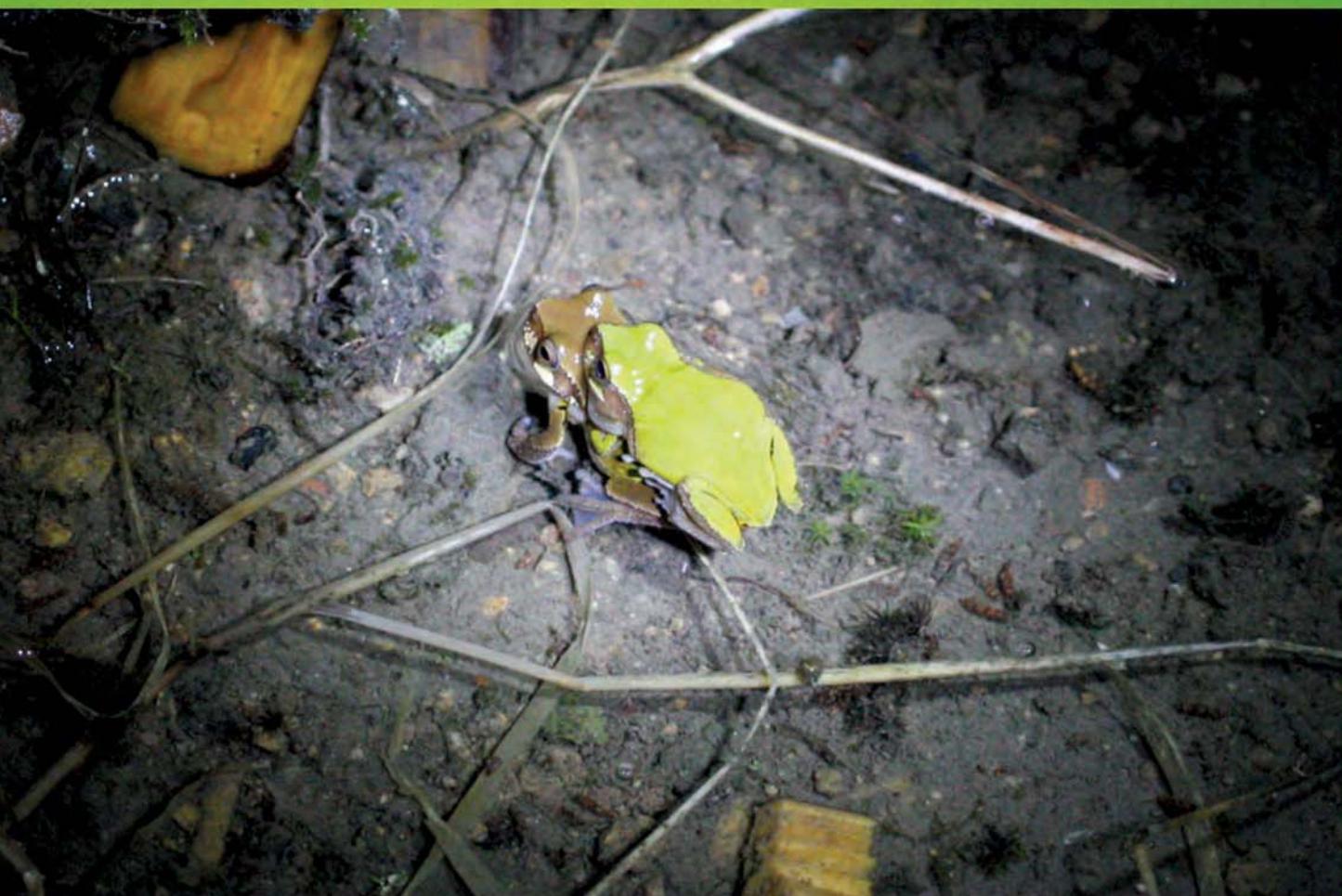


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第9期 Vol.32 No.9 2012

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENTAI XUEBAO)

第32卷 第9期 2012年5月 (半月刊)

目 次

不同土地覆被格局情景下多种生态系统服务的响应与权衡——以雅砻江二滩水利枢纽为例.....	葛青, 吴楠, 高吉喜, 等 (2629)
放牧对小嵩草草甸生物量及不同植物类群生长率和补偿效应的影响.....	董全民, 赵新全, 马玉寿, 等 (2640)
象山港日本对虾增殖放流的效果评价.....	姜亚洲, 凌建忠, 林楠, 等 (2651)
城市景观破碎化格局与城市化及社会经济发展水平的关系——以北京城区为例.....	仇江啸, 王效科, 遂非, 等 (2659)
江河源区高寒草甸退化序列上“秃斑”连通效应的元胞自动机模拟.....	李学玲, 林慧龙 (2670)
铁西区城市改造过程中建筑景观的演变规律.....	张培峰, 胡远满, 熊在平, 等 (2681)
商洛低山丘陵区农林复合生态系统光能竞争与生产力.....	彭晓邦, 张硕新 (2692)
基于生物量因子的山西省森林生态系统服务功能评估.....	刘勇, 李晋昌, 杨永刚 (2699)
不同沙源供给条件下柽柳灌丛与沙堆形态的互馈关系——以策勒绿洲沙漠过渡带为例.....	杨帆, 王雪芹, 杨东亮, 等 (2707)
桂西北喀斯特区原生林与次生林凋落叶降解和养分释放.....	曾昭霞, 王克林, 曾馥平, 等 (2720)
江西九连山亚热带常绿阔叶林优势种空间分布格局.....	范娟, 赵秀海, 汪金松, 等 (2729)
秦岭山地锐齿栎次生林幼苗更新特征.....	康冰, 王得祥, 李刚, 等 (2738)
极端干旱环境下的胡杨木质部水力特征.....	木巴热克·阿尤普, 陈亚宁, 等 (2748)
红池坝草地常见物种叶片性状沿海拔梯度的响应特征.....	宋璐璐, 樊江文, 吴绍洪, 等 (2759)
改变C源输入对油松人工林土壤呼吸的影响.....	汪金松, 赵秀海, 张春雨, 等 (2768)
啮齿动物捕食压力下生境类型和覆盖处理对辽东栎种子命运的影响.....	闫兴富, 周立彪, 刘建利 (2778)
上海闵行区园林鸟类群落嵌套结构.....	王本耀, 王小明, 王天厚, 等 (2788)
胜利河连续系统中蜉蝣优势种的生产量动态和营养基础.....	邓山, 叶才伟, 王利肖, 等 (2796)
虾池清塘排出物沉积厚度对老鼠簕幼苗的影响.....	李婷, 叶勇 (2810)
澳大利亚亚热带不同森林土壤微生物群落对碳源的利用.....	鲁顺保, 郭晓敏, 苗亦超, 等 (2819)
镜泊湖岩溶台地不同植被类型土壤微生物群落特征.....	黄元元, 曲来叶, 曲秀春, 等 (2827)
浮床空心菜对氮循环细菌数量与分布和氮素净化效果的影响.....	唐莹莹, 李秀珍, 周元清, 等 (2837)
促分解菌剂对还田玉米秸秆的分解效果及土壤微生物的影响.....	李培培, 张冬冬, 王小娟, 等 (2847)
秸秆还田与全膜双垄集雨沟播耦合对半干旱黄土高原玉米产量和土壤有机碳库的影响.....	吴荣美, 王永鹏, 李凤民, 等 (2855)
赣江流域底泥中有机氯农药残留特征及空间分布.....	刘小真, 赵慈, 梁越, 等 (2863)
2009年徽州稻区白背飞虱种群消长及虫源性质.....	刁永刚, 杨海博, 瞿钰锋, 等 (2872)
木鳖子提取物对朱砂叶螨的触杀活性.....	郭辉力, 师光禄, 贾良曦, 等 (2883)
冬小麦气孔臭氧通量拟合及通量产量关系的比较.....	佟磊, 冯宗炜, 苏德·毕力格, 等 (2890)
专论与综述	
基于全球净初级生产力的能源足迹计算方法.....	方恺, 董德明, 林卓, 等 (2900)
灵长类社会玩耍的行为模式、影响因素及其功能风险.....	王晓卫, 赵海涛, 齐晓光, 等 (2910)
问题讨论	
中国伐木制品碳储量时空差异分析.....	伦飞, 李文华, 王震, 等 (2918)
研究简报	
森林自然更新过程中地上氮贮量与生物量异速生长的关系.....	程栋梁, 钟全林, 林茂兹, 等 (2929)
连作对芝麻根际土壤微生物群落的影响.....	华菊玲, 刘光荣, 黄劲松 (2936)
刈割对外来入侵植物黄顶菊的生长、气体交换和荧光的影响.....	王楠楠, 皇甫超河, 陈冬青, 等 (2943)
不同蔬菜种植方式对土壤固碳速率的影响.....	刘杨, 于东升, 史学正, 等 (2953)
巢湖崩岸湖滨基质-水文-生物一体化修复.....	陈云峰, 张彦辉, 郑西强 (2960)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-05



