

DOI: 10.5846/stxb201809151998

张海娜, 鲁向晖, 黄国敏, 李 阳, 王瑞峰, 罗义峰, 刘佳丽, 杨 辉. 鄱阳湖沙地蔓荆灌丛沙堆形态特征及空间分布格局. 生态学报, 2019, 39(14):

Zhang H N, Lu X H, Huang G M, Li Y, Wang R F, Luo Y f, Liu J L, Yang H. Morphological characteristics and spatial distribution patterns of *Vitex trifolia* nebkhas in the Poyang Lake sand land. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(14):

鄱阳湖沙地蔓荆灌丛沙堆形态特征及空间分布格局

张海娜, 鲁向晖*, 黄国敏, 李 阳, 王瑞峰, 罗义峰, 刘佳丽, 杨 辉

南昌工程学院 水利与生态工程学院, 南昌 330099

摘要:目前灌丛沙堆研究主要集中在干旱半干旱区的沙质草原和沙漠边缘,对亚热带湿润区灌丛沙堆的形成、演变过程并不清楚。以鄱阳湖沙地为研究区,通过样方调查和地统计学的方法,研究不同沙化程度下蔓荆灌丛沙堆的形态特征及分布格局。结果表明:鄱阳湖沙地蔓荆沙堆的形态以盾形为主,其冠幅变化幅度为 1.2—18.2m²,固定和半固定沙地显著高于流动沙地;对灌丛沙堆的形态参数来说,其长轴与短轴在固定和半固定沙地上呈极显著的线性相关关系,流动沙地上呈二次函数关系;半固定和流动沙地上沙堆底面积与沙堆高度呈二次函数关系($r>0.6$);3 种类型沙地上灌丛沙堆的底面积与沙堆体积之间极显著线性相关,其中半固定沙地线性函数的斜率最大;除固定沙地的沙堆高度和半固定沙地的灌丛高度外,3 种沙地上蔓荆灌丛与沙堆的其他形态参数间均极显著相关,其中灌丛底面积与沙堆体积之间线性关系显著,说明随着沙地的固定,蔓荆灌丛有利于沙堆水平尺度的增长;3 种沙地上蔓荆沙堆均呈随机分布。

关键词:亚热带湿润区;蔓荆;灌丛沙堆;形态特征

Morphological characteristics and spatial distribution patterns of *Vitex trifolia* nebkhas in the Poyang Lake sand land

ZHANG Haina, LU Xianghui*, HUANG Guomin, LI Yang, WANG Ruifeng, LUO Yifeng, LIU Jiali, YANG Hui

College of Water and Ecology Engineering, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, China

Abstract: Studies of nebkhas focus mainly on the vegetation of sandy grasslands or desert edges in arid and semi-arid areas, whereas the formation and development processes of nebkhas in subtropical humid areas remains unknown. The goal of this study was to reveal the morphological characteristics and distribution patterns of *Vitex trifolia* nebkhas under different degrees of desertification in the sandy areas of Poyang Lake. The nebkhas pile of *V. trifolia* was primarily shield shaped, and the crown breadth ranged from 1.2 m² to 18.2 m², and the breadth in shifting sands was smaller than that in both fixed and semi-fixed sands. Relationships between the long axis and the short axis of nebkhas were linear in the fixed and semi-fixed sands, but showed a quadratic relationship in shifting sands. The projected areas of nebkhas in semi-fixed and shifting sands were quadratically related with their heights ($r > 0.6$). For all types of sands, there was a linear correlation between the projected area and the volume of nebkhas, the slope of which was highest in semi-fixed sands. Except for the height of nebkhas in fixed sand and the thicket height in semi-fixed shrubs, there were significant correlations between the morphological parameters of the thickets and nebkhas in the three types of sands, among which the thicket projected area and the nebkhas volume showed a significant linear relationship. The results showed that with sandy land being fixed, the shrub was advantageous to increases in the horizontal scale of *V. trifolia* nebkhas. *V. trifolia* nebkhas was randomly

基金项目:水利部鄱阳湖水资源水生态环境研究开放基金(ZXKT201510);国家自然科学基金项目(51669015);南昌工程学院校级大学生科研训练项目(201508)

收稿日期:2018-09-15; **网络出版日期:**2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xianghuilu@nit.edu.cn

distributed on sandy lands.

Key Words: subtropical humid zone; *Vitex trifolia*; nebkhas; morphological characteristics

灌丛沙堆是流动沙粒遇到地面灌丛植物阻拦后堆积而成的斑块状植被,是一种不稳定的地貌类型,可作为指示土壤风蚀和土地退化的标志^[1],其分布格局受物种本身生物学特性以及环境因子的综合影响,也是沙区植被恢复的关键^[2]。深入研究灌丛沙堆的分布格局及其动态,有助于揭示其生态过程与环境格局的相互作用关系。目前关于灌丛沙堆的研究主要集中在干旱半干旱区的自然植被,如油蒿(*Artemisia ordosica*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、泡泡刺(*Nitraria sphaerocarpa*)、花花柴(*Karelinia caspia*)等地盖型低矮灌木和草本,以怪柳和锦鸡儿为主的人工植被^[2-7],以及高寒沙区的沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、乌柳(*Salix cheilophila*)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、小叶杨(*Populus simonii*)等高大灌木或半乔木形成的灌丛沙堆^[8]。这些灌丛沙堆的形态有盾形、圆锥形、半球形和不规则形,高度也从几厘米到几米不等,直径最大可达几十米^[9],且随着沙堆发育,其形态参数之间的关系也发生变化^[1,10,11]。另外,不同立地条件下,不同植物形成的灌丛沙堆在空间格局方面也存在差异^[12,13],呈聚集或随机分布,甚至在不同尺度上其分布格局也会发生转换^[2,13]。总体来说,这些研究都对干旱半干旱区灌丛沙堆形态特征^[14,15]、形态发育的趋势和阶段^[16,17]、空间格局^[2,13,17]等进行了系统研究,但是对亚热带湿润气候下灌丛沙堆的分布格局、演变过程及影响因素关注不足^[5],使该区沙化土地的恢复和治理工作存在极大盲目性,同时也是荒漠生态系统灌丛沙堆研究的知识缺陷。

