

李向洁,李志文,杜丁丁,等.南昌厚田沙地蔓荆(*Vitex trifolia*)灌丛沙堆的沉积物与空间格局特征[J].中国沙漠,2022,42(6): 211-220.

南昌厚田沙地蔓荆(*Vitex trifolia*)灌丛沙堆的沉积物与空间格局特征

李向洁^{1,2,4},李志文^{2,3},杜丁丁²,孙丽^{2,3},侯楚²,李世乾²,张雯²

(1.中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101; 2.东华理工大学 地球科学学院,江西 南昌 330013; 3.佛山科学技术学院 环境与化学工程学院,广东 佛山 528225; 4.中国科学院大学,北京 100049)

摘要:为探讨亚热带湿润地区不同演化阶段灌丛沙堆的特征及其与环境间的相互作用关系,以南昌市厚田沙地蔓荆(*Vitex trifolia*)灌丛沙堆为研究对象开展野外调查与研究,对各演化阶段灌丛沙堆的形态参数进行实地测量以分析其形态特征,对不同地貌部位的表层沉积物进行采样以分析其粒度特征,并通过野外实地定位与遥感卫星影像图记录沙堆位置,以分析灌丛沙堆的空间分布格局。结果表明:厚田沙地蔓荆灌丛沙堆以稳定阶段为主,占比58.82%,衰退阶段次之,占比36.90%,发育阶段最少,仅占4.28%;各基本形态参数表现为稳定阶段>衰退阶段>发育阶段。沙堆表层的沉积物表现为稳定阶段细颗粒较多,发育阶段粗颗粒较多,衰退阶段居中;平均粒径表现为稳定阶段最小,为1.86 Φ ,衰退阶段次之,为1.75 Φ ,发育阶段最粗,为1.67 Φ ;顶部—中部—边缘—丘间低地的各地貌部位中,稳定和衰退阶段沉积物的平均粒径逐渐变粗,发育阶段无明显变化趋势。灌丛沙堆整体在大部分距离尺度上呈聚集分布状态,各演化阶段的沙堆中,发育阶段与其他两阶段的沙堆在各距离尺度上均无关联性,稳定与衰退阶段的沙堆在中小距离尺度上呈正关联性,反映出厚田沙地主要灌丛沙堆间的相互依赖性及群体效应。

关键词:厚田沙地;灌丛沙堆;演化阶段;沉积物;空间分布格局

文章编号: 1000-694X(2022)06-211-10

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2022.00075

中图分类号: S152.3

文献标志码: A

0 引言

灌丛沙堆是分布在干旱半干旱地区的荒漠、半湿润地区的沙质海岸及河湖周边地区的风积地貌^[1]。对不同演化阶段灌丛沙堆的形态特征^[2]、沉积物特征^[3]、空间分布格局^[4]等的研究有利于分析灌丛沙堆在演化过程中与区域环境及人类活动相互作用的机制,以探讨其在维护生态环境方面的意义。随着灌丛沙堆的演化,其形态特征会发生相应的变化,沉积物粒度也会因灌丛生理、生态特征的不同而产生一定的差别^[5]。因此对不同演化阶段灌丛沙堆沉积物的粒度特征进行研究,有助于分析其表层受到的风沙流作用力大小,判断不同演化阶段的沙堆阻沙滞沙的能力。灌丛沙堆的空间分布格局是众

多生态过程综合作用的结果,植物的空间分布格局常与潜在的生物或非生物过程有一定的内在联系,可反映出区域环境内的异质性及其内在特性^[6],在解释物种共存、物种与生境关系及种群生态过程中有重要作用^[7],沙堆作为灌丛生存的载体,其空间分布格局也可反映出上述关系^[8]。在不同区域环境下,因土壤水分、植被类型、植被覆盖度、风力等因素的不同,灌丛沙堆表现出的空间分布格局具有较大差异。因此研究灌丛沙堆的空间分布格局不仅可反映出区域环境的空间特性,也对沙堆在区域中的生态适应对策及个体间关联性有一定的指示作用^[9]。

目前国内对灌丛沙堆的研究主要在干旱半干旱地区。亚热带湿润地区河湖周边的风沙化土地也发育了一定规模的灌丛沙堆,但对其研究较少。

收稿日期:2022-02-23; 改回日期:2022-04-22

资助项目:国家自然科学基金项目(41571007,41201006);江西省数字国土重点实验室开放基金项目(DLLJ201913);江西省研究生创新基金项目(YC2020-S483)

作者简介:李向洁(1997—),女,河南商丘人,硕士研究生,主要从事风沙地貌研究。E-mail: lixj199709@163.com

通信作者:李志文(E-mail: lizw1982@163.com)

厚田沙地作为亚热带湿润地区的典型风沙化土地,沙源为当地下伏的第四纪古风成沙,其形成原因、分布范围、治理与开发利用途径均与干旱半干旱地区形成的荒漠存在差异^[10],脆弱的生态环境导致季风盛行时风沙肆虐,侵袭周边的村落与农田,对当地人民的生产和生活造成一定的影响^[11],因此灌丛沙堆的存在对风沙化土地的防风固沙尤为重要。在厚田沙地20世纪80年代的植物引种与沙地生态修复实践中,引入大量植物种,结果证明蔓荆(*Vitex trifolia*)对当地的气候与环境具有良好的适应性和防风固沙作用,因此发育了大量的蔓荆灌丛沙堆。目前关于厚田沙地蔓荆灌丛沙堆的总体形态与沉积物特征已有较为详细的描述与分析^[11-12],然而对其不同演化阶段沙堆的形态、沉积物与空间分布特征尚未明确。

因此本文对厚田沙地不同演化阶段的蔓荆灌丛沙堆展开研究。通过分析各演化阶段沙堆的形态参数与表层沉积物的粒度特征,判断不同演化阶段沙堆的生态特征变化及其对表层沉积物的影响。同时,分析沙堆的空间分布格局及其各演化阶段间的关联性,以探讨沙堆的总体分布状态及其不同演化阶段之间的相互关系。这对深入了解亚热带湿

