善戈壁地区白刺灌丛形态(灌丛高度、灌丛长度、灌丛宽度)与沙堆形态(沙堆高度、沙堆长轴、沙堆短轴)指标的测定, 分析了白刺灌丛沙堆空间的差异性及其影响因子。结果表明: (1) 戈壁地区白刺灌丛沙堆规模受到沙源与风力以及灌丛的影响, 规模小于沙漠地区灌丛沙堆。其中, 沙源决定了沙堆的发育规模, 风力状况决定沙堆形态以及堆积位置, 灌丛形态决定沙堆的形态。 (2) 随着灌丛沙堆的规模越大, 灌丛与沙堆参数间相关性越好。灌丛特征决定沙堆特征, 其中, 灌丛长对沙堆长轴影响最大, 灌丛宽对沙堆短轴影响最大, 灌丛高度对沙堆高度影响最大。 (3) 灌丛沙堆在不同立地条件下的沙堆参数关系不同, 当灌丛参数间拟合方程为二次函数且二次项系数为负数时, 说明灌丛沙堆的发育空间较小, 并且可能进入衰退阶段, 当沙堆阐述间拟合方程为线性关系时, 说明灌丛沙堆正处于发育阶段。

关键词:戈壁; 白刺; 灌丛沙堆; 形态特征

中图分类号: P931.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)01-0263-07

Morphological Characters of *Nitraria* Dune in Gobi of Alxa

ZUO Hejun¹, YANG Yang¹, ZHANG Hongfei², YAO Liqiang³,

YAN Xudong², WU Xiaoguang^{1,2}, LIU Baohe¹, YAN Min¹

(1. College of Desert Control Science, Inner Mongolia Key Laboratory of Aeolian Physics and Desertification Control Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 2. Center of Inner Mongolia Autonomous Region Land Consolidation and Rehabilitation, Hohhot 010020, China; 3. Soil and Water Conservation Workstation, Hohhot 010020, China)

Abstract: There are different sizes of shrub sand piles distributing in Gobi. To reveal the elements influencing the shrub sand pile as well as analyze the spatial difference of the sand pile and its impact factors, we measured *Nitraria tangutorum* sand piles in Gobi, including shrub morphology (shrub height, shrub long axis, minor axis) and sand piles morphology (sand pile height, long axis, short axis). The results show that: (1) *Nitraria tangutorum* sand pile sizes in Gobi were smaller than in the desert, which were impacted by sand source, wind conditions and shrub morphology; sand source determined the size, wind conditions affected the morphology and the sand location, shrub morphology controlled sand pile morphology; (2) as the *Nitraria tangutorum* sand pile developed, the correlation between sand pile parameters and shrub parameters became greater; the shrub character determined the sand piles character, the shrub length impacted sand pile long axis mostly, shrub width impacted sand pile minor axis mostly, shrub height impacted sand pile height mostly; (3) the shrub sand pile parameters were different in the different site conditions, while the fitted equation of shrub parameters was quadratic and the second-order coefficient was negative, the development of shrub vegetation was restricted, and started recession; while the fitted equation was linear, the shrub sand pile was developing.

Keywords: Gobi; *Nitraria tangutorum*; shrub sand pile; morphology

灌丛植被是干旱半干旱地区的主要植被类型, 尤其在戈壁地区灌丛植被占据着十分重要的地位^[1]。而灌

丛沙堆是指流动碎屑受植物灌丛阻挡, 在植物丛附近产生沉积形成的风积地貌^[2-4]。灌丛沙堆普遍存在于沙

地、戈壁等地区,灌丛沙堆多呈圆丘、半椭球体、圆锥体形态,高度从几厘米到几米不等,直径最大可达几十米,其规模大小主要取决于固定它的植物的规模和密集度^[5],灌丛沙堆可作为指示土壤风蚀和土地退化的标志,其形成与周围环境密切相关^[6]。因此,灌丛沙堆已成为众多研究者的关注热点。国外学者对灌丛沙堆的研究起步较早,主要对灌丛沙堆的形态特征、沉积规律、生态学效应和动力过程等方面做了大量研究^[7-11]。我国对沙堆形态研究主要集中在灌丛沙堆的分布规律、灌丛对于沙堆的影响以及沙堆剖面等方面^[12-16]。在研究灌丛沙堆的特点的同时,不少学者对于灌丛沙堆的形成及影响因素也进行了探讨。朱震达、董治宝等经过野外观察和风洞试验,得出灌丛沙堆的形成和演变过程可分为沙条、沙嘴、沙堆和沙包四个阶段^[17-18]。武胜利等^[19-21]认为沙源、植被、风况是影响灌丛沙堆的三个主要因子,并且通过风洞得出了沙堆形态受灌丛形态影响。张萍等^[6]通过对比不同地区白刺灌丛沙堆的形态特征及沉积特征得出不同立地条件对于灌丛沙堆的影响。谢国勋等^[22]研究了不同沙源条件下灌丛及灌丛沙堆间的形态变化。上述研究对灌丛沙堆形态的进一步研究具有重要指导和借鉴意义。