封面图说: 在交配的雨蛙——雨蛙为两栖动物, 世界上种类达250种之多, 分布极广。中国的雨蛙仅有9种, 除西部一些省份外, 其他各省(区)均有分布。雨蛙体形较小, 背面皮肤光滑, 往往雄性绿色, 雌性褐色, 其指、趾末端多膨大成吸盘, 便于吸附攀爬。多生活在灌丛、芦苇、高秆作物上, 或塘边、稻田及其附近的杂草上。白天匍匐在叶片上, 黄昏或黎明频繁活动, 捕食能力极强, 主要以昆虫为食。特别是在下雨以后, 常常1只雨蛙先叫几声, 然后众蛙齐鸣, 声音响亮, 每年在四、五月份夜间发情交配。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201103250381

杨帆, 王雪芹, 杨东亮, 韩章勇. 不同沙源供给条件下柽柳灌丛与沙堆形态的互馈关系——以策勒绿洲沙漠过渡带为例. 生态学报, 2012, 32(9): 2707-2719.

Yang F, Wang X Q, Yang D L, Han Z Y. Research on the morphological interactions between *Tamarix ramosissima* thickets and Nebkhas under different sand supply conditions: a case study in Cele oasis-desert ecotone. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(9): 2707-2719.

不同沙源供给条件下柽柳灌丛与沙堆形态的互馈关系 ——以策勒绿洲沙漠过渡带为例

杨帆^{1, 2, 3}, 王雪芹^{1,*}, 杨东亮^{1, 2}, 韩章勇^{1, 2}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所 中国科学院生物地理与生物资源重点实验室, 乌鲁木齐 830011;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 新疆策勒荒漠草地生态系统国家野外观测研究站, 策勒 848300)

摘要: 以塔克拉玛干沙漠南缘策勒绿洲—沙漠过渡带为研究区域, 根据沙源供给丰富程度的明显差异, 在固定沙地、半固定沙地、半流动沙地和流动沙地随机选择100个相对独立的柽柳灌丛沙堆, 对每个沙堆形态进行测量, 并对沙堆上的柽柳灌丛进行调查, 分析研究不同沙源供给条件下柽柳灌丛形态特征和沙堆形态变化及其相互关系。结果表明:(1)在4种沙源供给条件下, 柽柳灌丛高度相对稳定, 灌丛长度、宽度、树冠投影面积、总枝条数、新枝率、基部新枝率和生物量随着沙源供给丰富度的增加而相应增加。(2)随沙源供给丰富度的增加沙堆尺度显著增大, 外形向着沿风向拉长的不对称圆丘状发展, 风影沙尾轮廓逐渐清晰。沙堆形态参数间存在良好的相关性, 其中长度与宽度协同增长, 回归曲线在流动沙地为二次函数关系, 在其它3种沙地呈线性相关; 底面积与高度表现为良好的二次函数关系; 底面积与体积间存在显著的线性关系。(3)柽柳灌丛形态参数与沙堆形态参数间存在良好的相关性。其中树冠面积与沙堆体积间为显著线性关系, 而树冠大小又与总枝条数以及新枝率密切相关, 柽柳灌丛沙堆的适应机理应归于不断增加的沙源供给而产生的风积沙埋对柽柳灌丛生长的促进作用及灌丛与沙堆间的互馈效应。该区域柽柳沙包的形成以一定灌幅的存在为前提, 可以判定是土地退化的产物, 其中半流动沙地生境相对于其他沙地正处于急速退化中。

关键词: 策勒绿洲—沙漠过渡带; 沙源供给丰富度; 柽柳灌丛; 沙堆形态特征; 互馈关系

Research on the morphological interactions between *Tamarix ramosissima* thickets and Nebkhas under different sand supply conditions: a case study in Cele oasis-desert ecotone

YANG Fan^{1, 2, 3}, WANG Xueqin^{1,*}, YANG Dongliang^{1, 2}, HAN Zhangyong^{1, 2}

1 Key Laboratory of Bioresource and Biogeography in Arid Land, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Cele National Station of Observation & Research for Desert-Grassland Ecosystem in Xinjiang, Cele 848300, China

Abstract: In order to understand the morphological interactions between *Tamarix ramosissima* nebkhlas and *Tamarix ramosissima* thickets in the oasis—desert ecotones, 100 independent *Tamarix ramosissima* nebkhlas were randomly selected under different sand supply conditions in the northwest oasis—desert ecotone of Cele at the southern rim of the Taklimakan Desert. According to the difference in vegetation coverage and land surface characteristics, we divided the 100 nebkhlas into four categories under four sand supply conditions (i.e. fixed sandy land, semi-fixed sandy land, semi-shifting sandy land

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2009CB421303-1-2);新疆科技重大专项项目资助(200733144-2)