润区不同演化阶段灌丛沙堆的特征及其与区域环境间的相互作用具有重要意义,也可为当地风沙环境的治理提供基础数据与理论依据。

1 研究区概况

厚田沙地位于江西省南昌市新建区厚田乡南部(28°25′—28°30′N、115°46′—115°48′E,图1)、赣江和锦江的交汇处西岸,面积约2.8 km²,海拔15—48 m^[13]。气候类型属于亚热带湿润季风气候,全年无霜期260 d,年均气温17.1—17.8 °C,年降水量1 519.3 mm,年蒸发量1 880.0 mm,常年风速较大,以北风和北北东风为主^[10]。厚田沙地沉积物主要来自下伏的第四纪古风成沙和古赣江沉积物,河流下切导致两岸抬升,河漫滩裸露,河床和河漫滩沉积物在冬、夏季风的吹蚀、搬运和堆积作用下,形成了如今的沙地景观^[14]。沙地植物种类主要有蔓荆、湿地松(*Pinus elliotti*)、球柱草(*Bulbostylis barbata*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)等,在强劲的风力和沙源供给条件下,发育了较多不同类型、规模和形态的灌丛沙堆,其中固沙能力较强的蔓荆为其主要植被类型。

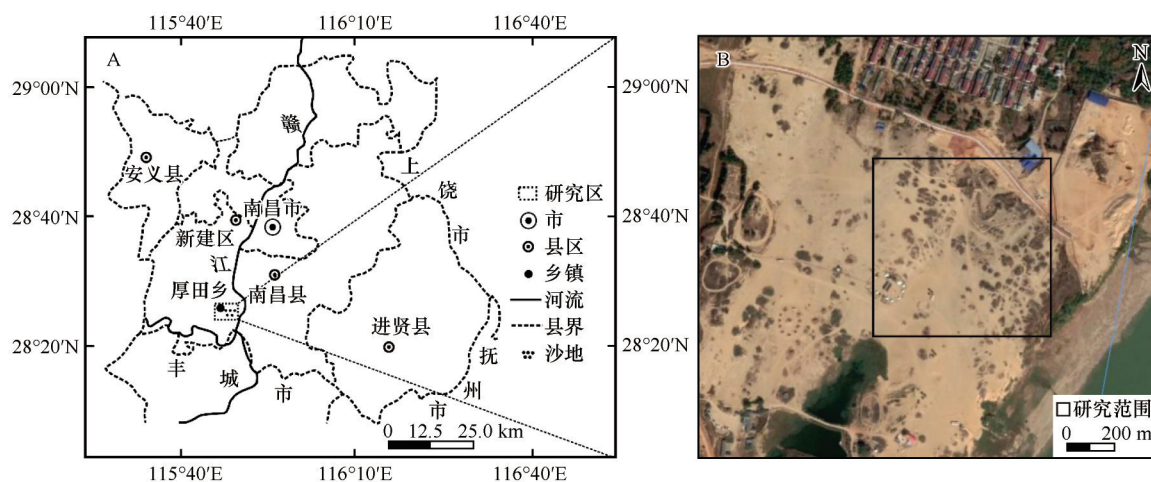


图1 厚田沙地的地理位置与卫星影像图

Fig.1 Location and satellite imagery of the Houtian sandy land

2 研究方法

本研究于2021年4月在厚田沙地开展野外实地调研与考察,选取600 m×600 m范围的研究区域(蔓荆灌丛沙堆广泛分布区),对此范围内共计187个灌丛沙堆展开研究。其中随机抽取3种演化阶段中各8个灌丛沙堆,对共24个沙堆的形态参数展开测量并进行

沉积物采样,以分析沙堆的形态与沉积物特征;同时,结合遥感影像数据实地记录每个沙堆的地理位置,以东西为X轴,南北为Y轴,根据研究范围计算每个沙堆的XY坐标值,以分析沙堆的空间分布格局。

2.1 演化阶段的划分

前人常根据灌丛沙堆的形态、植被生长状况与

表层土壤等特征,将其划分为不同的演化阶段^[15]。本文参考 Hesp 等^[3]、武胜利等^[16]划分方法,并根据沙堆的形态、体积、植被生长状况与土壤表皮厚度等特征(表 1),将其划分为发育阶段、稳定阶段和衰退阶段(图 2)。

2.2 形态参数的测量

为研究灌丛沙堆不同演化阶段的形态特征,对选取的各演化阶段、共 24 个灌丛沙堆的基本形态参数(长轴 L 、短轴 W 与高度 H)进行测量(图 3),并对其进行统计分析。

表 1 各演化阶段蔓荆 (*Vitex trifolia*) 灌丛沙堆形态特征
Table 1 The morphology characteristics of *Vitex trifolia* nebkhas in different evolution stages

演化阶段	形态特征	植被特征	土壤表皮特征	调查数量
发育阶段	锥形或半球形	植被单株或多株生长,迎风坡植被少,背风坡植被多且长势好	迎风坡为流沙,背风坡表层有部分结皮	8
稳定阶段	半椭圆形或盾形	植被多株生长且长势较好,迎风坡植被盖度略小于背风坡	迎风坡和背风坡均有结皮,且结皮较厚、坚固	110
衰退阶段	盾形或不规则形	植被多株生长但长势较差,枯枝较多,两侧盖度相近	部分结皮风蚀破裂,有流沙出现	69



图 2 各演化阶段蔓荆 (*Vitex trifolia*) 灌丛沙堆
Fig.2 Schematic diagram of *Vitex trifolia* nebkhas in different evolution stages

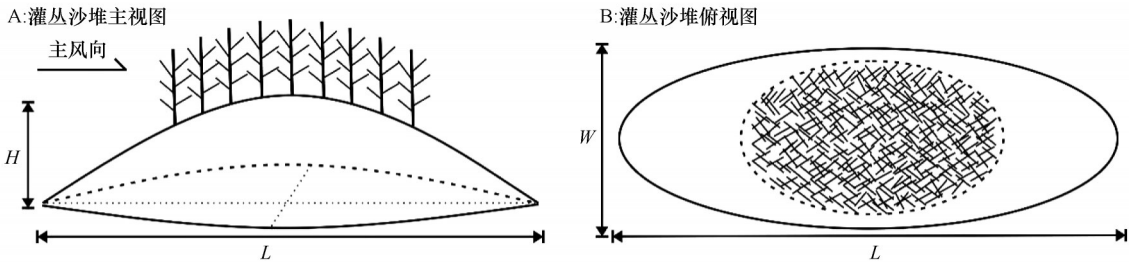


图 3 灌丛沙堆形态参数示意图
Fig.3 Sketch of morphological parameters of nebkhas

2.3 沉积物采样及粒度分析

为研究厚田沙地蔓荆灌丛沙堆各演化阶段表层的沉积物粒度特征,对选取的各演化阶段、共 24 个灌丛沙堆表层进行采样,采集表层约 20 cm×20 cm 面积范围内的沉积物样品,其中在沙堆四个方向的中部、边缘、丘间低地部位(图 4)各采样 1 次混合为 1 个土样,在沙堆顶部采样 1 次并确保与其他 3 个部位采样量大致相同,均为 200 g 左右,共计 96 个沉积物样品。采用 Konert 等^[17]提出的方法对沙样进行预处理,用英国 Malvern Mastersizer