白刺(*Nitraria tangutorum*)主要分布在半干旱、干旱及早荒漠戈壁地区,具有耐干旱、耐盐碱、抗风蚀等特点。由于风蚀沙埋严重,自然状态下常以灌丛沙堆的形式存在,有明显的防风固沙作用^[6]。戈壁荒漠地区风向多变、生态环境恶劣,白刺灌丛多矮小稀疏,在环境因素条件制约情况下,阿拉善戈壁地区白刺灌丛沙堆有着独特的形态结构,同时,不同立地条件下其沙堆的形态结构也存在着差异。因此,本研究选择阿拉善乌力吉地区

戈壁的白刺灌丛沙堆为研究对象,对戈壁地区的白刺灌丛沙堆进行调查,同时对比了三个样地中的白刺灌丛沙堆的空间异质性,对比分析不同样地内白刺灌丛沙堆形态结构特以及形态差异,旨在找出戈壁地区白刺灌丛沙堆特点,为进一步了解戈壁地区灌丛沙堆形成的影响因素和发展趋势提供数据支撑。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于乌兰布和沙漠西北部、亚马雷克沙漠北部、巴丹吉林沙漠东缘,是广阔的戈壁滩地。行政区隶属于阿拉善盟左旗乌力吉苏木。该区属于干旱荒漠气候,年平均气温 7.0~9.0℃,最热月平均气温 24.1℃,最冷月平均气温-9.9~-10.9℃。雨季多集中在每年的 7—8 月份,年降水量 35.2~154.2 mm,年最大降水量 267.9 mm,年平均蒸发量 2 265.6~4 217.8 mm,年最大蒸发量 4 523.7 mm,年平均风速 2.1~4.7 m/s,主导风向为 WNW,WSW,W,最大风速 27.0 m/s,年平均大风日数(8 级)4.8~61.1 d,沙尘暴日数 10.7 d,扬沙日数 48.6 d。地带性土壤为灰棕漠土。天然植被以红砂(*Reaumuria Soongorica*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、霸王(*Sarcosygium xanthoxylum*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)为主。

1.2 研究方法

1.2.1 样地布设 通过对苏宏图地区白刺灌丛沙堆进行调查,其沙堆形态基本呈三种形态,因此,研究区地区选取 3 块白刺灌丛样地进行测量,样地均分布在阿拉善乌力吉苏木,确保所选白刺灌丛所受的风况、降雨等自然因素相似,样地基本情况见表 1。

表 1 样地信息表

样地	经纬度	位置	自然特征
样地 1	41°16′37″N 104°09′16″E H:817 m	苏宏图车站戈壁滩,地势平坦	风蚀严重,地表均有砾石覆盖,缺少沙源,灌丛一般以单株形式存在。因风蚀严重,灌丛沙堆往往处于灌丛下风向,沙堆极为不稳定
样地 2	41°14′43″ N 104°05′26″E H:828 m	苏宏图车站附近铁路沿线周边区	靠近铁路沿线,两侧有机械纱帐,减弱了风蚀,沙源稍丰富,灌丛一般以单株形式存在,但灌丛生长条件较好,灌丛沙堆处于灌丛内部,沙堆较为稳定
样地 3	41°01′59″N 104°16′52″ E H:1158 m	苏宏图到乌力吉 S312 的公路沿线	地势较高,沙堆周围有着高大的新月形沙丘,沙源丰富,植被该读较高,生长状况较好,灌丛多以几株、十几株形成灌丛沙堆,灌丛完全覆盖沙堆,沙堆非常稳定

1.2.2 测量指标及数据处理 在 2016 年 7 月份,对 3 个样地内的白刺灌丛沙堆进行测量,每个样地随机测量 40 株以上无人破坏且相互之间独立的白刺灌丛沙堆。

(1) 灌丛指标。灌丛特征参数包括:灌丛高度

(H_p)、冠幅长度(L_p)与冠幅宽度(W_p)。

(2) 沙堆指标。三个样地内的灌丛沙堆形态差异较大,因此,沙堆指标的测量存在差异性。具体沙堆特征参数主要包括:

① 样地 1 的沙堆呈沙条状,测量指标为沙条高

度(H_d)、沙条长度(L_d)、沙条宽度(W_d);

② 样地 2 的沙堆呈圆锥体,测量指标为沙堆高度(H_d)、沙堆长轴(L_d)、沙堆短轴(W_d);

③ 样地 3 的沙堆呈椭球体,测量指标为沙堆高度(H_d)、沙堆长轴(L_d)、沙堆短轴(W_d)。

(3) 沙堆指标的计算。三个样地灌丛沙堆形态上的差异,因此计算灌丛沙堆底面积与体积时采用不同方法进行计算。

① 样地 1 沙堆底面积类似等腰三角形,形态类似三棱锥,因此采用 $\frac{1}{2}L_d \cdot W_d$ 和 $\frac{1}{6}L_d \cdot W_d \cdot H_d$ 来计算沙堆的底面积(S_d)与沙堆体积(V_d);