收稿日期:2011-03-25; 修订日期:2011-06-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xqwang@ms.xjb.ac.cn

and shifting sandy land), corresponding to poor, less poor, rich and richer sand supply conditions respectively. In field, the morphological parameters including the nebkhlas' length, width, height, windward slope length and leeward slope length of nebkhlas, together with thickets' height, length, width, crown area and different kinds of branch number were investigated. The results indicated that: (1) Increasing sand supply led to the increase of *Tamarix ramosissima* thickets' length ($P=0.03$), width ($P=0.041$), crown area ($P=0.032$), branch number ($P=0.003$), new branch rate ($P=0.002$), rate of basal new branch ($P=0.000$) and biomass ($P=0.001$), while the plant height ($P=0.929$) retained invariable. The average values of these parameters were respectively 6.85 m, 7.23 m, 42.14 m², 418.0, 49.3%, 45.0% and 65.8 kg in shifting sandy land, which were the largest among the four sandy lands. (2) *Tamarix ramosissima* nebkhlas' height ($P=0.000$), length ($P=0.000$), width ($P=0.007$), underside area ($P=0.001$), volume ($P=0.001$) would significantly increase with sand supply enrichment. In shifting sandy land, the above corresponding average values of nebkhlas' parameters were respectively 1.83 m, 14.16 m, 7.93 m, 76.64 m² and 86.33 m³, which were larger than the other lands. The nebkhlas figure would develop into a long and narrow with the leeward slope becoming longer than the windward slope and the outline of sand dune tail would also become clearer. At this area most of nebkhlas were still at a growing stage. The nebkhlas in semi-shifting sandy land had the largest growth space, which's height would be near 4 m. (3) There were good morphological relationships among morphological parameters of *Tamarix ramosissima* nebkhlas, the nebkhlas length and width showed a coordinated growth trend with a quadratic polynomial regression equation in shifting sandy land, while a linear relationship in other sandy lands. There was a quadratic polynomial relationship between nebkhlas underside area and height, and nebkhlas volume increased linearly with the enlargement of underside area. (4) The *Tamarix ramosissima* thickets and nebkhlas also exists good morphological correlation, among which the crown area and nebkhlas volume showed a significant liner relationship. The adaptability mechanisms of *Tamarix ramosissima* nebkhlas might be the stimulative function of comparative deep sand-burial as a result of wind accumulate with high-intensity to the growth of *Tamarix ramosissima* nebkhlas and the feedback effect between the thickets and nebkhlas. The conclusions indicated that the *Tamarix ramosissima* nebkhlas in this area are the product of land degradation, and the semi-shifting sandy land is in a swift degeneration process now.

Key Words: Cele oasis—desert ecotone; sand supply conditions; *Tamarix ramosissima* thickets; nebkhlas morphological characteristic; interaction

灌丛沙堆是干旱、半干旱及半湿润荒漠地区风沙流遇到灌丛阻拦,沙物质在灌丛及其周围堆积而形成的一种地貌类型^[1],是植被、风和沙子三者之间相互作用而形成的动力平衡态^[2-3]。灌丛沙堆在世界范围分布十分普遍,与气候变化和人类活动关系密切^[4-5],特别是在土地退化方面所具有的指示意义和维护绿洲生态安全的重要作用^[6-7],而受到国内外学者的广泛关注。形成灌丛沙堆的植物类型多样,其中柽柳灌丛沙堆在亚洲、非洲和欧洲的部分荒漠区,河流泛滥和海滨盐碱滩地,及河谷和滨湖等地均有分布,在我国新疆是其最主要的分布区域。

灌丛植物是形成灌丛沙堆的基础条件,众多的野外观测和风洞模拟实验都表明,灌丛植物与沙堆间有明显的相互作用^[9-12],它不仅通过覆盖地面、分解风力和截留风沙来影响沙堆的形成和发展^[13],而且由于植物形状、密度和结构等等的不同而对沙堆形态产生影响。即使是相同植物,在其生长发育的不同阶段也会产生不同形态的灌丛沙堆^[11]。通过大量野外调查,发现当沙源供给丰富度发生改变时,柽柳灌丛会以增加当年新生枝条数以及产生不定根和不定芽的方式来应对风积和沙埋的威胁,进而影响到柽柳灌丛构型及对应的沙堆形态。目前,对柽柳沙堆发展阶段^[4,14]、柽柳沙堆的分层结构^[15]、柽柳沙堆形态特征及其对风流场的影响等已有报道^[16-18],但对差异沙源供给条件下柽柳灌丛与沙堆的形态特征及其相互关系却鲜见报道。

鉴于此,本文以策勒绿洲—沙漠过渡带为研究区,研究不同丰富度沙源供给条件下柽柳灌丛植物与沙堆

形态变化,探讨它们之间的相互关系,这对于反映绿洲—沙漠过渡带这个特殊区域的风沙环境特点和深入理解柽柳植物与风沙环境的相互作用具有重要意义。

1 区域概况与研究方法

1.1 区域概况

研究区位于塔克拉玛干沙漠南缘与昆仑山北麓之间的策勒绿洲—沙漠过渡带(图1),介于 $37^{\circ}00'50''$ — $37^{\circ}02'42''N$ 和 $80^{\circ}40'42''$ — $80^{\circ}43'35''E$ 范围内。该区深居亚欧大陆腹地,气候极端干旱,年均降水量35 mm,蒸发量2595.3 mm,干燥度20.8,属暖温带大陆性荒漠气候。多年平均气温 $11.9^{\circ}C$,极端最高气温 $41.9^{\circ}C$,极端最低气温 $-23.9^{\circ}C$ 。这里风沙活动频繁,以西风为主,其频率占62.43%—76.25%,年均风速1.9 m/s,最大可达12.1 m/s。春季多大风,年均3—9次,8级以上大风年均40 d。土壤是基于第四纪洪积冲积物的风沙土、灌淤土、棕漠土和盐土,质地轻,粒径细,易于形成风沙流,为灌丛沙堆发育提供物质基础。过渡带内植被种类组成单调,主要为多枝柽柳(*Tamarix ramosissima* Ledeb.)、疏叶骆驼刺(*Alhagi sparsifolia* Shap.)和花花柴(*Karelinia caspica*)。其中,柽柳灌丛分布广泛,具有耐干旱、耐盐碱和耐风蚀沙埋的特性,其刚性的木质化枝干有利于阻截风沙,在过渡带内形成大小不等的灌丛沙堆。该区域柽柳灌丛高1—3.5 m,平均冠幅6 m左右,最大为13 m以上,平均沙堆高度1.5 m左右,最高近4 m,多成半球状,部分伴有风影沙尾。