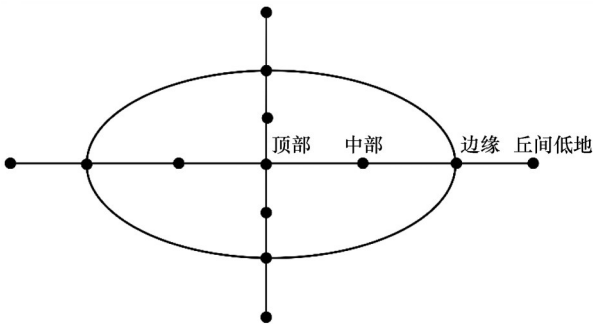


图 4 灌丛沙堆各地貌部位沉积物采样点
Fig.4 Sampling points of sediments in various geomorphological positions of nebkhas

2000M型激光粒度分析仪(测试范围为0.02—2 000 μm)进行粒度分析,重复测量误差 $<2\%$,每个样品重复测试3次,重复性好则取平均值,否则重新测试。采用Folk等^[18]的公式计算平均粒径 M_z ,粒度单位采用 Φ 值;粒度分级采用伍登-温特沃斯(Udden-Wentworth)^[19]分类方法,将沙粒分为黏粒(0.02—2 μm)、粉沙(2—63 μm)、极细沙(63—125 μm)、细沙(125—250 μm)、中沙(250—500 μm)、粗沙(500—1 000 μm)、极粗沙(1 000—2 000 μm)7个粒级。所有测量均在东华理工大学核资源与环境国家重点实验室完成。

2.4 空间格局分析

采用点格局方法对灌丛沙堆的空间分布格局进行分析,根据建立的沙堆空间二维坐标,结合样方面积,选取0—300 m的空间尺度范围,运用成对相关函数 $g(r)$,计算不同空间尺度下的 $g(r)$ 函数值,对灌丛沙堆进行空间点格局分析^[20]。同时分析样方内不同演化阶段灌丛沙堆之间的空间关联性,即将 $g(r)$ 函数用于双变量中进行分析并计算 $g_{12}(r)$ ^[21]。 $g(r)$ 函数值若在上包迹线上方,表明各灌丛沙堆趋向于聚集分布;在上、下包迹线之间,为随机分布;在下包迹线下方则为均匀分布^[22]。对不同演化阶段的沙堆进行两两关联性分析,当 $g_{12}(r)$ 函数值在上包迹线上方时,表明二者为正关联性;在上、下包迹线之间时,二者无显著关联性;在下包迹线下方时,二者为负关联性^[23]。

2.5 数据分析

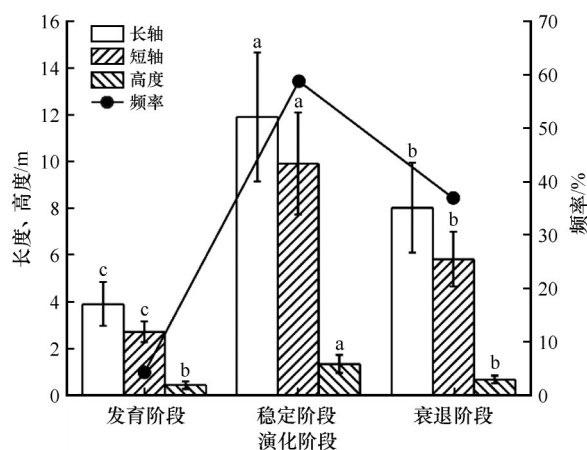
运用Excel 2019软件对所有数据进行整理,IBM SPSS 25.0软件对数据进行差异性分析,Origin 2018软件进行绘图。采用生态学软件Programita^[24]完成空间点格局分析,由于研究区内灌丛沙堆没有表现出明显的随机分布而趋向于聚集分布,因此使用异质泊松模型分析空间格局^[25],并根据模型需要,运用Monte Carlo计算方法随机模拟检验100次后得到99%的置信区间。

3 结果与分析

3.1 各演化阶段灌丛沙堆的频率分布与形态参数

对厚田沙地187个不同演化阶段的灌丛沙堆调查结果显示,稳定阶段沙堆占研究区沙堆总数的

58.82%,其次为衰退阶段,为36.90%,发育阶段仅占4.28%,研究区大部分灌丛沙堆处于稳定状态。对各演化阶段灌丛沙堆的基本形态参数(沙堆长轴、短轴、高度)统计可得,发育阶段沙堆长轴平均值为3.90 m,短轴为2.71 m,高度为0.43 m;稳定阶段长轴为11.93 m,短轴为9.91 m,高度为1.33 m;衰退阶段长轴为8.01 m,短轴为5.81 m,高度为0.66 m(图5)。各形态参数均表现为稳定阶段>衰退阶段>发育阶段,除发育阶段与衰退阶段的沙堆高度差异性不显著外($P>0.05$),其他各演化阶段的形态参数间均具有极显著差异性($P<0.01$)。



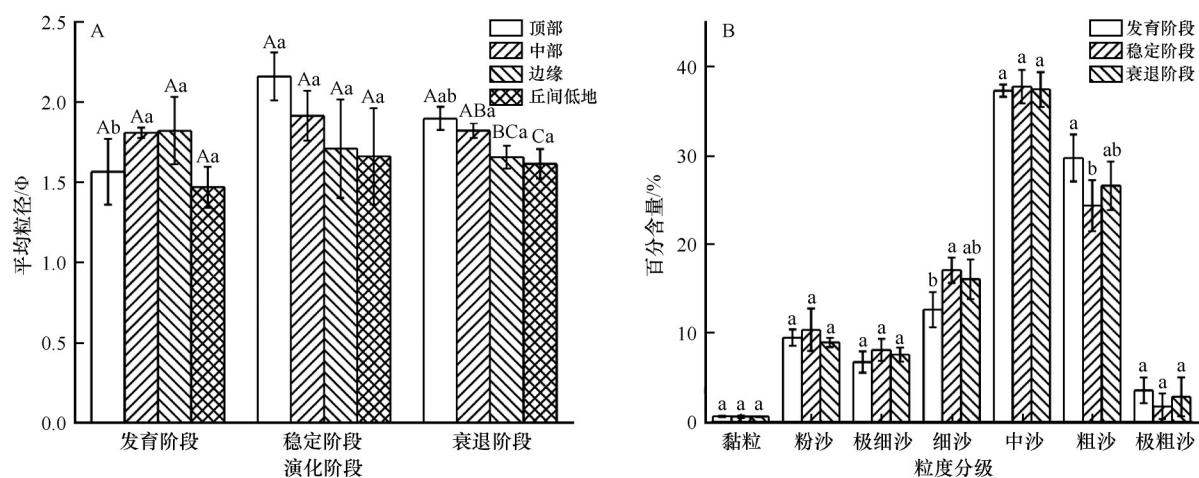
不同字母表示各形态参数在不同演化阶段间的差异显著($P<0.05$)