② 样地 2 沙堆呈圆锥体,因此采用 $\frac{1}{4}\pi \cdot L_d \cdot W_d$ 和 $\frac{1}{12}\pi \cdot L_d \cdot W_d \cdot H_d$ 来计算沙堆底面积(S_d)与沙堆体积(V_d);

③ 样地 3 沙堆呈椭球体,因此采用 $\frac{1}{4}\pi \cdot L_d \cdot W_d$ 和 $\frac{1}{6}\pi \cdot L_d \cdot W_d \cdot H_d$ 来计算沙堆的底面积(S_d)与沙堆体积(V_d)^[23]。

④ 数据处理。采用 Excel 进行统计分析 & 绘图,采用 SPSS 20 进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 白刺灌丛沙堆形态特征

对 3 个样地内的白刺灌丛沙堆进行统计学分析。

从表 2 中可得,在不同生长条件下白刺灌丛的形态特征与沙堆特征均表现出明显差异。样地 1 中白刺沙堆平均长、宽、高分别为 52.0 cm,55.6 cm,26.5 cm,白刺灌丛以单个生长为主白刺生长状况较差,个体较小,有些灌丛基部风蚀严重,部分白刺灌丛根部裸露地表。沙堆的长轴平均长 149.4 cm,短轴平均长 47.9 cm,沙堆长轴与短轴之比为 3.1:1。沙堆平均高度为 4.9 cm,沙堆堆积在灌丛外下风侧,沙堆形态呈现锥形,高度较低,宽度基本与灌丛宽度一致,而沙堆长度较长,沙堆裸露在灌丛外侧,遇到风向改变,沙堆极易被风蚀;样地 2 中白刺沙堆平均长、宽、高分别为 114.1 cm,130.6 cm,33.1 cm,白刺灌丛以单个生长为主,但沙堆处于灌丛内部,保护了白刺灌丛基部不被风蚀,比样地 1 中白刺灌丛生长的好。沙堆的长轴平均长 115.1 cm,短轴平均长 89.9 cm,沙堆长轴与短轴之比为 1.3:1;沙堆平均高度为 18.9 cm,沙堆堆积在灌丛内侧,形成灌丛沙堆,沙堆形态近似圆锥体,长轴短轴一般小于灌丛迎风侧宽度与顺风侧厚度,但灌丛规模较小,灌丛沙堆不够稳定,大风条件下,沙堆会被风蚀;样地 3 中白刺沙堆平均长、宽、高分别为 271.8 cm,303.9 cm,66.2 cm,几株或者十几株白刺形成灌丛,白刺灌丛生长状况优于样方 1,2。沙堆的长轴平均长 270.5 cm,短轴平均长 215.2 cm,沙堆长轴与短轴之比为 1.2:1。沙堆平均高度为 42.9 cm,沙堆被白刺灌丛沙堆完全包裹形成较大的白刺灌丛沙包,形态近似椭球体,沙堆基本被固定。

表 2 沙堆形态参数与白刺灌丛形态参数

样地		L_p/cm	W_p/cm	H_p/cm	L_d/cm	W_d/cm	H_d/cm	S_d/cm^2	V_d/cm^3
样地 1	最大值	87.0	95.0	40.0	230.0	95.0	11.0	9514.45	79441.91
	最小值	22.0	13.0	9.0	40.0	13.0	1.0	350.87	467.64
	平均值	52.0	55.6	26.5	149.4	47.9	4.9	2716.23	10154.21
	标准误差	17.1	18.9	8.6	49.8	18.1	2.7	1718.57	13530.63
样地 2	最大值	236.0	290.0	70.0	280.0	187.0	45.0	29373.96	333569.93
	最小值	60.0	70.0	11.0	54.0	53.0	4.0	2247.88	4504.65
	平均值	114.1	130.6	33.1	115.1	89.9	18.9	8726.41	71610.69
	标准误差	37.2	51.9	13.1	42.9	26.5	11.3	5587.20	88243.64
样地 3	最大值	600.0	700.0	186.0	620.0	580.0	160.0	180170.30	14442454.10
	最小值	96.0	83.0	30.0	78.0	71.0	10.0	4349.50	55204.30
	平均值	271.8	303.9	66.2	270.5	215.2	42.9	51128.88	1966720.08
	标准误差	112.8	131.1	28.9	99.2	82.9	23.9	37427.42	2918090.48

通过对于 3 个样地内的白刺灌丛沙堆底面积与沙堆体积的计算,见表 2。样地 1 内的白刺灌丛沙堆的平均底面积为 2 716.23 cm²,平均沙堆体积为 10 154.21 cm³,样地 2 内的白刺灌丛沙堆的平均底面积为 8 726.41 cm²,平均沙堆体积为 71 610.69 cm³,样地 3 内的白刺灌丛沙堆的平均地面积为 51 128.88 cm²,平均沙堆体