根据朱震达对沙漠的分类理论^[18],处于亚热带湿润区的鄱阳湖沙地属于“风沙化土地”,其在成因、分布范围、沙山生境条件、治理及开发利用途径上都有别于我国干旱、半干旱区的荒漠类型。据调查,鄱阳湖现有沙化土地面积 3.89 万 hm^2 ^[19]。近年来,人为采沙活动和风电场的开发加剧了对湖滩植被和生态环境的影响和破坏,鄱阳湖沙地在强劲的风力作用下正以 3—5 m/a 的速度向外推进,土地沙化面积不断扩大^[20]。虽然沙区群众已对沙地进行了积极治理,但是植被群落的稳定性和抵御自然灾害的能力较差,大多有活化危险。

通过对鄱阳湖区沙生植被调查发现,沙丘在由流动向半固定乃至固定沙丘过渡中,尤其在植被种类极少的流动沙地上,均有蔓荆分布,其枝条沙埋后生出新的不定根,积沙成丘,形成斑块分布的灌丛沙堆。以往关于鄱阳湖区蔓荆的研究主要集中在植物的防风固沙^[21]、生理特性^[22]、药用价值^[23,24]及栽培管理^[25]等方面,将其作为灌丛沙堆的研究鲜见报道,而其斑块状配置是沙区植被恢复的关键。鉴于此,本文在对鄱阳湖沙地优势植物蔓荆灌丛沙堆形态参数调查的基础上,研究灌丛沙堆的形态特征与分布格局,这对反映亚热带风沙环境特点,以及深入了解灌丛沙堆与风沙环境的相互作用具有重要意义,同时为鄱阳湖沙地的植被恢复及可持续利用提供理论依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

选择鄱阳湖入江洪道右岸的九江市都昌县多宝乡沙山($\text{E}116^{\circ}3'—116^{\circ}7'42''$, $\text{N}29^{\circ}21'22''—29^{\circ}27'18''$)为研究区,海拔 46.4—242.9m,属中亚热带湿润季风气候,全年无霜期 260d,年平均气温 17.4℃,平均地表温度 21.3℃,最高气温 42℃,最高地表温度 69.5℃,年降雨量 1310mm,年蒸发量 1880mm,年均风速 2.9—3.8m/s。自然土壤以红壤和黄棕壤为主,湖滨沙地的沙粒源自裸露的湖滩,在末次冰期由冬季风力作用形成^[26-28]。沙土结构松散,养分含量低,保水保肥能力差。沙地植物种类主要有蔓荆(*Vitex trifolia*)、湿地松(*Pinus elliotti*)、木荷(*Schima superba*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、算盘子(*Glochidion puberum*)、假俭草(*Eremochloa ophiuroides*)、三棱草(*Cyperus rotundus*)、球柱草(*Bulbostylis barbata*)、丛枝蓼(*Polygonum posumbu*)等。

1.2 研究方法

在研究区内选择人为干扰较少、能代表不同沙化生境的样地 3 块(图 1),分别代表流动沙地(植被覆盖度

10%—30%)、半固定沙地(植被覆盖度 30%—50%)和固定沙地(植被覆盖度 50%以上)^[29],各样地上布设面积为 30m×30m 的样方。样地之间距离 10m,蔓荆灌丛所受的风况,降水等自然因素基本相似,样地基本情况见表 1。利用皮尺、GPS 和罗盘等,对每一个样地内灌丛沙堆个数、所有灌丛沙堆的空间位置 x,y (以样地的一角为原点坐标(0,0)参照)、灌丛和沙堆的形态参数进行调查。沙堆形态参数包括长轴(L,m)、短轴(W,m)、高度(H,m),灌丛形态参数包括长轴(l,m)、短轴(w,m)、高度(h,m)。每个样方中调查全部灌丛沙堆的形态特征,灌丛沙堆底面积和体积的计算方法参照文献^[4]。



图 1 鄱阳湖沙地不同沙化程度的样地选择

Fig.1 Sample plots of the different desertification degrees in the Poyang lake sand

表 1 样地特征描述

Table 1 Information about the 3 sample plots

样地 Sample plot	经纬度 Latitude and longitude	自然特征 Nature characteristics	沙堆总数/个 No. of <i>Vitex trifolia nebkhas</i>
固定沙地 Fixed sand	29°22'35"N 116°4'57"E H:69m	地势较低,植物种类多,覆盖度高,蔓荆分布区周围有湿地松,缺少沙源,灌丛沙堆较低矮但幅度广,沙堆非常稳定	17
半固定沙地 Semi—fixed sand	29°22'49"N 116°5'18"E H:70m	地势较高,植物种类较多,覆盖度 40%左右,蔓荆分布区周围有湿地松,木荷,沙源稍丰富,沙堆高大,沙堆较稳定	21
流动沙地 Shifting sand	29°22'37"N 116°4'59"E H:79m	地势较高,植物种类少,覆盖度 20%左右,蔓荆分布区周围有湿地松,沙源丰富,沙堆低矮,沙堆极不稳定	46