图5 灌丛沙堆各演化阶段的分布频率与形态参数

Fig.5 Distribution frequency and morphological parameters of nebkhas in each developmental stage

3.2 各演化阶段灌丛沙堆的沉积物粒度

各演化阶段的灌丛沙堆中,稳定阶段沙堆表层沉积物的平均粒径 M_z (1.86 Φ)小于发育(1.67 Φ)和衰退(1.75 Φ)阶段(图6)。各演化阶段灌丛沙堆从顶部至丘间低地部位,稳定与衰退阶段表层沉积物的平均粒径逐渐变大,发育阶段则无明显变化趋势。各演化阶段的不同地貌部位中,衰退阶段各地貌部位间的平均粒径具有显著差异($P<0.05$)。发育阶段与稳定阶段的顶部平均粒径具有极显著差异($P<0.01$),而其他差异无统计学意义。各演化阶段灌丛沙堆的表层沉积物均以中沙和粗沙为主,细沙、粉沙、极细沙次之,极粗沙和黏粒最少。各演化阶段灌丛沙堆的沉积物中,发育阶段细沙百分含量显著低于稳定阶段($P<0.05$),粗沙含量显著高于稳定阶段($P<0.05$);稳定阶段中沙及以下粒级百分含量较高,粗沙及以上粒级百分含量较低,但差异均



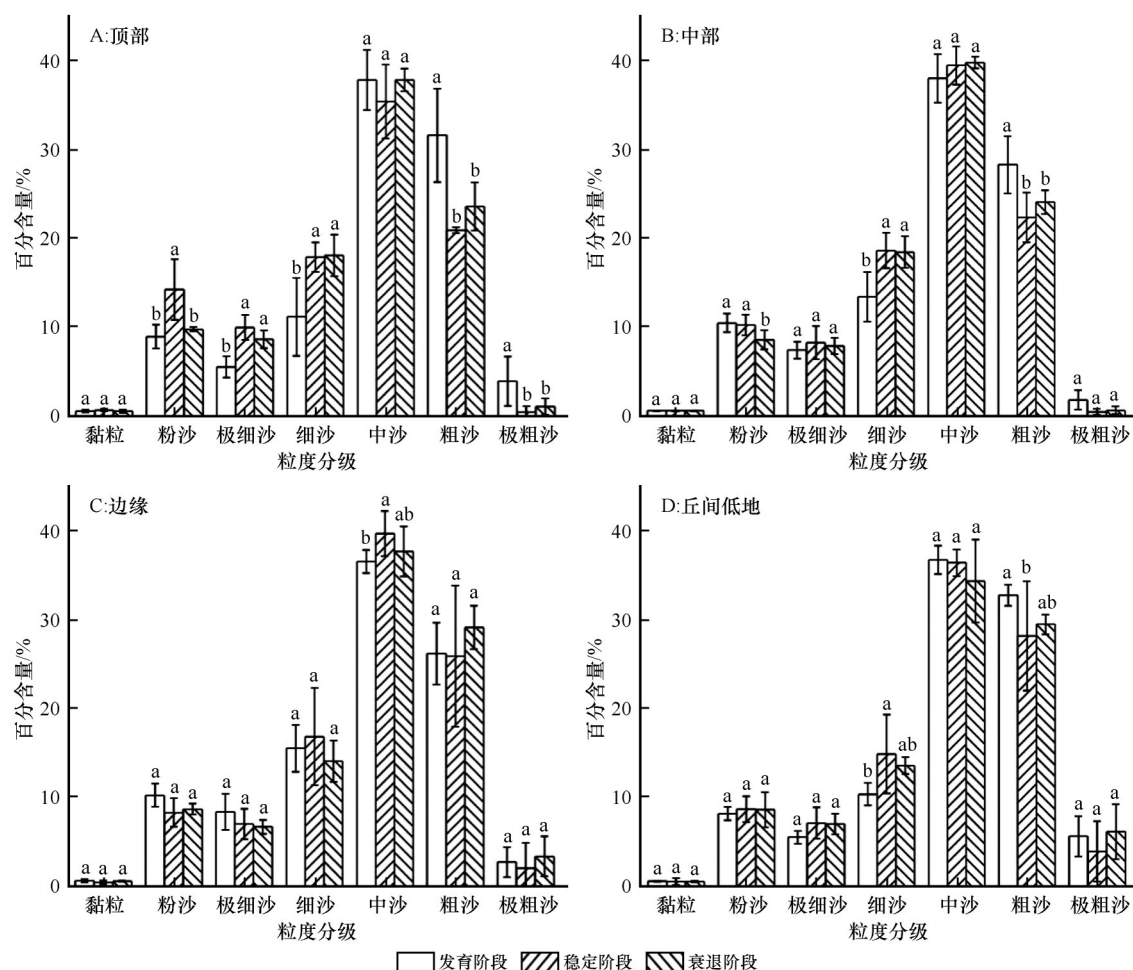
图A不同大写字母表示同一演化阶段不同部位之间的平均粒径差异显著($P < 0.05$),不同小写字母表示同一部位不同演化阶段之间的平均粒径差异显著($P < 0.05$);图B不同字母表示各粒级百分含量在不同演化阶段间的差异显著($P < 0.05$)

图6 灌丛沙堆各演化阶段沉积物的平均粒径(A)与粒度分级(B)

Fig.6 Average particle size (A) and grain size distribution (B) of the sediments in each developmental stage of the nebkhas

不显著($P > 0.05$);衰退阶段各粒级百分含量大多在3个演化阶段里居中且差异不显著($P > 0.05$)。

灌丛沙堆各演化阶段不同地貌部位的粒级百分含量如图7所示。



不同字母表示各粒级百分含量在不同演化阶段间的差异显著($P < 0.05$)