积为 1 966 720.08 cm³。沙堆的发育规模为样地 3>样地 2>样地 1,表明白刺灌丛存在着空间异质性,且沙堆规模越大,其变异性就越大。

2.2 白刺灌丛形态参数相关性分析

由表 3 看出,3 个样地内的沙堆形态参数与灌丛形态参数均存在着正相关性关系,但三个样地之间存

在着差别。表 3 中各样地中灌丛长、宽、高之间表现为正相关关系,样地 1 中白刺灌丛长度(L_p)与灌丛宽度(W_p)、灌丛长度(L_p)与灌丛高度(H_p)、灌丛宽度(W_p)与灌丛高度(H_p)之间的相关系数分别为 0.716,0.490,0.697,样地 2 中白刺灌丛长度(L_p)与灌丛宽度(W_p)、灌丛长度(L_p)与灌丛高度(H_p)、灌丛宽度(W_p)与灌丛高度(H_p)之间相关系数分别为 0.774,0.701,0.625,样地 3 中白刺灌丛长度(L_p)与灌丛宽度(W_p)、灌丛长度(L_p)与灌丛高度(H_p)、灌丛宽度(W_p)与灌丛高度(H_p)之间相关系数分别为 0.530,0.490,0.290。样地 2 中白刺灌丛参数间相关性最好,样地 3 中白刺灌丛相关性最差。

沙堆各参数间也存在着相关关系,样地 1 中沙堆长轴(L_d)与沙堆短轴(W_d)、沙堆长轴(L_d)与沙堆高度(H_d)、沙堆短轴(W_d)与沙堆高度(H_d)之间的相关系数分别为 0.753,0.605,0.505。样地 2 中沙堆长轴(L_d)与沙堆短轴(W_d)、沙堆长轴(L_d)与沙堆高

度(H_d)、沙堆短轴(W_d)与沙堆高度(H_d)之间的相关系数分别为 0.857,0.829,0.723。样地 3 中沙堆长轴(L_d)与沙堆短轴(W_d)、沙堆长轴(L_d)与沙堆高度(H_d)、沙堆短轴(W_d)与沙堆高度(H_d)之间的相关系数分别为 0.670,0.703,0.851。样地 2,3 沙堆各参数间相关性相似,优于样地 1 沙堆各参数间相关性。

灌丛参数与沙堆参数间也有较好的相关关系,样地 1 中,灌丛宽度(W_p)与沙堆长轴(L_d)、沙堆短轴(W_d)及沙堆高度(H_d)间相关性最高,相关系数分别为 0.826,0.861,0.545。样地 2 中,灌丛长度(L_p)与对应的沙堆长轴(L_d)相关性最高,灌丛宽度(W_p)与对应的沙堆短轴(W_d)相关性最高,为极显著相关,相关系数均为 0.961,灌丛高度与沙堆高度呈显著相关性,相关系数为 0.448。样地 3 中,灌丛长度(L_p)与对应的沙堆长轴(L_d)相关性最高,灌丛宽度(W_p)与对应的沙堆短轴(W_d)、沙堆高度(H_d)与灌丛高度(H_p)相关性最高,为显著相关性,相关系数分别为 0.946,0.883,0.893。

表 3 白刺灌丛沙堆形态参数相关性分析

形态参数	L_p	W_p	H_p	L_d	W_d	H_d	S_d	V_d
样地 1	L_p	1.000						
	W_p	0.716**	1.000					
	H_p	0.490**	0.697**	1.000				
	L_d	0.604**	0.826**	0.649**	1.000			
	W_d	0.769**	0.861**	0.631**	0.753**	1.000		
	H_d	0.505**	0.545**	0.265	0.605**	0.505**	1.000	
	S_d	0.714**	0.864**	0.651**	0.903**	0.932**	0.565**	1.000
	V_d	0.620**	0.727**	0.435**	0.797**	0.738**	0.876**	0.839**
	V_d							1.000
样地 2	L_p	1.000						
	W_p	0.774**	1.000					
	H_p	0.701**	0.625**	1.000				
	L_d	0.961**	0.828**	0.676**	1.000			
	W_d	0.825**	0.961**	0.744**	0.857**	1.000		
	H_d	0.717**	0.846**	0.448**	0.829**	0.723**	1.000	
	S_d	0.933**	0.843**	0.783**	0.886**	0.952**	0.714**	1.000
	V_d	0.884**	0.779**	0.724**	0.801**	0.884**	0.691**	0.968**
	V_d							1.000
样地 3	L_p	1.000						
	W_p	0.508**	1.000					
	H_p	0.748**	0.573**	1.000				
	L_d	0.946**	0.504**	0.741**	1.000			
	W_d	0.650**	0.883**	0.805**	0.670**	1.000		
	H_d	0.667**	0.572**	0.893**	0.703**	0.851**	1.000	
	S_d	0.852**	0.609**	0.865**	0.896**	0.891**	0.874**	1.000
	V_d	0.673**	0.519**	0.864**	0.720**	0.826**	0.919**	0.923**
	V_d							1.000