1.3 数据分析

用 Origin8.0 和 SPSS16.0 对不同沙化程度下蔓荆灌丛沙堆的形态特征进行描述性统计和方差分析,再对这 3 种生境下沙堆的形态参数和沙堆与灌丛间的形态参数分别进行相关和回归分析,揭示不同沙化程度下蔓荆灌丛形态和对应沙堆形态的互馈关系。蔓荆沙堆的空间分布格局分析方法参照文献^[2,30]。沙堆的空间自相关性采用 Moran 系数,检验某一要素的观测值是否是受其临近空间点上变量影响,可以定量描述变量的空间依赖性。将自相关系数与尺度相结合,分析不同尺度下的空间相关关系。Moran 系数的取值介于-1—1 之间,小于 0 表示负相关,等于 0 表示不相关,大于 0 表示正相关^[11,31]。

2 结果与分析

2.1 蔓荆灌丛沙堆的形态特征

蔓荆沙堆的形成以植物匍匐茎的扩展为主,形成盾形或半椭圆形的独立灌丛沙包,坡度较缓。不同沙化程度下灌丛高度不同,在固定沙地的变化范围为 0.26—1.18m,均值为 0.73m,半固定和流动沙地分别为 0.30—0.72m 和 0.15—0.65m,显著低于固定沙地。蔓荆灌丛的长轴和短轴在固定沙地最高,半固定沙地次之,流动沙地最小;沙堆的长轴和短轴在 3 种样地之间差异显著。就灌丛投影底面积来说,灌丛在样地之间差异

显著,其中半固定沙地灌丛底面积变化幅度最大(0.25—139.43m²);不同沙地的灌丛长/短均值在1左右,无显著差异(表2)。

蔓荆沙堆的长轴和短轴在固定与半固定沙地的变化范围分别为1.7—14.2m和1.3—18.2m,流动沙地为1.2—10.3m,其长轴和短轴的均值显著低于固定和半固定沙地。沙堆高度在半固定沙地上的最大高度为2.12m,其均值(0.77m)显著高于固定和流动沙地(0.28m左右)($P<0.05$)。就沙堆底面积来说,固定和半固定沙地上沙堆底面积的均值分别为45.94m²和40.70m²,显著高于流动沙地的12.27m²。半固定沙地上沙堆体积的变化幅度为0.08—121.81m³,变化幅度最大,固定沙地次之,流动沙地最小,为0.03—21.65m³(表2)。可见,随着沙地的固定,灌丛沙堆在水平尺度上呈增长趋势,这与蔓荆枝条的匍匐生长有关。

表2 蔓荆灌丛沙堆的形态特征
Table 2 Morphological parameters of *Vitex trifolia* nebkhas

样地 Sample plot	灌丛 Thickets	灌丛短轴 Width/m	灌丛长轴 Length/m	高度 Height	投影面积 Projected area/m ²	灌丛体积 Volume/m ³	灌丛长短比 L/W
固定沙地 Fixed sand <i>n</i> = 17	最小值	1	1.1	0.26	1.1	0.22	0.45
	最大值	14.2	12.3	1.18	125.58	82.5	1.83
	均值±标准误	7.64±0.88a	6.81±0.77a	0.73±0.07a	47.39±8.62a	27.04±6.03a	0.96±0.09a
半固定沙地 Semi-fixed sand <i>n</i> = 21	最小值	0.7	0.7	0.30	0.25	0.02	0.29
	最大值	16.9	16.5	0.72	139.43	53.42	1.55
	均值±标准误	4.82±0.84b	4.73±0.94b	0.49±0.03b	24.32±8.53b	7.27±2.78b	0.99±0.07a
流动沙地 Shifting sand <i>n</i> = 46	最小值	0.5	0.6	0.15	0.18	0.009	0.48
	最大值	8.4	8.1	0.65	34.75	14.89	2.58
	均值±标准误	2.85±0.29c	2.68±0.28c	0.34±0.02c	7.66±1.49c	1.93±0.48b	1.03±0.07a
样地 Sample plot	沙堆 nebkhas	沙堆短轴/m WIDTH	沙堆长轴/m LENGTH	高度/m HEIGHT	投影面积/m ² AREA	沙堆体积/m ³ VOLUME	沙堆长短比 L/W
固定沙地 Fixed sand <i>n</i> = 17	最小值	1.7	1.8	0.10	1.53	0.13	0.45
	最大值	14.2	12.3	0.56	125.58	34.57	1.30
	均值±标准误	8.26±0.78a	7.06±0.74a	0.29±0.03b	45.94±8.06a	8.02±1.94b	0.88±0.06a
半固定沙地 Semi-fixed sand <i>n</i> = 21	最小值	1.4	1.3	0.10	0.91	0.08	0.55
	最大值	17.3	18.2	2.12	157.43	121.81	1.43
	均值±标准误	6.79±0.93a	6.44±0.96a	0.77±0.01a	40.70±10.13a	26.21±8.09a	0.98±0.05a
流动沙地 Shifting sand <i>n</i> = 46	最小值	1.3	1.2	0.10	0.9	0.03	0.47
	最大值	9.4	10.3	0.60	59.05	21.65	2.06
	均值±标准误	3.98±0.30b	3.65±0.29b	0.27±0.02b	12.27±1.98b	2.80±0.69b	0.96±0.04a

蔓荆灌丛沙堆的形态特征差异显著用不同字母表示($P<0.05$)

表3 蔓荆沙堆与灌丛形态参数间的相关分析
Table 3 Correlation coefficients between *Vitex trifolia* nebkhas and its morphological parameters