图7 灌丛沙堆各演化阶段不同地貌部位沉积物的粒度分级

Fig.7 Grain size distribution of sediments in different geomorphological positions in each developmental stage of nebkhas

沙堆顶部,发育阶段粗沙与极粗沙百分含量极显著高($P<0.01$),粉沙、极细沙与细沙含量极显著低($P<0.01$),稳定阶段粉沙、极细沙与细沙含量极显著高($P<0.01$),粗沙与极粗沙含量极显著低($P<0.01$),衰退阶段各粒级百分含量均居中,差异性相对不显著。

沙堆中部,发育阶段细沙百分含量极显著低($P<0.01$),粗沙含量极显著高($P<0.01$);衰退阶段粉沙含量显著低($P<0.05$);其他各粒级不同演化阶段差异性相对不显著。

沙堆边缘,仅稳定阶段的中沙含量显著高于发育阶段($P<0.05$),其他各粒级不同演化阶段差异性不显著。

丘间低地,发育阶段细沙含量极显著低于稳定阶段($P<0.01$),粗沙含量显著高于稳定阶段($P<0.05$),其他各粒级不同演化阶段差异性相对不显著。

总体来看,发育阶段粗颗粒百分含量较高,细颗粒较低;稳定阶段细颗粒百分含量较高,粗颗粒较低;衰退阶段各粒级百分含量居中。

3.3 灌丛沙堆的空间分布格局

根据厚田沙地研究范围内建立的灌丛沙堆二维空间坐标(图8)对其进行空间格局分析,以判断沙堆在不同距离尺度上的分布特征。由所有沙堆在各距离尺度上的 $g(r)$ 函数曲线图(图9)可知, $g(r)$ 函数值在 <4 m尺度位于下包迹线下方,沙堆趋向均匀分布状态;在4—6 m尺度位于上下包迹线中间,沙堆趋向随机分布状态;在6—240 m尺度位于

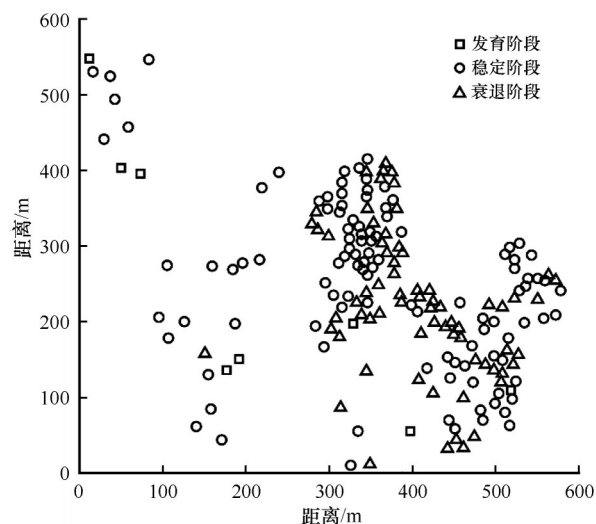


图8 灌丛沙堆各演化阶段的空间分布

Fig.8 Spatial distribution of nebkhas in each developmental stage

上包迹线上方,沙堆趋向明显聚集分布状态,其中当距离尺度为14 m时, $g(r)$ 函数值达到最大,表明其聚集程度最为明显。随着尺度范围的增大,距离尺度 >240 m后,分布状态又从聚集分布转为随机和均匀分布。总体来看,研究区灌丛沙堆在大部分距离尺度上为聚集分布的状态。

对各演化阶段的灌丛沙堆进行不同距离尺度上的两两关联性分析可得,发育与稳定阶段沙堆的 $g_{12}(r)$ 函数值始终在上下包迹线之间,表明二者在各距离尺度上均无关联性;同样地,与衰退阶段的沙堆也无关联性,这表明发育阶段与其他两种演化阶段的沙堆不存在竞争或依赖关系。稳定与衰退阶段的沙堆在 <21 m及 >45 m尺度上无明显关联性,在21—45 m尺度间表现为正关联性,表明稳定与衰退阶段的沙堆在中小距离尺度上存在相互依赖性。

4 讨论

4.1 灌丛沙堆的演化阶段与形态特征

灌丛沙堆作为风沙活动地区重要的防风屏障,不同演化阶段沙堆的防风固沙功能大小有一定差异^[26]。因此,某一区域内沙堆各演化阶段的组成及其最终的演化方向对当地的生态环境稳定具有很大影响^[27]。厚田沙地内的蔓荆灌丛沙堆以稳定阶段为主,衰退阶段次之,发育阶段最少。由于研究区地处河流周边,地下水充足,周围植被覆盖程度较高,沙源不丰,因而使大部分灌丛沙堆能处于相对稳定状态^[28],但这种稳定状态可能是暂时性的。研究表明,当区域内沙堆的灌丛覆盖范围达到一定程度时,表层土壤水分含量降低,会导致沙堆的耐风蚀与积沙能力降低,季风强烈时易使沙堆活化而至解体^[29];同时土壤水分和风力活动对灌丛种子的萌发和生长也有很大影响,使灌丛难以更新,固沙量减小^[30],对区域生态环境的危害性加大。因此,研究区目前灌丛沙堆的生态状况仍不容乐观,若对当前沙堆不采取一定的保护措施,生态环境可能会进一步恶化。

各演化阶段沙堆的基本形态参数中,稳定阶段的形态参数值与发育和衰退阶段相比均较大,表明从灌丛沙堆的发育阶段至稳定阶段,随着蔓荆枝条的不断生长,更多的不定根扎根于沙面,根系不断促进水分与养分的吸收^[31],使灌丛覆盖面积逐渐增大,因沙堆与灌丛协同增长^[32],沙堆各形态参数也