注:* 为 0.05 显著性水平下相关,** 为 0.01 显著性水平下相关。

2.3 白刺沙堆形态参数回归统计分析

通过相关性分析可知,各样方内的白刺沙堆高度(H_d)、沙堆长轴(L_d)、沙堆短轴(W_d)之间存在着显著的相关性,因此,对于每个样方内沙堆的长轴与高度、短轴与高度、沙堆半径(R_d)与沙堆高度(H_d)进行

回归分析,可以从沙堆形态方面对比出白刺灌丛沙堆在不同发育时期的特点。

通过对样地 1 的白刺沙堆形态参数进行回归分析,见图 1。白刺沙堆长轴(L_d)与沙堆高度(H_d)的拟合函数为: $H_d = -0.00008L_d^2 + 0.04831L_d - 0.47464, R^2 =$

0.32598。白刺沙堆短轴(W_d)与沙堆高度(H_d)的拟合函数为: $H_d = -0.00097W_d^2 + 0.15859W_d - 0.28339$, $R^2 = 0.2977$ 。白刺沙堆半径(R_d)与沙堆高度(H_d)的拟合函数为: $H_d = -0.00017R_d^2 + 0.07094R_d - 0.44308$, $R^2 = 0.34254$ 。样地 1 中各拟合均选取最优拟合方

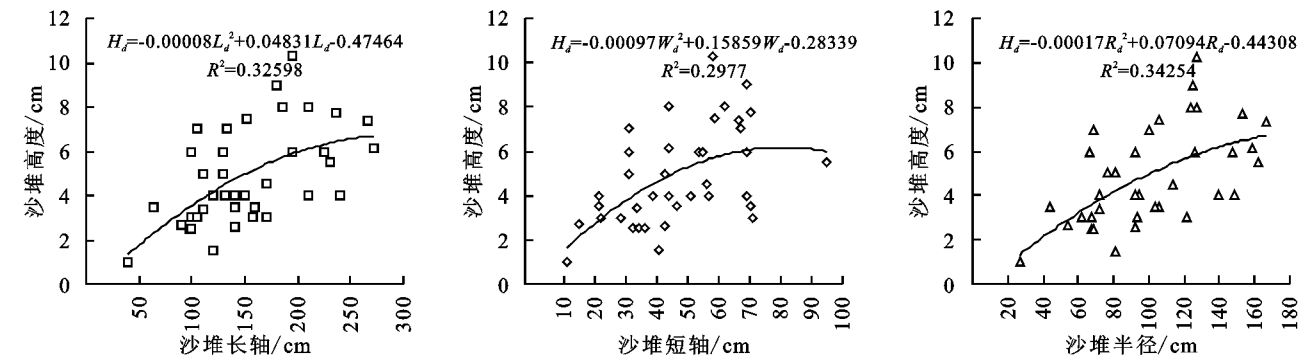


图 1 样地 1 内白刺灌丛沙堆参数间关系

通过对样地 2 的白刺沙堆形态参数进行回归分析,见图 2。
白刺沙堆长轴(L_d)与沙堆高度(H_d)的拟合函数为: $H_d = -0.00047L_d^2 + 0.32175L_d - 11.391$, $R^2 = 0.60115$ 。白刺沙堆短轴(W_d)与沙堆高度(H_d)的拟合函数为: $H_d = -0.00077W_d^2 + 0.40181W_d - 10.872$, $R^2 = 0.38832$ 。白刺沙堆半径(R_d)与沙堆高度(H_d)的拟合函数为: $H_d = -0.00026R_d^2 + 0.31179R_d - 10.462$, $R^2 = 0.59323$ 。样地 2 中各拟合均选取最优拟合方程,均为二次方程,其二次项系数均小于零看,沙堆长轴(L_d)与沙堆高度(H_d)的拟合效果最好,相关系数达到 0.60115。