1.2 研究方法

1.2.1 数据获取

在策勒绿洲西北部过渡带直线距离4 km的范围内,随机选择100个相对独立的柽柳沙堆,对每个柽柳沙堆形态进行测量,并对柽柳灌丛形态参数进行调查(图2)。根据沙堆周围植被盖度和沙面活动的明显差异,将所调查的柽柳沙堆归入以下4种沙地类型,依次为固定沙地、半固定沙地、半流动沙地和流动沙地,分别对应着不丰富、欠丰富、丰富、很丰富4种沙源供给条件(表1)。主要记录的沙堆形态参数包括:地理坐标位置、沙堆走向、沙堆长度L、沙堆宽度W、迎风坡长Y(与 L_a 对应)、背风坡长B(与 L_b 对应)、沙堆高度H(东、南、西、北四个方向上沙堆相对高度 h_e, h_s, h_w, h_n 的平均值)、沙堆长度与宽度比值L/W及背风坡长与迎风坡长比值B/Y。 L/W 值越大,表明沙堆沿风向方向的拉伸相对越长,反之则短; B/Y 值越大,表明风影沙尾相对越长,反之则短。对应沙堆的柽柳灌丛观测内容包括:灌丛高度h、长度 l_g 、宽度 w_g 、树冠面积C、当年新生枝条数 B_n 及着生于基部的新生枝条数 B'_n 、老枝数 B_o 、枯枝数 B_d 。通过对灌丛的枝条调查,计算每个灌丛的枝条总数N($N=B_n+B_o+B_d$)、新枝率 R_n ($R_n=B_n/N \times 100\%$)、基部新枝率 R_b ($R_b=B'_n/B_n \times 100\%$)。每个灌丛按

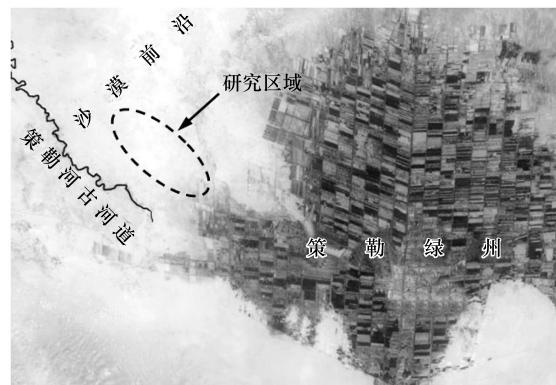


图1 研究区域分布图

Fig. 1 Sketch map of the study area

表1 柽柳灌丛沙堆所处生境特征及调查沙堆数量

Table 1 Characteristics of 4 types land habitat and nebkhlas' survey number

地表性质 Surface type	沙源丰富度 Sand supply conditions	地表特征描述 Surface characterization	调查沙堆个数 Nebkhlas number
固定沙地 Fixed sandy land	不丰富	植被盖度在40%以上,植物分布均匀,没有风蚀发生	18
半固定沙地 Semi-fixed sandy land	欠丰富	植被盖度20%—30%,植物分布渐不均匀,开始出现草本植物沙堆,裸沙面积约50%左右	26
半流动沙地 Semi-Shifting sandy land	丰富	植被盖度15%左右,草本植物集群分布,柽柳沙堆有明显积沙出现,裸沙地面积约70%	39
流动沙地 Shifting sandy land	很丰富	植被盖度不足5%,柽柳沙堆风影沙尾明显,沙丘轮廓清晰,裸沙面积大于85%	17

枝条长短粗细分级,割取典型样枝带回实验室烘干称重,结合枝条数调查结果计算柽柳灌丛的地上生物量 p 。

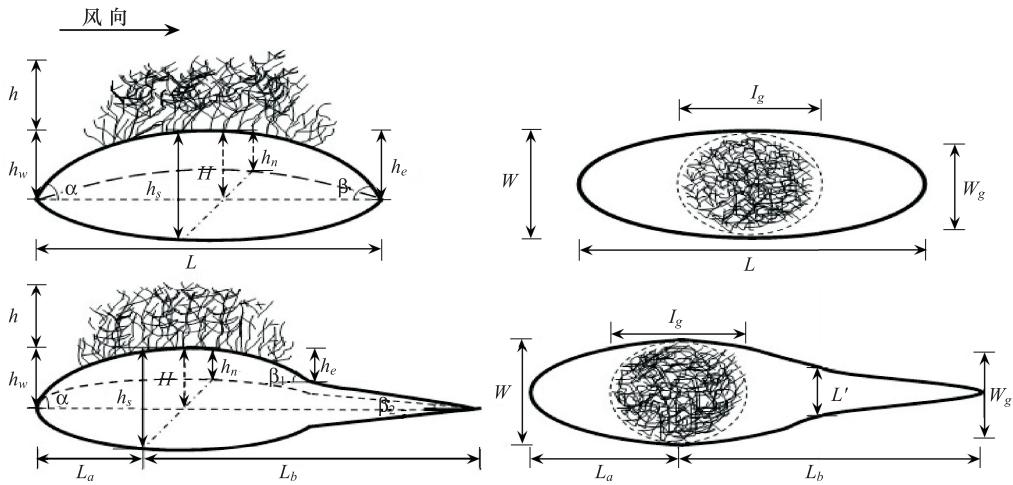


图2 柽柳灌丛沙堆形态测量示意图

Fig. 2 Sketch of shape parameters of measuring nebkhlas

1.2.2 数据分析

迎风坡与背风坡基本对称的半椭球型沙堆底面积(S_1)和体积(V_1)的算式为:

$$S_1 = \frac{1}{4}\pi WL$$

$$V_1 = \frac{1}{6}\pi WLH$$

背风坡长明显大于迎风坡长,即伴有风影沙尾的柽柳沙堆底面积(S_2)和体积(V_2)的算式为:

$$S_2 = \frac{1}{2}\pi L_a W + \frac{1}{2}L'(L_b - \frac{h_e}{\tan\beta_1})$$

$$V_2 = \frac{1}{3}\pi L_a WH + \frac{1}{6}L'(H - h_e)(L_b - \frac{h_e}{\tan\beta_1})$$

式中, β_1 为背风坡坡度变化最剧烈处的坡度, L_a 为迎风面长轴长度, L_b 为背风面长轴长度, L' 为沙堆底面上与椭圆相接的等腰三角形的底边长,其计算式为:

$$L' = W \sqrt{1 - \left(\frac{h_e}{L_a \times \tan\beta_1}\right)^2}$$

用 Origin8.0 和 SPSS16.0 对 4 种不同沙源供给条件下的柽柳灌丛和沙堆形态特征进行描述性统计和方差分析,再对这 4 类沙堆形态参数间和沙堆形态与柽柳灌丛间分别进行相关和回归分析,用以揭示不同沙源供给丰富度下柽柳灌丛形态和对应沙堆形态的互馈关系。