样地 Sample plot	形态参数 Morphological parameters	沙堆短轴 WIDTH/W	沙堆长轴 LENGTH/L	沙堆高度 HEIGHT/H	沙堆底面积 AREA/A	沙堆体积 VOLUME/V	沙堆长宽比 L/W
固定沙地 Fixed sand	灌丛长轴	0.760 **	0.990 **	0.061	0.871 **	0.499 *	0.382
	灌丛短轴	0.971 **	0.741 **	0.123	0.866 **	0.676 **	-0.238
	灌丛高度	0.659 **	0.474	-0.213	0.551 *	0.242	-0.184
	灌丛底面积	0.878 **	0.904 **	-0.027	0.969 **	0.623 **	0.108
	灌丛体积	0.859 **	0.828 **	-0.187	0.922 **	0.517 *	0.021
半固定沙地 Semi-fixed sand	灌丛长轴	0.858 **	0.967 **	0.582 **	0.957 **	0.757 **	0.222
	灌丛短轴	0.922 **	0.934 **	0.749 **	0.922 **	0.828 **	0.032
	灌丛高度	0.284	0.322	0.304	0.276	0.251	0.072
	灌丛底面积	0.783 **	0.921 **	0.503 *	0.927 **	0.720 **	0.235

续表							
样地 Sample plot	形态参数 Morphological parameters	沙堆短轴 WIDTH/W	沙堆长轴 LENGTH/L	沙堆高度 HEIGHT/H	沙堆底面积 AREA/A	沙堆体积 VOLUME/V	沙堆长宽比 L/W
流动沙地 Shifting sand	灌丛体积	0.671 **	0.838 **	0.373	0.864 **	0.635 **	0.271
	灌丛长轴	0.783 **	0.963 **	0.463 **	0.882 **	0.733 **	0.288
	灌丛短轴	0.968 **	0.776 **	0.433 **	0.869 **	0.674 **	-0.166
	灌丛高度	0.390 **	0.573 **	0.365 *	0.506 **	0.511 **	0.245
	灌丛底面积	0.883 **	0.880 **	0.441 **	0.941 **	0.766 **	0.054
	灌丛体积	0.760 **	0.860 **	0.487 **	0.922 **	0.847 **	0.129

蔓荆灌丛沙堆的形态参数之间相关性显著* ($P<0.05$), 极显著** ($P<0.01$)

2.2 蔓荆灌丛沙堆形态参数间的关系

植物作为灌丛沙堆形成的基本条件之一,其形态特征与沙堆之间存在一定的相关性。由表 3 可知,3 种沙地类型下灌丛形态与沙堆长/短均低度相关;沙堆高度在固定沙地上与灌丛形态参数无显著关系,流动沙地上显著正相关,半固定沙地上与灌丛水平尺度参数(灌丛长轴、短轴、底面积)显著正相关。3 种类型沙地上沙堆体积均随灌丛底面积的增加而显著线性增加 ($R^2>0.3469$)。此外,半固定沙地上沙堆体积随灌丛底面积增长的斜率(0.6824)最大,流动沙地(0.3541)次之,固定沙地(0.1398)最小(图 4)。说明在沙源相对丰富的情况下,蔓荆灌丛的堆积作用对沙堆形成有较强的促进作用。

3 种沙地类型下蔓荆沙堆的长轴和短轴之间存在极显著的正相关关系(图 2),即灌丛沙堆在水平尺度上是协同变化的;灌丛沙堆高度在固定沙地上与沙堆底面积之间无显著相关性,半固定和流动沙地上与沙堆底面积呈极显著的二次函数关系(图 3),说明沙地未固定时,沙源可为蔓荆灌丛沙堆的高增长提供有利条件;随着沙地固定,沙堆形态基本稳定,高度不再增加。

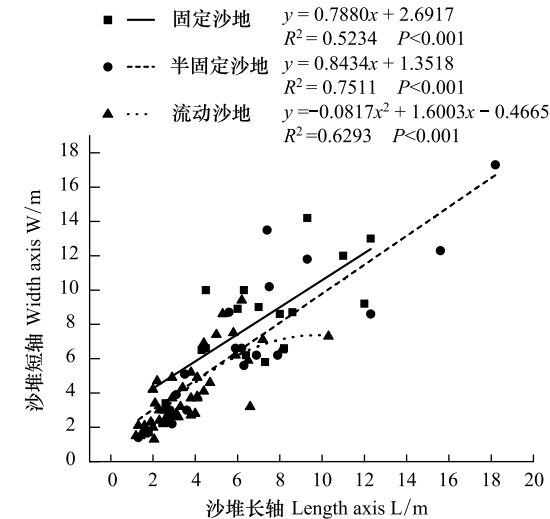


图 2 蔓荆沙堆长轴与短轴的关系
Fig. 2 Relationship between length and width of *Vitex trifolia nebkhas*

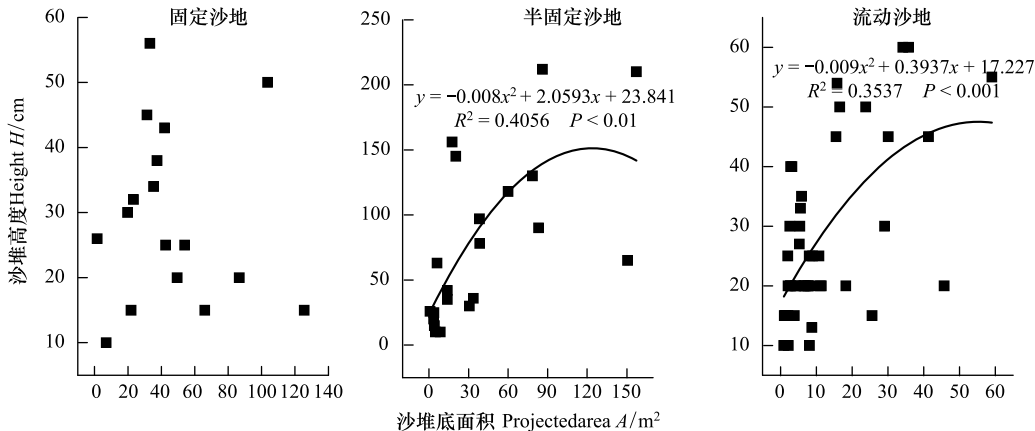


图 3 蔓荆沙堆底面积与沙堆高度的关系
Fig.3 Relationship between projected area and height of *Vitex trifolia nebkhas*