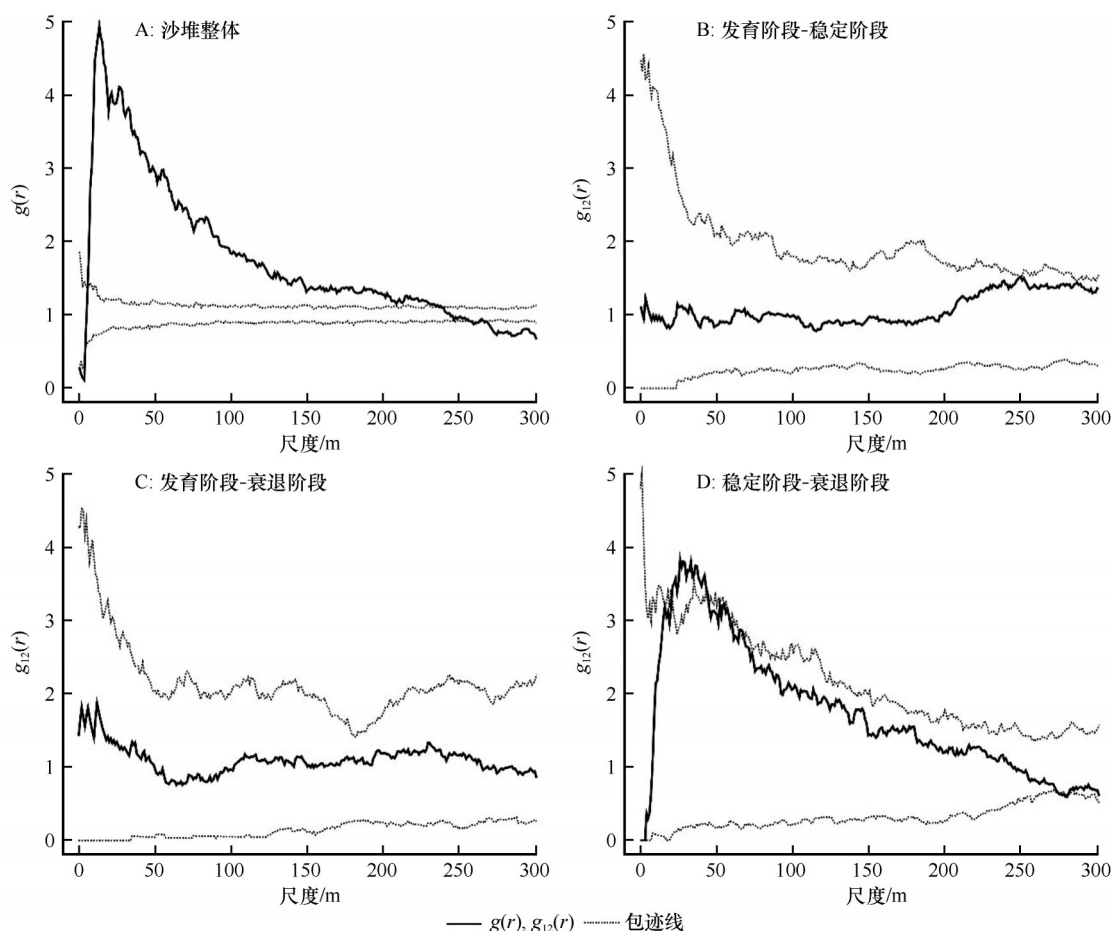


图9 不同距离尺度下灌丛沙堆的空间格局特征

Fig.9 Spatial pattern characteristics of nebkhas in different distance scales

随之增大,稳定阶段增至最大;而从稳定阶段至衰退阶段,因出现地下水位下降、风力作用较大等^[33],灌丛出现一定程度的衰亡,沙堆也因植被枯萎导致其表层土壤抗风蚀能力降低,沙堆顶部与边缘易受到不同程度的风蚀破坏^[26],形态参数也随之减小。

4.2 各演化阶段灌丛沙堆的沉积物特征

先前研究表明,厚田沙地灌丛沙堆的表层沉积物来源为沙堆附近丘间低地与平沙地^[11],分析不同演化阶段沙堆因拦截风沙导致的表层沉积物粒度特征差异,可判断不同演化阶段沙堆因形态、表皮土壤和风蚀程度等方面特征的不同,而导致的表层沉积物变化^[34]。厚田沙地各演化阶段灌丛沙堆表层沉积物的各粒级含量特征表现为,发育阶段粗颗粒较多,细颗粒较少;稳定阶段细颗粒较多,粗颗粒较少;衰退阶段各粒级百分含量居中。因此可判断,灌丛沙堆在初始的发育阶段,灌丛生长稀疏,拦截风沙流能力较弱,沙堆形态矮小,附近丘间低地

的粗颗粒被风力搬运至沙堆表层^[28],导致沉积物以粗颗粒为主;随着沙堆的不断演化,至稳定阶段时,因地表植被覆盖度较高,粗糙度增大,风沙流过境时易拦截其中沙粒并使其沉降^[35],使沙堆表层沉积物的细颗粒增多;沙堆演化至衰退阶段时,灌丛衰亡等导致地表粗糙度减小,不仅难以捕捉风沙流中的颗粒,且由于土壤结皮受到风蚀破坏,结皮下的细颗粒也在强烈风力作用下大量流失^[36],导致表层沉积物的细颗粒减少。这与杜建会等^[37]对民勤荒漠-绿洲带各演化阶段白刺灌丛沙堆表层沉积物的粒度变化研究结果一致。

对不同演化阶段灌丛沙堆各地貌部位的沉积物进行具体分析,发育阶段的沙堆,顶部与中部的粗沙和极粗沙含量明显较高,表明风沙流在运移过程中,遇到发育阶段的灌丛沙堆,可能会因沙堆尚处于初形成期、灌丛枝条稀疏、植被覆盖度较低^[38]、形态低矮等,沙堆的防风阻沙功能较弱,来自周边丘间低地的粗颗粒可能会被运移到沙堆中上部,导

致沙堆从顶部至丘间低地的沉积物平均粒径变化无明显规律性。稳定阶段的沙堆,顶部粉沙和极细沙含量明显较高,各地貌部位的粗沙和极粗沙含量均较低,表明稳定阶段的沙堆因灌丛生长繁茂、植被覆盖度较高、地表粗糙度较高等原因,可更有效地拦截风沙流中的颗粒物质^[39],较多细颗粒在灌丛的阻挡下沉积于沙堆顶部,粗颗粒则因沙堆形态高大及大面积的灌丛阻挡而无力运移,滞留在丘间低地或因自身重力作用堆积在沙堆边缘^[40],导致沙堆从顶部至丘间低地的沉积物平均粒径逐渐变大。衰退阶段的沙堆,边缘和丘间低地部位的粗沙和极粗沙颗粒明显较高,可能是灌丛衰亡等原因导致沙堆活化,沙堆边缘受到一定程度的风蚀破坏,沉积物被侵袭风蚀或可能成为新的沙源^[41],导致边缘和丘间低地部位沉积物颗粒较粗,各部位其他粒级的百分含量在3个演化阶段里大多居中,平均粒径的变化趋势与稳定阶段一致。