2 结果与分析

2.1 柽柳灌丛植物形态特征

柽柳灌丛构型的特点是以老枝为基础、当年萌发新枝内部穿插和侧向扩展,形成密集的簇生灌丛覆盖沙堆。观测结果显示 4 类沙地的柽柳灌丛高度变化在 1.00—3.58 m 之间,其均值在 2.45 m 左右保持相对稳定。冠幅变化较大,在 1.6—13 m 之间,树冠面积最小为 2.39 m²,最大可达 144.62 m²。除灌丛高度($P=0.929$)外其它各形态参数都随着沙源供给丰富度的增加而相应增加,即这些参数均值以流动沙地为最大,半流动沙地和半固定沙地次之,固定沙地最小。随沙源供给丰富度的增加,柽柳灌丛长度($P=0.03$)、宽度($P=0.041$)和树冠面积($P=0.032$)这 3 个外部形态参数表现出逐渐增加的趋势,而柽柳灌丛枝条总数($P=0.003$)、新枝率($P=0.002$)、基部新枝率($P=0.000$)和地上生物量($P=0.001$)则随着沙源供给丰富度的增加

而增幅显著。这说明不断增强的沙源供给对柽柳灌丛所产生的风积沙埋,有利于柽柳植物萌蘖新枝,进而影响到灌丛的灌幅、枝条总数和生物量等形态参数(表2)。

2.2 柽柳灌丛沙堆形态分析

2.2.1 灌丛沙堆形态特征

柽柳沙堆的典型形态为凸起的半椭球状,丘顶浑圆,坡度较缓,其上部被柽柳灌丛所覆盖。沙堆高度的变化范围较大,最低0.5 m左右,最高近4 m。沙堆长、宽尺度变化范围也较大,从1 m左右到几十米不等。从固定沙地—半固定沙地—半流动沙地—流动沙地,沙堆各形态参数的均值依次显著增加($P<0.05$)。相对于前三类沙地而言,流动沙地沙堆的 L/W 值和 B/Y 值增幅显著。可见,逐渐增强的沙源供给条件促进了沙堆的尺度发育,特别是在流沙区,灌丛沙堆沿风向方向拉伸态势非常明显,风影沙尾轮廓也逐渐清晰(表3)。

2.2.2 沙堆形态参数间的关系

由沙堆形态参数间的相关分析可以看出(表4),4种沙地的柽柳沙堆长度与其宽度间的相关系数在0.01水平上存在着显著的相关关系,即长度与宽度间是协同变化的。其中流动沙地沙堆的长度与宽度间相关系数为0.631,在四类沙地中最小,且表现出明显的二次函数关系,宽度随长度增加到达峰值后逐渐减小,宽度的峰值为11.52 m。其余3种类型沙地沙堆宽度随长度增加的变化速度,依沙源供给丰富度的增加而依次减小,且保持稳定的线性单调递增。这表明逐渐丰富的沙源供给促使沙堆沿风向方向拉伸,风影沙尾逐渐发展,特别在流动沙地上沙堆长度的陡然增加减弱了宽度随长度的协同增长关系(图3)。

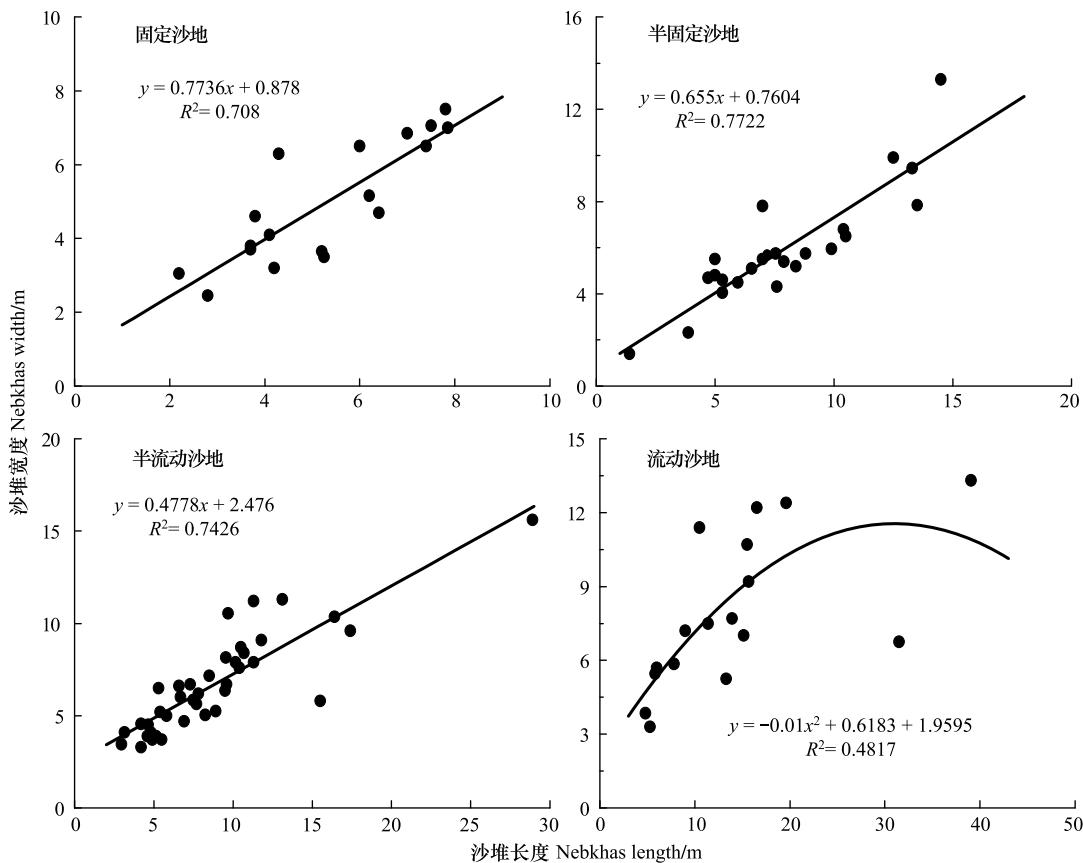


图3 沙堆长度与宽度的关系

Fig. 3 Relationships between nebkhlas length and width

除流动沙地的沙堆长度与高度外,其它沙地类型的沙堆水平尺度(长度、宽度和底面积)与沙堆高度间的相关系数在0.01水平上均存在着显著的相关关系。其中沙堆宽度与高度间的相关性较强,说明宽度与高度之间的关系较密切,但沙堆底面积与沙堆高度间关系体现的相对更为全面(表4)。对于不同沙源供给条件下

表 2 桤柳灌丛的形态特征统计分析

Table 2 Statistics analysis of morphological parameters of *Tamarix ramosissima* thickets