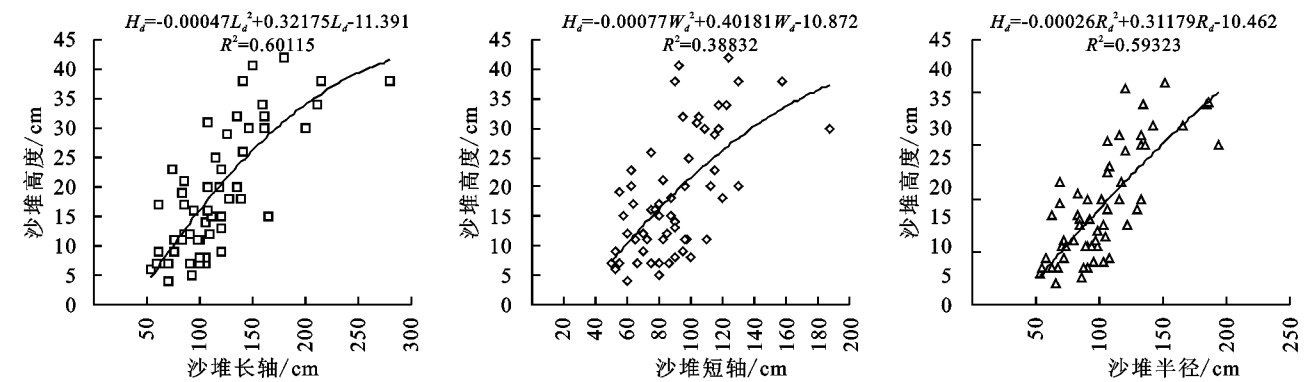


图 2 样地 2 内白刺灌丛沙堆参数间关系

通过对样地 3 的白刺沙堆形态参数进行回归分析,见图 3。白刺沙堆长轴(L_d)与沙堆高度(H_d)的拟合函数为: $H_d = 0.16507L_d - 3.1529$, $R^2 = 0.70269$ 。白刺沙堆短轴(W_d)与沙堆高度(H_d)的拟合函数为: $H_d = 0.18711W_d + 1.3714$, $R^2 = 0.6106$ 。白刺沙堆半径(R_d)与沙堆高度(H_d)的拟合函数为: $H_d = 0.19124R_d - 4.8354$, $R^2 = 0.7191$ 。样地 3 中各拟合均选取最优拟合方程,均为一次方程,说明样地 3 中沙堆长轴(L_d)、短轴(W_d)和沙堆半径(R_d)与沙堆高度呈线性增长,其中沙堆半径与沙堆高度拟合效果最好,相关系数 R^2 达到 0.719 1。

3 讨论

(1) 本文调查选取戈壁地区的白刺灌丛沙堆为

程,均为二次方程,沙堆半径(R_d)的拟合精度最高,说明在样地 1 的环境条件下,沙堆半径(R_d)可以较好拟合沙堆高度(H_d)。但 R^2 的值均不高,沙堆参数与沙堆高度的关系不显著。表明灌丛沙堆规模较小时,灌丛沙堆灌丛发育不够稳定。

10.872, $R^2 = 0.38832$ 。白刺沙堆半径(R_d)与沙堆高度(H_d)的拟合函数为: $H_d = -0.00026R_d^2 + 0.31179R_d - 10.462$, $R^2 = 0.59323$ 。样地 2 中各拟合均选取最优拟合方程,均为二次方程,其二次项系数均小于零看,沙堆长轴(L_d)与沙堆高度(H_d)的拟合效果最好,相关系数达到 0.60115。

研究对象,白刺灌丛沙堆高度为 1~160 cm,灌丛长轴为 40~620 cm,灌丛短轴为 13~580 cm。规模小于以往研究测量的白刺灌丛沙堆^[24-25],以往灌丛测量多在干旱及半干旱沙漠或边缘测量,本研究样地位于阿拉善荒漠戈壁地区,环境恶劣,且戈壁地区风沙流主要集中在地表 20 cm 高度的范围内^[26],导致沙堆规模小于以往研究的白刺沙堆。张萍等^[6]对比了荒漠草地、沙漠与戈壁的沙堆差异,得出戈壁地区的灌丛以及沙堆均小于其他两种地区。灌丛沙堆是戈壁区一种常见生态过程和自然景观,沙源、风况、灌丛特征等因素是影响灌丛沙堆形态发育的主要因子^[27-29],因此,即使相同灌丛形成的沙堆之也存在较大的差异。通过对三个样地内白刺灌丛沙堆的分析,表明沙源条件决定着灌丛沙堆的发育规模。当沙堆发育时,

沙源不足且导致灌丛很难形成规模较大较为稳定的沙堆,且白刺灌丛自身的规模也较小;当沙源充足时,灌丛能形成较大规模的沙堆,白刺沙埋又能促进白刺灌丛自身的发育,灌丛的发育又能提高灌丛自身的阻沙能力,因此限制灌丛沙堆发育规模的主要因子是沙源状况。风力对沙堆形态有着重要的影响,风力对于白刺灌丛沙堆形态的塑造具有较大影响。风力对于灌丛沙堆的影响主要是通过灌丛对其周围风沙流的扰动以及对于沙堆的吹蚀以及减弱了风力对于灌丛沙堆的影响^[30-31],当风力较强时,沙堆受到风蚀作用

较强,沙堆一般处于灌丛外背风一侧,此时,沙堆在强烈风力的作用下呈长条状,由于沙堆处于灌丛外侧,当风向发生改变后,沙堆又会被风蚀,此时沙堆极不稳定;当风力相对减弱时,沙堆堆积在灌丛内部,沙堆坡角一般呈自然安息角,此时灌丛沙堆多圆锥体或椭球体,此时沙堆处于灌丛内部,因此,沙堆较为稳定。这谢国勋等^[22]通过对荒漠草原带的灌丛沙堆形态进行研究,得出灌丛沙堆的高度和大小取决于沙源和风动力的结论一致。因此,沙源决定沙堆规模大小,风力决定沙堆形态。