4.3 灌丛沙堆的空间分布格局

政府及科研机构为了鄱阳湖沙区的生态修复,曾于20世纪80年代选择新建区厚田乡、都昌县多宝乡、星子县蓼南乡等鄱阳湖、赣江沿岸风沙地区进行了植物引种和治沙生态修复实验^[42],发现蔓荆对当地气候环境具有良好的适应性和防风固沙作用,而后人工种植了大量蔓荆。随着时间推移,蔓荆在各引种试点区表现出不同的空间分布格局。张海娜等^[43]对鄱阳湖区都昌县多宝乡沙山的灌丛沙堆空间分布格局研究发现,不同类型沙地上的灌丛沙堆均呈随机分布,可能是与沙地普遍干旱贫瘠、植物生长可利用的资源不足有关,人工均匀栽种的蔓荆发生了自组织现象而形成随机分布状态的空间格局。而厚田沙地内的灌丛沙堆在大部分距离尺度上趋向于聚集分布状态,不仅与环境特性差异有关,也与大量的人为活动干扰有关。厚田沙地的灌丛沙堆大多在植被覆盖度高、有土壤结皮、人为活动较少的沙地东北部区域,而流沙较多、沙土松散干燥、植被较少、人为活动较多的沙地南部区域则少有灌丛沙堆分布^[44],从而出现沙堆在水分多、养分多、人为活动较少的地方聚集,在水分少、养分少、人为活动较多的地方随机出现的现象,形成了当前的空间分布格局。这与赵文智等^[45]对于旱地区灌丛沙堆的空间分布格局研究结论一致,其认为由于受到气候变化和人类活动的干扰,人工均

匀栽种的植被常由初始的均匀分布状态向聚集状态演变,植被出现斑块化分布。而厚田沙地则是由于受到自然环境及人为活动作用的影响,内部环境异质化,使灌丛沙堆出现聚集分布的现象。

对各演化阶段灌丛沙堆之间的关联性分析发现,发育阶段与其他演化阶段的沙堆在所有距离尺度上都无明显的关联性,这与当地灌丛沙堆以稳定和衰退阶段为主有关,发育阶段的沙堆较少,且随机分布在研究区内,与其他两种演化阶段的沙堆不存在竞争或依赖关系。而稳定与衰退阶段灌丛沙堆的空间分布格局在中小距离尺度上呈正关联性,表明随着沙堆的演化,较为成熟的沙堆在一定程度上产生了相互依赖性,这与当地的气候环境有很大的关系。厚田沙地在冬夏季风盛行时,风蚀作用较为强烈,灌丛沙堆个体抵御风沙危害的能力有限,稳定与衰退阶段的沙堆作为研究区内的主要沙堆,一定尺度内表现出的聚集分布特征,有利于发挥其群体效应^[8],增强抵御风沙侵害和防风固沙的能力。

5 结论

厚田沙地内的蔓荆灌丛沙堆以稳定阶段为主,衰退阶段次之,发育阶段最少,各演化阶段沙堆的形态参数表现为稳定阶段>衰退阶段>发育阶段。

不同演化阶段沙堆因灌丛生理、生态特征的不同,表层沉积物表现出一定的差异,稳定阶段沙堆的细颗粒较多,粗颗粒较少;发育阶段的粗颗粒较多,细颗粒较少;衰退阶段各粒级含量居中。顶部—中部—边缘—丘间低地的表层沉积物中,稳定与衰退阶段平均粒径逐渐变粗,发育阶段无明显变化趋势。

灌丛沙堆总体在大部分距离尺度上为聚集分布的状态,表现出自组织的群体效应;发育阶段与其他阶段的沙堆在各距离尺度上均无关联性,稳定与衰退阶段的沙堆在中小尺度上趋向正关联性,二者存在的相互依赖关系,有利于提高防风固沙的效果,增强了沙堆群体抵御风沙侵害的能力。

参考文献:

- [1] Wang X M, Zhang C X, Zhang J W, et al. Nebkha formation: implications for reconstructing environmental changes over the past several centuries in the Ala Shan Plateau, China[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2010, 29 (3): 697-706.
- [2] 毛东雷,雷家强,薛杰.新疆策勒砾质戈壁沙拐枣灌丛沙堆形