灌丛类型 Thickets type	柽柳形态参数 Form parameters of thickets						地上生物量 ρ/kg Biomass	
	灌丛高度 h/m	灌丛长度 l_e/m	灌丛宽度 w_g/m	树冠面积 C/m^2	枝条总数 N Branch number	新枝率 $R_n/\%$		
固定沙地 Fixed sandy land	最小值 Minimum value 最大值 Maximum value 平均数±标准差 Mean±Std Error	1.68 3.42 2.51±0.12	2.35 7.80 5.24±0.36a	2.75 7.85 5.24±0.36a	5.08 44.60 23.19±2.92a	39 284 147.5±17.2a	17.9 53.1 32.0±2.1a	0.0 51.0 14.1±3.2a
半固定沙地 Semi-fixed sandy land	最小值 Minimum value 最大值 Maximum value 平均数±标准差 Mean±Std Error	1.00 3.58 2.42±0.12	1.81 9.30 5.13±0.36a	1.68 10.40 5.67±0.44a	2.39 75.96 25.50±3.61a	49 783 242.0±38.06ab	12.2 59.1 37.7±2.13ab	0.0 65.1 19.7±3.48a
半流动沙地 Semi-Shifting sandy land	最小值 Minimum value 最大值 Maximum value 平均数±标准差 Mean±Std Error	1.68 3.22 2.43±0.06	3.35 14.85 6.23±0.41ab	3.40 12.40 6.23±0.34ab	9.21 144.62 34.99±4.57ab	59 2688 376.0±72.4b	17.1 77.6 43.8±2.7b	0.0 75.0 31.0±3.1b
流动沙地 Shifting sandy land	最小值 Minimum value 最大值 Maximum value 平均数±标准差 Mean±Std Error	2.05 2.82 2.45±0.06	4.25 12.65 6.85±0.62b	4.15 13.15 7.23±0.60b	14.67 97.37 42.14±6.41b	93 1318 418.0±81.5c	15.3 83.3 49.3±4.1c	1.6 35.9±8.5b 19.0

记有相同字母的值表示差异未达到显著水平($P<0.05$)

生态学报

表 3 桤柳灌丛沙堆的形态特征统计分析
Table 3 Statistics analysis of morphological parameters of nebkhas

沙堆类型 Nebkhas type	沙堆形态参数 Form parameters of nebkhas						沙堆背风坡长比 迎风坡长 B/Y Leeward/Windward
	沙堆高度 H/m Height	沙堆长度 L/m Length	沙堆宽度 W/m Width	沙堆底面积 S/m ² Area	沙堆体积 V/m ³ Volume	沙堆长度 比宽度 L/W Length/ Width	
固定沙地 Fixed sandy land	最小值 Minimum value 最大值 Maximum value 平均数±标准差 Mean±Std Error	0.43 1.38 0.85±0.07a	2.20 7.85 5.30±0.42a	2.45 7.50 4.98±0.39a	5.27 45.95 21.76±3.12a	1.49 38.07 13.89±2.72a	0.68 1.50 1.08±0.05a
半固定沙地 Semi-fixed sandy land	最小值 Minimum value 最大值 Maximum value 平均数±标准差 Mean±Std Error	0.26 2.33 1.18±0.10ab	1.40 14.50 7.88±0.67b	1.40 13.30 5.92±0.50ab	1.54 149.00 38.84±6.72b	0.27 201.56 34.78±9.23ab	1.13±0.07a 1.00 0.90
半流动沙地 Semi-Shifting sandy land	最小值 Minimum value 最大值 Maximum value 平均数±标准差 Mean±Std Error	0.60 3.82 1.46±0.11b	2.95 28.90 8.78±0.77b	3.30 15.60 6.67±0.43bc	7.99 244.62 49.29±7.25bc	2.36 562.33 61.17±15.52bc	1.77 1.34±0.05a 1.34±0.05a
流动沙地 Shifting sandy land	最小值 Minimum value 最大值 Maximum value 平均数±标准差 Mean±Std Error	0.80 3.21 1.83±0.18c	4.80 39.05 14.16±2.23c	3.30 13.30 7.93±0.75c	10.38 255.26 76.64±15.49c	4.23 291.63 86.33±20.82c	0.91 4.67 1.78±0.22b

记有相同字母的值表示差异未达到显著水平($P<0.05$)

表4 柽柳沙堆形态参数间的相关分析

Table 4 Correlation analysis to the morphological parameters of *Tamarix ramosissima* nebkhas

沙堆类型 Nebkhas types	形态参数 Form parameters		沙堆高度 <i>H</i> Height	沙堆长度 <i>L</i> Length	沙堆宽度 <i>W</i> Width	沙堆底面积 <i>S</i> Area	沙堆体积 <i>V</i> Volume	沙堆长度比 宽度 <i>L/W</i> Length/ Width	沙堆背风坡长 比迎风坡长 <i>B/Y</i> Leeward/ Windward
	<i>L</i>	<i>W</i>							
固定沙地									
Fixed sandy land									
	<i>L</i>	0.792 **		1					
	<i>W</i>	0.776 **			0.841 **			1	
	<i>S</i>	0.772 **		0.929 **		0.954 **			1
	<i>V</i>	0.874 **		0.880 **		0.915 **			
	<i>L/W</i>	0.093		0.311		-0.232		-0.018	-0.036
	<i>B/Y</i>	0.228		0.106		-0.112		-0.113	1
半固定沙地									
Semi-fixed sandy land									
	<i>L</i>	0.879 **		1.000					
	<i>W</i>	0.9269 **		0.879 **		1			
	<i>S</i>	0.907 **		0.883 **		0.964 **			1
	<i>V</i>	0.875 **		0.793 **		0.924 **			1
	<i>L/W</i>	0.076		0.392		-0.061		0.013	-0.074
	<i>B/Y</i>	0.092		0.275		0.010		0.043	0.012
半流动沙地									
Semi-Shifting sandy land									
	<i>L</i>	0.898 **		1					
	<i>W</i>	0.923 **		0.862 **		1			
	<i>S</i>	0.858 **		0.961 **		0.933 **			1
	<i>V</i>	0.850 **		0.889 **		0.868 **			1
	<i>L/W</i>	0.159		0.610 **		0.176		0.401 *	0.285
	<i>B/Y</i>	-0.101		0.133		-0.104		0.003	0.023
流动沙地									
Shifting sandy land									
	<i>L</i>	0.41		1					
	<i>W</i>	0.900 **		0.613 **		1			
	<i>S</i>	0.746 **		0.821 **		0.907 **			1
	<i>V</i>	0.904 **		0.352		0.873 **			1
	<i>L/W</i>	-0.135		0.772 **		0.033		0.293	-0.136
	<i>B/Y</i>	0.002		0.777 **		0.210		0.538 *	-0.115
									0.685 **

* 0.05 显著水平, ** 0.01 显著水平

的4种沙地类型而言,沙堆高度随底面积增大而增加的方式大体相似,回归曲线均为二次函数($R^2>0.6301$)。高度随底面积的增大达到峰值,而后变缓并出现减小趋势,其中半流动沙地的沙堆高度增长趋势减缓较慢。4种沙地中沙堆高度峰值依次为:固定沙地1.15 m、半固定沙地2.37 m、半流动沙地3.77 m、流动沙地2.85 m。目前大多数沙堆均未达到高度的峰值,且多数沙堆处于二次函数的上升阶段,这表明研究区内沙堆多处于成长阶段,其中半流动沙地的沙堆可成长空间最大,能够发育成高度近4 m的大沙堆(图4)。