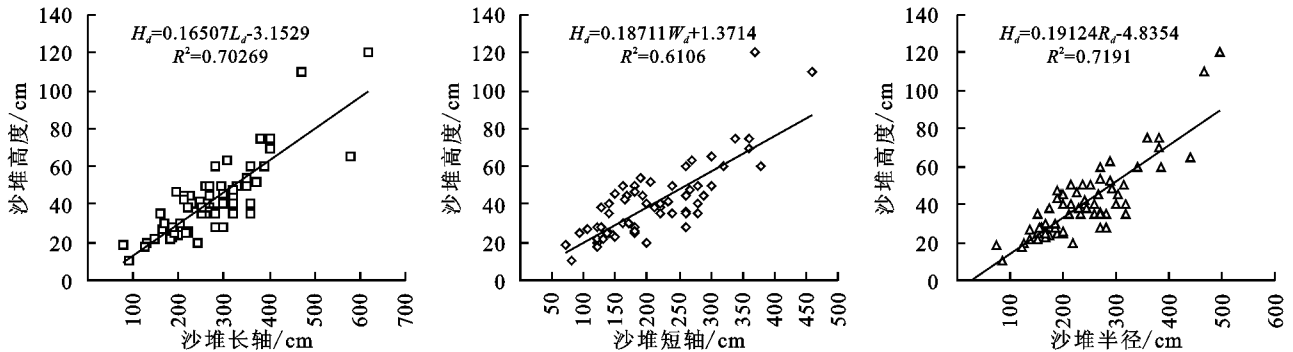


图 3 样地 3 内白刺灌丛沙堆参数间关系

(2) 灌丛的形态特征决定着其形成的沙堆的形态特征^[32-34],从表 2 中可以看出,灌丛参数与沙堆参数间存在相关性,但不同样地内的灌丛沙堆内部参数间的相关关系存在差异。通过对不同立地条件下的灌丛沙堆参数进行相关性分析,样地 1 中,灌丛宽度与沙堆个参数之间的相关性最高,样地 2,3 中的灌丛高度与沙堆高度的相关性最高,灌丛宽度与沙堆短轴相关性最高,灌丛长度与沙堆长轴的相关性最高,表明灌丛对沙堆形态的控制作用^[35]。不同发育阶段灌丛参数与沙堆参数的相关性存在差异,沙堆规模较小时,灌丛参数与沙堆参数间相关性较小,随着沙堆规模变大,灌丛参数与沙堆参数的相关性逐渐增大,说明灌丛沙堆越稳定。对白刺沙堆的参数进行了回归分析,样地 1,2 中沙堆的参数间的最优拟合方程均为二次多项式,且二次项系数为负数,表明样地内灌丛沙堆发育到一定规模后会停止发育或衰退,样地 3 中沙堆的参数间最优拟合方程均为线性关系,且相关性较高,表明样地内的灌丛沙堆发育目前处于持续增长阶段。杜建会,严平等^[36]对甘肃民勤不同演化阶段的白刺灌丛沙堆进行了研究,发现锥形白刺沙堆参数之间相关关系不明显,但随着继续发育沙丘长度与高度之间变为二次函数,稳定阶段时,灌丛沙堆长度与高度之间为对数函数关系,衰退时参数间相关关系不明显。根据各样地沙堆参数的拟合方程,计算出样地 1,2 内沙堆最大高度能达到 7.8 cm,43 cm,根据表 1 中统计的沙堆信息,样地 1

中沙堆已经达到了其拟合的最大高度,开始衰退,样地 2 中沙堆未达到拟合的最大高度,但其增长的空间较小,而样地 3 中沙堆增长空间较大。这说明灌丛沙堆的发育不是机械的由小变大,较小的沙堆不一定会发育成大的沙堆,而较大的沙堆也有可能继续发育。

4 结论

(1) 戈壁地区白刺灌丛沙堆规模小于沙漠地区灌丛沙堆;沙源状况决定灌丛沙堆发育的规模,风力状况决定沙堆形态与积沙量,灌丛形态决定沙堆形态,三者共同决定沙堆特征。

(2) 戈壁地区白刺灌丛沙堆参数间具有较强相关性,灌丛发育越好,沙堆规模越大。灌丛长度对沙堆长轴影响最大,灌丛宽度对沙堆短轴影响最大,灌丛高度对沙堆高度影响最大,尽管灌丛特征参数对沙堆形态参数的影响具有差异性,但沙堆形态特征由灌丛特征参数共同决定。

(3) 不同立地条件下沙堆不同参数间存在一定函数关系,当沙堆间参数为二次函数关系时,表明该地区沙堆发育空间较小,并且可能进入衰退阶段,当沙堆参数为线性关系时,表明该地区沙堆会持续发育。

参考文献:

- [1] 郎丽丽,王训明,哈斯,等. 灌丛沙丘形成演化及环境指示意义研究的主要进展[J]. 地理学报,2013,67(11): 1526-1536.