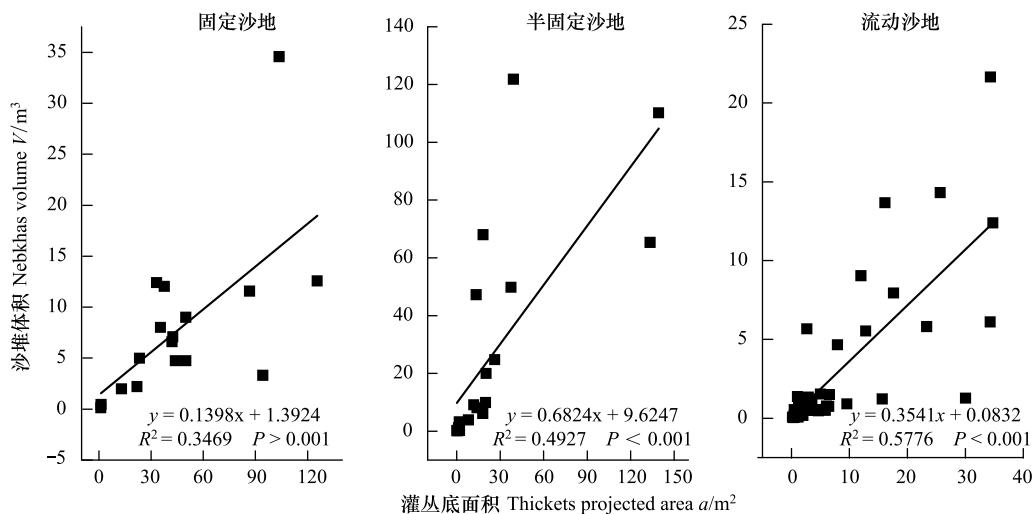


图4 蔓荆灌丛底面积与沙堆体积的关系

Fig.4 Relationship between of *Vitex trifolia* thickets projected area and nebkhas volume

2.3 蔓荆灌丛沙堆的空间分布格局

随着沙地的固定,蔓荆沙堆的数量逐渐减少,对应密度为 511.11 个/ hm^2 、233.33 个/ hm^2 和 188.89 个/ hm^2 ,流动沙地的沙堆数量显著高于固定和半固定沙地,且流动沙地以小型沙堆为主,<10 m^2 沙堆的个数占 65.22%(图 5)。Ripley's $K(t)$ 函数的点格局分析表明(图 6),在 15m 的空间尺度上,3 种类型沙地上灌丛沙堆呈随机分布格局。随着沙地的固定,灌丛沙堆在 0—8m 的尺度上倾向于均匀分布,8—15m 的尺度上更倾向于随机分布。

固定沙地上灌丛沙堆在小于 8m 的尺度上空间正相关,尺度越小相关性越强;半固定和流动沙地上分别在 0—4m 和 2—4m 的尺度上,灌丛沙堆正相关;其余尺度上相关系数接近于 0 或负相关(图 7)。可见不同沙化程度下,灌丛沙堆的空间自相关性都存在一个尺度,固定沙地的空间自相关尺度大于半固定和流动沙地。蔓荆沙堆的大小与相邻空间点上的尺度从另一方面说明了蔓荆耐沙埋的生理和生态特性以及沙堆发育状况,表明固定沙地更适于蔓荆生长,固沙生态效益显著,半固定和流动沙地上灌丛沙堆分别在 0—4m 和 2—4m 尺度上有助于灌丛沙堆固沙效益的发挥。

3 讨论

灌丛作为决定沙堆大小和灌丛植物种组成的重要因素之一^[32-34],其形态构型决定了沙堆发育的大小和形状,不同植物所形成的沙堆形态差异很大。杜建会等^[5]指出垂向生长、分枝少、密度高的灌草丛形成近似圆锥形的沙堆,而植物分枝多、呈簇状分布的灌草丛常形成盾形或半球形沙堆,如 *Arctotheca populifolia* 主要是匍匐生长,高度较矮,且枝条稀疏,形成的灌丛沙堆高度低、面积较大^[3,10,35]。本研究中蔓荆灌丛具有相似的形态构型,枝条以匍匐生长为主,直立生长稀疏,形成的沙堆水平尺度变化幅度大,高度均值仅为 0.44m。此外,不同生境中沙堆的形态特征也存在很大差异^[13,17,32],如半固定沙地蔓荆沙堆具有最大幅度的长、短轴和沙堆高度,流动和固定沙地沙堆的形态参数相对较小,这主要与灌丛的大小和沙源有关。流动沙地上以斑块状小灌丛分布,其固沙能力有限,所形成的沙堆较小;固定沙地植被覆盖度最大,沙源缺乏,沙堆高度仅为 0.29m。与干旱半干旱区的灌丛沙堆相比(表 4),虽然风力资源都很丰富,但是亚热带湿润区沙地的土壤湿度较干旱区高,沙粒风蚀弱,流动沙粒运输距离短,再加上沙堆周边分布有乔木湿地松或木荷等,阻隔削弱了风力,进而使沙源受限,限制了沙堆向高大型发展,因此,蔓荆多形成低矮的盾形沙堆,其沙堆高度大多低于干旱与半干旱区柽柳^[2]、泡泡刺^[6]、白刺^[13]等形成的灌丛沙堆(表 4)。