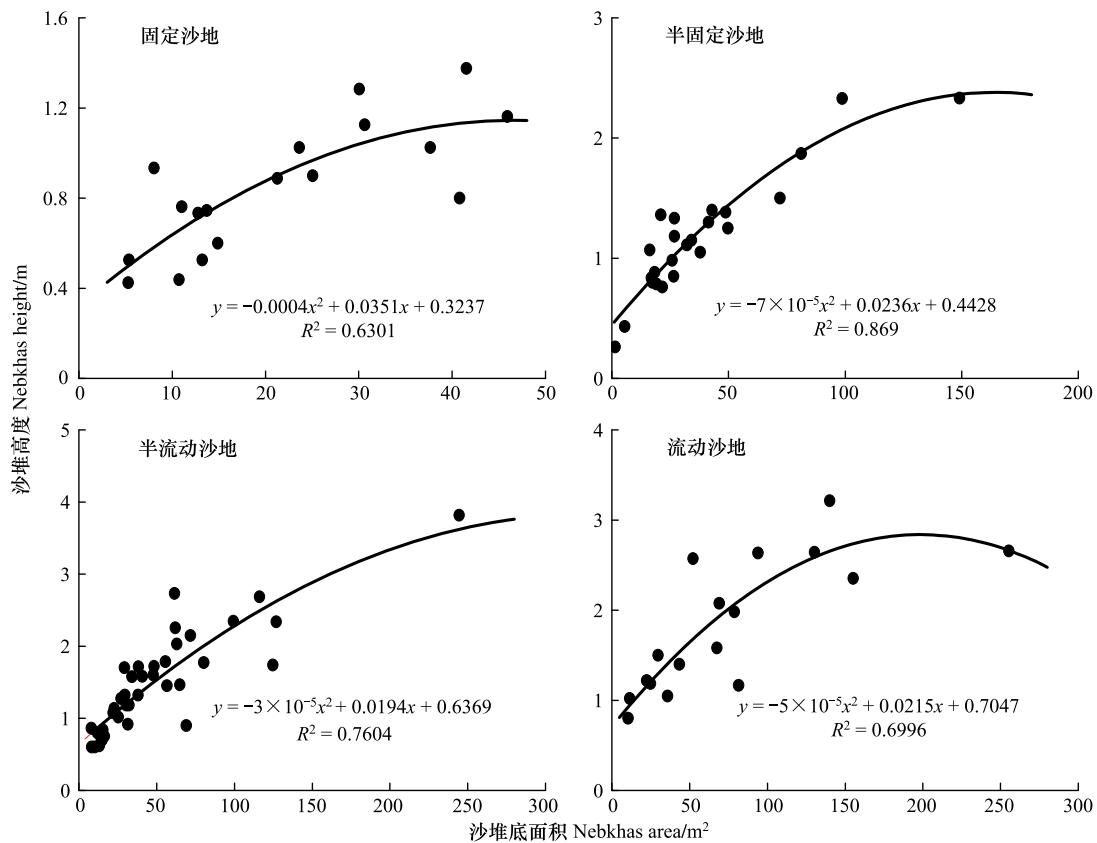


图4 沙堆底面积与沙堆高度的关系

Fig. 4 Relationships between nebkhlas area and height

4种沙地类型中沙堆的体积随着底面积的增加而增大($R^2>0.8322$),且回归曲线呈显著的线性关系。其中,从固定沙地过渡到半流动沙地,回归直线的斜率逐渐增加,截距越小且为负,表明随着沙源供给丰富度的增加,沙堆体积随底面积的增加的速率逐渐加大(图5)。

L/W 和 B/Y 两个形态参数与沙堆其它各形态参数间大部分为低度相关,然而 L/W 与 B/Y 间的相关性除固定沙地沙堆外,其余均在0.01显著水平上显著相关。这说明随着沙源供给的不断增强,沙堆沿风向方向拉长、向着不对称圆丘状发展的过程中,底面的拉伸与沙堆的不对称发育是协调变化的(表4)。

2.3 桤柳沙堆与柽柳灌丛形态的关系

由柽柳灌丛形态参数与沙堆形态参数之间的相关分析可知(表5), L/W 和 B/Y 与灌丛各形态参数间为低度相关,其余相关关系基本都在0.01显著水平上有良好的相关性,其中柽柳高度与沙堆各形态参数间相关性相对较弱。这说明作为沙堆控制因素的沙源供给和柽柳灌丛,前者是沙堆外形趋于沿风向拉长向不对称圆丘状发展的主要影响因素,而后者主要控制沙堆的高度、底面积和体积等。在灌丛与沙堆之间的形态相关分析中,树冠面积与沙堆各形态参数间的相关关系最为紧密且稳定。四种类型沙地的沙堆体积均随树冠面积的增加而增加($R^2>0.7607$),呈显著线性关系,且回归曲线的斜率为正、截距为负,表明沙堆的形成是依附一定尺度的灌丛,可以判断出开始形成灌丛沙堆的树冠面积在固定沙地为6.09 m²,半固定沙地为9.90 m²,半流