- [2] 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.
- [3] Bicerano J. Predicting key polymer properties to reduce erosion in irrigated soil[J]. Soil Sci.,1994,158(4):255-266.
- [4] 武胜利,李志忠,肖晨曦,等.灌丛沙堆的研究进展与意义[J].中国沙漠,2006,26(5):734-738.
- [5] Nickling W G, Wolfe S A. The morphology and origin of nabkhas, region of Mopti, Mali, West Africa[J]. Journal of Arid Environments, 1994,28(1):13-30.
- [6] 张萍,哈斯,岳兴玲,等.白刺灌丛沙堆形态与沉积特征[J].干旱区地理,2008,31(6):926-932.
- [7] 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 Environments, 1995,29(3):267-292.
- [8] Hesp P, McLachlan A. Morphology, dynamics, ecology and fauna of *Arctotheca populifolia* and *Gazania rigens* nabkha dunes[J]. Journal of Arid Environments, 2000,44(2):155-172.
- [9] Langford R P. Nabkha (coppice dune) fields of south-central New Mexico, USA[J]. Journal of Arid Environments, 2000,46(1):25-41.
- [10] Nishimura K, Nemoto M. Blowing snow at Mizuho station, Antarctica[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2005,363(1832):1647-1662.
- [11] Schmidt R A. Vertical profiles of wind speed, snow concentration, and humidity in blowing snow [J]. Boundary-Layer Meteorology, 1982,23(2):223-246.
- [12] 唐艳,刘连友,哈斯,等.毛乌素沙地南缘3种灌丛形态与阻沙能力的对比研究[J].水土保持研究,2008,15(2):44-48.
- [13] 武生智,刘楠,薄天利.沙漠公路近壁流场的风洞实验和数值模拟[J].兰州大学学报:自然科学版,2008,44(4):27-34.
- [14] 魏文寿,秦大河.中国西北地区季节性积雪的性质与结构[J].干旱区地理,2001,24(4):310-313.
- [15] 乌拉,张国庆,辛智鸣.乌兰布和沙区5种适生灌木防风阻沙效能分析[J].内蒙古林业科技,2008(3):14-16.
- [16] 杨光,丁国栋,赵廷宁,孙保平.沙蓬防风阻沙效能初步研究[J].水土保持研究,2006,13(2):172-174,243.
- [17] 王涛.中国沙漠与沙漠化[M].石家庄:河北科学技术出版社,2003.
- [18] 朱震达,陈广庭.中国土地沙质荒漠化[M].北京:科学出版社,1994.
- [19] 武胜利.新疆和田河流域灌(草)丛沙堆发育机制研究[D].上海:华东师范大学,2007.
- [20] 李志忠,武胜利,肖晨曦,等.新疆和田河流域灌丛沙堆风洞流场的实验研究(Ⅰ)[J].中国沙漠,2007,27(1):9-14.
- [21] 李志忠,武胜利,肖晨曦,等.新疆和田河流域灌丛沙堆风洞流场的实验研究(Ⅱ)[J].中国沙漠,2007,27(1):15-19.
- [22] 谢国勋,罗维成,赵文智.荒漠草原带沙源及灌丛对灌丛沙堆形态的影响[J].中国沙漠,2015,35(3):573-581.
- [23] 刘金伟,李志忠,武胜利,等.新疆艾比湖周边白刺沙堆形态特征空间异质性研究[J].中国沙漠,2009,29(4):628-635.
- [24] 杜建会,严平,董玉祥.干旱地区灌丛沙堆研究现状与展望[J].地理学报,2010,65(3):339-350.
- [25] 武胜利,李志忠,肖晨曦.灌丛沙堆的研究进展与意义[J].中国沙漠,2006,26(5):734-738.
- [26] 张克存,屈建军,俎瑞平,等.不同下垫面对风沙流特性影响的风洞模拟研究[J].干旱区地理,2004,27(3):352-355.
- [27] 穆桂金.塔克拉玛干沙漠灌草丘的发育特征及环境意义[J].干旱区研究,1994,11(1):34-41.
- [28] 武胜利,李志忠.灌丛沙堆的研究进展与意义[J].中国沙漠,2006,26(5):734-738.
- [29] Pomeroy J W, Bewley D S, Essery R L H, et al. Shrub tundra snowmelt[J]. Hydrological Processes, 2006,20(4):923-941.
- [30] 朴起亨.几种不同材料机械沙障防风效应研究[D].北京:北京林业大学,2010.
- [31] 郭景山,朱玉明,武占河,等.乌吉线沙害治理机械沙障设置的研究[J].内蒙古大学学报:自然科学版,2002,33(8):324-327.
- [32] 高永,党晓宏,虞毅,等.乌兰布和沙漠东南缘白沙蒿(*Artemisia sphaerocphala*)灌丛沙堆形态特征与固沙能力[J].中国沙漠,2015,31(1):1-7.
- [33] Hesp P A. The formation of shadow dunes[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1981,51(1):101-112.
- [34] Cooke R, Warren A, Goudie A. Desert Geomorphology[M]. London:UCL Press, 1993.
- [35] Gile L H. Holocene soils and soil-geomorphic relations in an arid region of southern New Mexico[J]. Quaternary Research, 1975,5:321-360.
- [36] 杜建会,严平,俄有浩.甘肃民勤不同演化阶段白刺灌丛沙堆分布格局及特征[J].生态学杂志,2007,26(8):1165-1170.