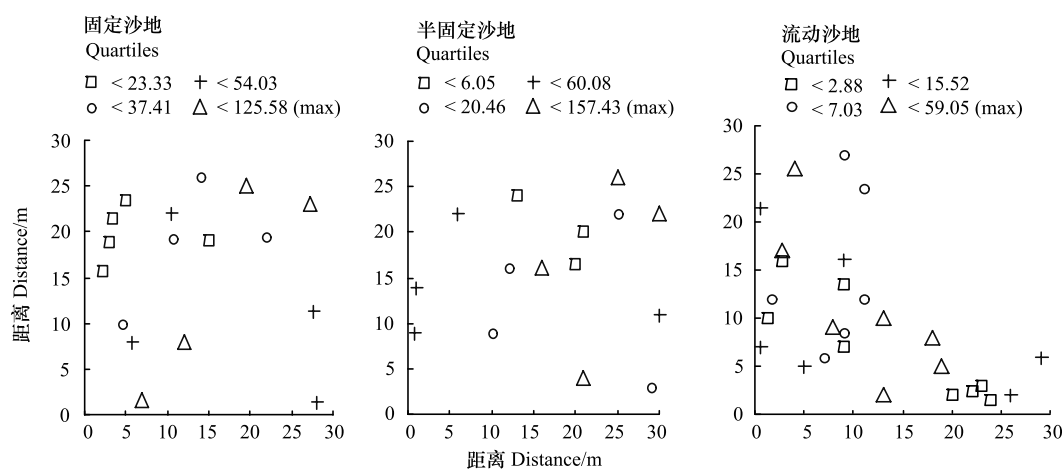


图5 3个样地内蔓荆灌丛的空间分布

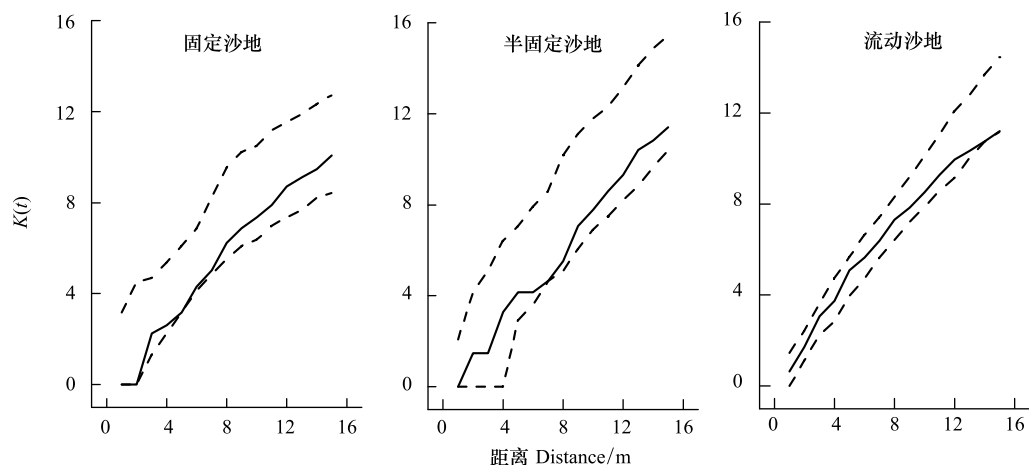
Fig.5 Spatial distribution of *Vitex trifolia nebkhas* in the 3 sample plots

图6 3个样地内蔓荆灌丛的空间点格局分析

Fig.6 Spatial distribution pattern of *Vitex trifolia nebkhas* in the 3 sample plots

图中虚线为上下包迹线,实线为实测数据计算各尺度下的 $K(t)$

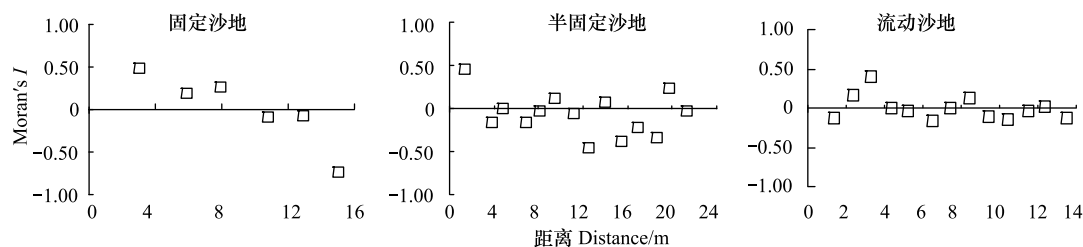


图7 3个样地内蔓荆灌丛沙堆空间自相关分析

Fig.7 Spatial autocorrelation of *Vitex trifolia nebkhas* in the 3 sample plots

研究区3个样地之间距离10m,风力作用基本一致,影响灌丛沙堆发育的因素以植物和沙源为主。流动和半固定沙地上沙源相对丰富,蔓荆沙堆的形态参数间显著相关,其形态变化具有同步性^[4,16];而半固定沙地上灌丛沙堆的形态参数之间较流动沙地具有更高的相关关系,而且灌丛面积与沙堆体积具有较高斜率的线性关系,这是由于半固定沙地较大的灌丛对沙粒具有更强的拦截作用,沙堆体积随灌丛面积增长迅速^[4],流动

沙地上蔓荆灌丛较小,枝条疏透性大,对沙粒的拦截率低,沙堆显著小于半固定沙地^[36];对固定沙地来说,沙源有限,不利于沙堆增长,其沙堆高度与水平尺度的形态参数间无显著相关性。这与其他学者的研究结果^[37,38]不全一致。他们指出,雏形阶段灌丛沙堆水平尺度和高度的增长之间无明显相关性,发育阶段灌丛沙堆高度随水平尺度的增长出现二次函数增长规律。本研究区灌丛沙堆在流动沙地上基本处于雏形阶段,半固定沙地上处于发育阶段,其水平尺度与沙堆高度均显著正相关,这可能是由植物种类和立地条件的差异引起的。亚热带湿润环境下沙粒贴近地表以蠕移或跃移为主,蔓荆匍匐生长、直立枝条稀疏的构型更利于沙堆形成,雏形阶段沙堆水平尺度与高度出现协同变化,而干旱环境下沙粒悬移量增加,白刺通过增加分枝率、分枝长度和角度来固沙^[39],不利于沙堆水平尺度的增长,因此,雏形阶段沙堆水平尺度和高度未表现出一定的相关性。