- 态特征[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(5): 105–110.
- [3] Hesp P A, Hernández-Calvento L, Cordero A I H, et al. Nebkha development and sediment supply[J]. Science of The Total Environment, 2021, 773: 1–35.
- [4] 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[J]. 环境科学, 2008, 29(7): 2046–2053.
- [5] 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.
- [6] 杨帆, 王雪芹, 杨东亮, 等. 风沙侵袭影响下绿洲边缘植物群落点格局分析[J]. 干旱区研究, 2012, 29(5): 763–769.
- [7] Waagepetersen R, Guan Y, Jalilian A, et al. Analysis of multi-species point patterns by using multivariate log-Gaussian Cox processes[J]. Journal of the Royal Statistical Society, Series C. Applied Statistics, 2016, 65(1): 77–96.
- [8] 杨帆, 王雪芹, 何清, 等. 绿洲-沙漠过渡带柽柳灌丛沙堆形态特征及空间分布格局[J]. 干旱区研究, 2014, 31(3): 556–563.
- [9] 孙涛, 贾志清, 刘虎俊, 等. 民勤荒漠绿洲过渡带不同发育阶段白刺灌丛沙堆点格局特征[J]. 林业科学, 2020, 56(7): 12–21.
- [10] 邹学勇. 中国亚热带湿润地区风沙地貌的研究: 以江西省新建县厚田为例[J]. 中国沙漠, 1990, 10(2): 43–53.
- [11] 李向洁, 李志文, 杜建会, 等. 南昌市厚田沙地蔓荆灌丛沙堆的形态与沉积特征[J]. 地理科学, 2021, 41(11): 2042–2051.
- [12] 李向洁, 李志文, 詹江振, 等. 南昌厚田沙地沉积物的粒度特征及其影响因素[J]. 中国沙漠, 2021, 41(2): 92–99.
- [13] 王志刚, 李志文, 黎武标, 等. 南昌市厚田沙地风沙沉积记录的末次冰期气候变化特征[J]. 中国沙漠, 2018, 38(6): 1200–1208.
- [14] 邹学勇. 南昌地区风沙化土地风沙地貌发育规模和风沙活动预测[J]. 地理研究, 1991, 10(3): 51–58.
- [15] 孙涛, 贾志清, 刘虎俊, 等. 绿洲荒漠过渡带不同演替阶段白刺灌丛植被和沙堆形态特征相关性分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2020, 56(3): 396–403, 411.
- [16] 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.
- [17] Konert M, Vandenbergh J. Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of the clay fraction[J]. Sedimentology, 1997, 44(3): 523–535.
- [18] Folk R L, Ward W C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Research, 1957, 27(1): 3–26.
- [19] Wentworth C K. A scale of grade and class terms for clastic sediments[J]. The Journal of Geology, 1922, 30(5): 377–392.
- [20] 胡璇, 徐瑞晶, 商泽安, 等. 海南岛甘什岭无耳藤竹和响子竹空间格局[J]. 林业科学, 2021, 57(8): 189–194.
- [21] 王宇, 武亚楠, 鄢郭馨, 等. 黄河三角洲滨海湿地芦苇、碱蓬混生群落空间点格局分析[J]. 生态科学, 2020, 39(1): 51–59.
- [22] 张国娟, 刘旻霞, 李博文, 等. 玛曲高寒草甸植物黄帚橐吾与莓叶委陵菜种群点格局分析[J]. 生态学杂志, 2021, 40(6): 1660–1668.
- [23] 季新良, 彭辉, 周红敏, 等. 凤阳山常绿阔叶林优势种空间格局及关联性[J]. 中国野生植物资源, 2021, 40(7): 79–83.
- [24] Wiegand T, Moloney K A. Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology[J]. Oikos, 2004, 104(2): 209–229.
- [25] 李源, 李海兵, 姜超, 等. 典型草原不同放牧强度下羊草种群点格局分析[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2021, 52(4): 417–424.
- [26] 孙涛, 贾志清, 钱雅玲, 等. 民勤荒漠-绿洲过渡带不同发育阶段白刺灌丛沙堆的防风固沙功能分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2019, 34(4): 713–724.
- [27] 杜建会, 严平, 展秀丽, 等. 民勤绿洲白刺灌丛沙堆不同演化阶段表面抗蚀性及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2008, 19(4): 763–768.
- [28] 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.
- [29] 移小勇, 赵哈林, 赵学勇, 等. 不同风沙土含水量因子的抗风蚀性[J]. 土壤学报, 2006, 43(4): 684–687.
- [30] 柴成武, 张德魁, 王方琳, 等. 4种荒漠植物种子出苗和幼苗生长对沙埋深度的响应[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(2): 108–113, 124.
- [31] 彭飞, 王涛, 刘立超, 等. 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[J]. 中国沙漠, 2012, 32(3): 593–599.
- [32] 张梅. 毛乌素沙地藏锦鸡儿灌丛沙堆形态特征[J]. 长春师范大学学报, 2019, 39(12): 72–78.
- [33] 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.
- [34] 杨帆, 郑新倩, 王雪芹, 等. 绿洲-沙漠过渡带柽柳灌丛沙堆表面的蚀、积特征[J]. 草业学报, 2013, 7(5): 55–61.
- [35] 王飞, 郭树江, 张卫星, 等. 干旱荒漠区不同演替阶段白刺灌丛沙堆土壤粒度特征[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(1): 15–20.
- [36] 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.
- [37] 杜建会, 严平, 丁连刚, 等. 民勤绿洲不同演化阶段白刺灌丛沙堆表面土壤理化性质研究[J]. 中国沙漠, 2009, 29(2): 248–253.
- [38] 高永, 丁延龙, 汪季, 等. 不同植物灌丛沙丘表面沉积物粒度变化及其固沙能力[J]. 农业工程学报, 2017, 33(22): 135–142.
- [39] 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.
- [40] 魏亚娟, 党晓宏, 蒙仲举, 等. 吉兰泰盐湖中心盐爪爪灌丛沙堆形态及其沉积特征[J]. 水土保持研究, 2020, 27(3): 385–390.
- [41] 王升堂, 邹学勇, 张春来, 等. 民勤绿洲边缘带灌丛沙丘防风作用研究[J]. 地理科学, 2007, 27(1): 104–108.
- [42] 莫明浩, 汤崇军, 涂安国, 等. 鄯阳湖泥沙及沙地研究进展评述[J]. 中国水土保持, 2011(8): 45–47.

- [43] 张海娜,鲁向晖,黄国敏,等.鄱阳湖沙地蔓荆灌丛沙堆形态特征及空间分布格局[J].生态学报,2019,39(14):5252-5260.
- [44] 吴昊,李志文,郭福生,等.南昌市厚田乡风沙地貌形态特征与美学价值[J].华东地质,2019,40(4):264-272.
- [45] 赵文智,郑颖,张格非.绿洲边缘人工固沙植被自组织过程[J].中国沙漠,2018,38(1):1-7.

Sediments and spatial pattern characteristics of *Vitex trifolia* nebkhas in the Houtian sandy land of Nanchang, China

Li Xiangjie^{1,2,4}, Li Zhiwen^{2,3}, Du Dingding², Sun Li^{2,3}, Hou Chu², Li Shiqian², Zhang Wen²

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. School of Earth Science, East China University of Technology, Nanchang 330013, China; 3. School of Environmental and Chemical Engineering, Foshan University, Foshan 528225, Guangdong, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to explore the characteristics of nebkhas at different evolution stages and their interaction with the environment in subtropical humid regions, field investigations and researchs were carried out with the *Vitex trifolia* nebkhas in the Houtian sandy land of Nanchang City as the research object. The morphological parameters of the nebkhas in each evolutionary stage were measured in the field to analyze the morphological characteristics, the surface sediments of different geomorphological positions were sampled to analyze the grain size characteristics, and the location was recorded through field positioning and remote sensing satellite images to analyze the spatial distribution pattern of nebkhas. The results showed that the nebkhas in the Houtian sandy land were mainly in the stable stage and accounting for 58.82%, followed by the recession stage and accounting for 36.90%, the developing stage was the least and accounting for only 4.28%, the basic morphological parameters of the nebkhas are stable stage>recession stage>developing stage. The sediments on the surface of the nebkha are characterized by more fine particles in the stable stage, more coarse particles in the developing stage, and intermediate in the recession stage. The average particle size is the finer in the stable stage which is 1.86 Φ , followed by the recession stage which is 1.75 Φ , and the coarsest in the developing stage which is 1.67 Φ ; from the top-middle-edge-interdune of the nebkha, the average particle size of the sediments in the stable and recession stages gradually becomes coarser, and there is no obvious change trend in the developing stage. The nebkhas as a whole presented the aggregated distribution on most distance scales; among the nebkhas in each evolution stage, the nebkhas between the developing stage and other stages have no correlation at each distance scale, the stable and recession stages presented a positive correlation on the small and medium distance scales. Reflecting the interdependence and group effect between the main nebkhas in the Houtian sandy land.

Key words: Houtian sandy land; nebkhas; developmental stage; sediments; spatial distribution pattern