表 4 鄱阳湖沙地蔓荆灌丛沙堆高度与其它研究对比

Table 4 Comparison of the height of *Vitex trifolia* nebkhas in the Poyang lake sand and other regions

研究区域 Study area	植物种类 Plant species	沙堆高度 Nebkhas height/m	高度均值 Average height/m	沙堆形状 Nebkhas shape	参考文献 References
鄱阳湖沙地	蔓荆	0.10—2.12	0.44	盾形	本研究
塔克拉玛干沙漠南缘	怪柳	0.27—3.21	1.35	凸起半椭球状	[2]
巴丹吉林荒漠绿洲过渡带	泡泡刺	0.10—2.50	1.13	近圆形或椭圆形	[6]
巴丹吉林沙漠东南缘绿洲过渡带	白刺	0.08—3.40	0.58	球冠状沙包	[13]

鄱阳湖区 3 种类型沙地上灌丛沙堆均呈随机分布,这种分布格局是由灌丛的随机分布引起的^[13]。这种分布格局使灌丛沙堆的空间自相关性 Moran's I 在 -0.5 和 0.5 之间,从固定到流动沙地,自相关系数趋向于 0,说明研究区蔓荆灌丛之间几乎不存在种群内个体间的吸引,这与张进虎等^[13]关于无人干扰的荒漠区灌丛植被、以及彭飞等^[11]关于民勤荒漠绿洲过渡带白刺灌丛沙堆的随机分布格局的结论一致。可能是由于沙地普遍干旱贫瘠,植物生长可利用的资源不足,使鄱阳湖区 80 年代人工均匀栽植的蔓荆^[40]发生了自组织现象,部分植株“抱团”或者“消亡”,从而形成沙地上斑块状分布的灌丛沙堆。为了减少灌丛植被之间对环境资源的竞争,灌丛通过自身调节生长空间形成随机分布格局,进而导致沙堆的随机分布,彼此之间相关性降低或者无相关性。关于固沙植被的分布格局,赵文智等^[41]指出,由于气候变化和人类活动的干扰,干旱环境下植被格局通常会由最初的均匀分布向聚集状态演变,人工固沙均匀栽植的植被出现斑块化分布。鄱阳湖区沙地蔓荆已由均匀分布演变为随机分布,是否也会出现与干旱区人工固沙植被自组织一样的聚集分布格局,这一点尚需进一步研究。

4 结论

在亚热带湿润区鄱阳湖不同沙化程度的沙地上,蔓荆灌丛沙堆形状呈盾形或半圆形,其冠幅的变化幅度为 1.2—18.2m,沙堆高度变幅为 0.10—2.12m,;半固定和流动沙地上蔓荆灌丛沙堆多处于成长阶段;与固定和流动沙地相比,半固定沙地上灌丛沙堆的底面积与沙堆体积之间线性相关的斜率最大,而且不同沙化程度下蔓荆灌丛与灌丛沙堆的形态参数间极显著相关;随着沙化程度增强,灌丛沙堆密度增大,在沙地上均呈随机分布格局。

参考文献 (References):

- [1] Tengberg A. Nebkha dunes as indicators of wind erosion and land degradation in the Sahel zone of Burkina Faso. *Journal of Arid Environments*, 1995, 30(3): 265-282.
- [2] 杨帆, 王雪芹, 何清, 郑新倩, 韩章勇, 霍文. 绿洲-沙漠过渡带怪柳灌丛沙堆形态特征及空间分布格局. *干旱区研究*, 2014, 31(3): 556-563.
- [3] 王翠, 雷加强, 李生字, 毛东雷, 再努拉·热合木吐拉, 周杰. 新疆策勒绿洲-沙漠过渡带花花柴 (*Karelinia caspica*) 沙堆的形态特征. 中

- 国沙漠, 2013, 33(4): 981-989.
- [4] 陈东, 张宇清, 吴斌, 秦树高, 张举涛, 高浩. 毛乌素沙地南缘油蒿 (*Artemisia ordosica*) 灌丛沙堆形态特征. 中国沙漠, 2015, 35(3): 565-572.
- [5] 杜建会, 严平, 董玉祥. 干旱地区灌丛沙堆研究现状与展望. 地理学报, 2010, 65(3): 339-350.
- [6] 刘冰, 赵文智. 荒漠绿洲过渡带泡泡刺灌丛沙堆形态特征及其空间异质性. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2814-2820.
- [7] 韩磊, 张媛媛, 马成仓, 高玉葆. 狭叶锦鸡儿 (*Caragana stenophylla*) 灌丛沙堆形态发育特征及固沙能力. 中国沙漠, 2013, 33(5): 1305-1309.
- [8] 吴汪洋, 张登山, 田丽慧, 张明远, 周鑫. 高寒沙地植物的沙堆形态特征及其成因分析. 干旱区研究, 2018, 35(3): 713-721.
- [9] 左合君, 杨阳, 张宏飞, 姚立强, 闫旭东, 吴晓光, 刘宝河, 闫敏. 阿拉善戈壁区白刺灌丛沙堆形态特征研究. 水土保持研究, 2018, 25(1): 263-269.
- [10] Hesp P. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 2002, 48(1/3): 245-268.
- [11] 彭飞, 王涛, 刘立超, 黄翠华. 民勤荒漠绿洲过渡带白刺灌丛沙堆演化阶段及其空间格局. 中国沙漠, 2012, 32(3): 593-599.
- [12] 刘冰, 赵文智, 杨荣. 荒漠绿洲过渡带怪柳灌丛沙堆特征及其空间异质性. 生态学报, 2008, 28(4): 1446-1455.
- [13] 张进虎, 唐进年, 李得禄, 魏林源, 满多清, 柴成武. 民勤荒漠绿洲过渡带灌丛沙堆形态特征及分布格局. 中国沙漠, 2015, 35(5): 1141-1149.
- [14] Hesp P, McLachlan A. Morphology, dynamics, ecology and fauna of *Arctotheca populifolia* and *Gazania rigens* nabkha dunes. *Journal of Arid Environments*, 2000, 44(2): 155-172.
- [15] 武胜利, 李志忠, 惠军, 葛琳, 何牡丹. 和田河流域灌(草)丛沙堆的形态特征与发育过程. 地理研究, 2008, 27(2): 314-322.
- [16] 张萍, 哈斯, 岳兴玲, 庄燕美. 白刺灌丛沙堆形态与沉积特征. 干旱区地理, 2008, 31(6): 926-932.
- [17] 刘金伟, 李志忠, 武胜利, 李万娟, 王少朴, 曹向东, 凌智永. 新疆艾比湖周边白刺沙堆形态特征空间异质性研究. 中国沙漠, 2009, 29(4): 628-635.
- [18] 朱震达. 湿润及半湿润地带的土地风沙化问题. 中国沙漠, 1986, 6(4): 1-13.
- [19] 赵其国, 黄国勤, 钱海燕. 鄱阳湖生态环境与可持续发展. 土壤学报, 2007, 44(2): 318-326.
- [20] 胡胜华, 常旭. 鄱阳湖砂山地区地表环境结构与其植物多样性的变化. 北京林业大学学报, 2007, 29(6): 86-92.
- [21] 杨洁, 左长清. 蔓荆在鄱阳湖风沙区的适应性及防风作用研究. 水土保持研究, 2004, 11(1): 47-49.
- [22] 乔勇进, 张敦论, 郝金标. 单叶蔓荆生物生理特性的研究. 防护林科技, 2001, (2): 6-9.
- [23] Hossain M M, Paul N, Sohrab M H, Rahman E, Rashid M A. Antibacterial activity of *Vitex trifolia*. *Fitoterapia*, 2001, 72(6): 695-697.
- [24] Ko W G, Kang T H, Lee S J, Kim N Y, Kim Y C, Sohn D H, Lee B H. Polymethoxyflavonoids from *Vitex rotundifolia* inhibit proliferation by inducing apoptosis in human myeloid leukemia cells. *Food and Chemical Toxicology*, 2000, 38(10): 861-865.
- [25] 乔勇进, 许景伟, 张敦论. 单叶蔓荆人工扩繁技术及生理特性的研究. 中国野生植物资源, 2003, 22(2): 49-52.
- [26] 杨达源. 江南的晚更新世风成砂丘. 中国沙漠, 1985, 5(4): 36-43.
- [27] 韩志勇, 李徐生, 张兆干, 陈英勇, 杨达源, 弋双文, 鹿化煜. 鄱阳湖湖滨沙山垄状地形的成因. 地理学报, 2010, 65(3): 331-338.
- [28] 任黎秀, 和艳, 杨达源. 鄱阳湖湖滨十万年来沙山的演化. 地理研究, 2008, 27(1): 128-134.
- [29] 魏宗贤, 周赛霞, 彭焱松, 桂忠明, 牛艳丽, 詹选怀. 鄱阳湖沙地沙漠化过程中单叶蔓荆群落结构和功能特征. 广西植物, 2011, 31(5): 620-626.
- [30] 时培建, 郭世权, 杨清培, 王兵, 杨光耀, 方楷. 毛竹的异质性空间点格局分析. 生态学报, 2010, 30(16): 4401-4407.
- [31] 贾晓红, 李新荣. 腾格里沙漠东南缘不同生境白刺 (*Nitraria*) 灌丛沙堆的空间分布格局. 环境科学, 2008, 29(7): 2046-2053.
- [32] 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. 中国沙漠, 2015, 35(3): 573-581.
- [33] 邢媛媛, 王永东, 雷加强. 草地灌丛化对植被与土壤的影响. 干旱区研究, 2017, 34(5): 1157-1163.
- [34] 李少华, 张立恒, 王学全, 陈新均, 高琪. 高寒灌木固沙区土壤性状与植被生长特征的相关分析. 干旱区研究, 2017, 34(6): 1331-1337.
- [35] 岳兴玲, 哈斯, 庄燕美, 张军. 沙质草原灌丛沙堆研究综述. 中国沙漠, 2005, 25(5): 738-743.
- [36] 路荣, 贾超, 郝红敏, 黄泽, 刘玉, 苗海涛, 武高林. 水蚀风蚀交错带灌丛沙堆形态演替及水养特征变化. 水土保持学报, 2018, 32(3): 74-79, 85.
- [37] 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. 生态学杂志, 2007, 26(8): 1165-1170.
- [38] Tengberg A, Chen D L. A comparative analysis of nebkhas in central Tunisia and northern Burkina Faso. *Geomorphology*, 1998, 22(2): 181-192.
- [39] 何明珠, 王辉, 张景光. 民勤荒漠植物枝系构型的分类研究. 西北植物学报, 2005, 25(9): 1827-1832.
- [40] 莫明浩, 汤崇军, 涂安国, 郑海金. 鄱阳湖泥沙及沙地研究进展评述. 中国水土保持, 2011, (8): 45-47.
- [41] 赵文智, 郑颖, 张格非. 绿洲边缘人工固沙植被自组织过程. 中国沙漠, 2018, 38(1): 1-7.