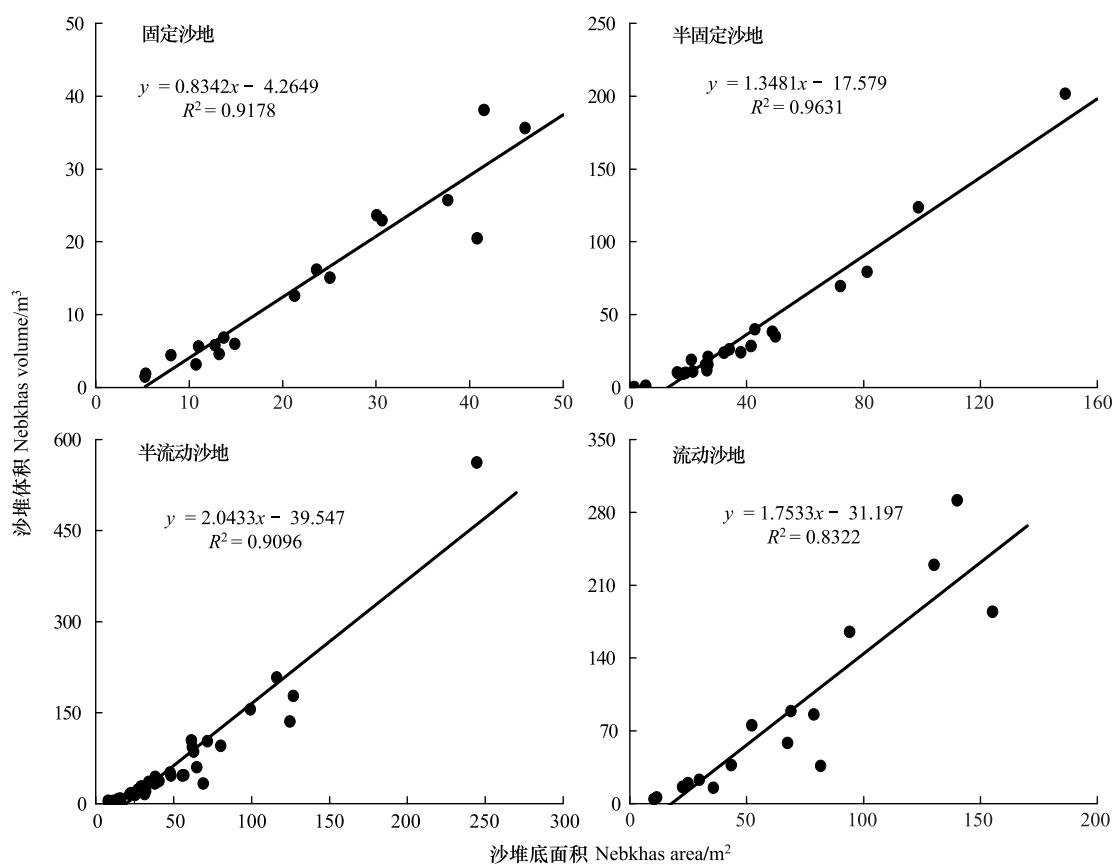


图5 沙堆底面积与体积的关系

Fig. 5 Relationships between nebkhlas area and volume

动沙地为 15.71 m^2 ,流动沙地为 12.80 m^2 。此外,半流动沙地的沙堆体积随柽柳树冠面积变化的斜率最大,说明在其沙源供给丰富度下风积作用对柽柳树冠面积变化的响应最为敏感(图6)。

四种类型沙地沙堆的各形态参数与柽柳灌丛枝条总数、当年新生枝条数间有着良好的相关性(表5),说明沙堆与灌丛之间有着强烈的相互作用。由于沙源供给丰富度的增加,柽柳灌丛会以增加当年新生枝条数来应对不断加强的风积和沙埋威胁,进而会影响柽柳灌丛的形态,而变化后的柽柳灌丛对沙源的截获能力也随之变化,这也正是柽柳灌丛适应沙漠和沙漠化环境的策略。

3 讨论

(1)在不同沙源供给条件下,柽柳灌丛形态参数中高度相对稳定,其余各参数随沙源供给丰富度的增加而增加,其中枝条数、新枝率、基新枝率和生物量增幅显著,这与 Dech、Maun 和赵文智等提出的关于一定程度的沙埋可促进灌丛植物萌蘖和生物量积累的结论部分一致^[19-21]。随沙源供给丰富度的不断增强,柽柳灌丛所能截获的沙物质也随之增多,进而对灌丛产生较强的风积沙埋威胁,柽柳灌丛会以增加当年新生枝条数量的方式来应对沙埋威胁,特别是基部新枝率增幅明显。从短期效果来看,由于当年新生枝条较细小,对灌丛外部形态影响较弱,但长期生长和积累的结果,必然导致枝条总数和冠幅等灌丛外部形态参数的明显变化。

(2)Tengberg、李志忠等指出沙源的丰富程度决定着沙堆的形成和衰退,丰富的沙源供给易形成大尺度沙堆^[4,11],本研究证实了这一观点。本区域柽柳沙堆长度与宽度、底面积与高度间显著相关,也与 Tengberg 和刘冰等的研究结果一致^[4,22-23]。但是,随着沙源供给丰富程度的增加,其相关性减弱,这主要是因为在流动沙地中沙堆显著拉长,外形向着不对称圆丘状发展,同时伴随轮廓清晰的风影沙尾出现所造成的结果。沙堆底面积与体积间存在显著的线性关系,从固定沙地过渡到半流动沙地斜率逐渐增加,这说明丰富的沙源供给使灌丛沙堆迅速发育。研究结果表明,沙堆底面积与高度间的回归曲线呈二次函数,从研究区目前调查结果来看,

表5 榆柳灌丛与沙堆形态参数间的相关分析

Table 5 Correlation coefficient between *Tamarix ramosissima* thickets and the morphological parameters of nebkhlas

灌丛类型 Thickets types	形态参数 Form parameters	沙堆高度 H Height		沙堆长度 L Length		沙堆宽度 W Width		沙堆底面积 S Area		沙堆体积 Volumne		沙堆长度比宽度 L/W Length/ Width		沙堆背风坡长比迎风坡长 B/Y Leeward/Windward				
		灌丛高度 h	灌丛宽度 w_g	灌丛长度 l_g	树冠面积 C	枝条总数 N	新枝数 B_n	灌丛高度 h	灌丛宽度 w_g	灌丛长度 l_g	树冠面积 C	枝条总数 N	新枝数 B_n	灌丛高度 h	灌丛宽度 w_g	灌丛长度 l_g	树冠面积 C	
固定沙地 Fixed sandy land	灌丛高度 h	0.479 *	0.532 *	0.570 *	0.571 *	0.545 *	0.545 *	0.571 *	0.898 **	0.914 **	0.898 **	0.916 **	0.827 **	0.571 *	0.571 *	0.545 *	-0.020	-0.286
	灌丛宽度 w_g	0.713 **	0.843 **	0.843 **	0.843 **	0.930 **	0.930 **	0.930 **	0.913 **	0.913 **	0.913 **	0.913 **	0.861 **	0.861 **	0.861 **	-0.113	-0.103	
	灌丛长度 l_g	0.706 **	0.702 **	0.887 **	0.887 **	0.600 **	0.675 **	0.489 *	0.595 **	0.595 **	0.595 **	0.943 **	0.873 **	0.873 **	0.873 **	-0.051	-0.048	
	树冠面积 C	0.702 **	0.664 *	0.664 *	0.664 *	0.600 **	0.675 **	0.489 *	0.595 **	0.595 **	0.595 **	0.666 **	0.682 **	0.682 **	0.682 **	-0.060	-0.240	
	枝条总数 N	0.664 *	0.614 **	0.614 **	0.614 **	0.489 *	0.579 *	0.423 *	0.455 *	0.455 *	0.455 *	0.334	0.579 *	0.605 **	0.605 **	-0.111	-0.252	
	新枝数 B_n	0.614 **	0.449 *	0.449 *	0.449 *	0.423 *	0.423 *	0.423 *	0.891 **	0.891 **	0.891 **	0.831 **	0.795 **	0.795 **	0.795 **	0.278	0.045	
	灌丛高度 h	0.449 *	0.446 **	0.446 **	0.446 **	0.796 **	0.796 **	0.796 **	0.904 **	0.904 **	0.904 **	0.904 **	0.836 **	0.836 **	0.836 **	0.014	0.067	
	灌丛宽度 w_g	0.446 **	0.876 **	0.876 **	0.876 **	0.795 **	0.795 **	0.795 **	0.904 **	0.904 **	0.904 **	0.904 **	0.795 **	0.795 **	0.795 **	-0.044	0.058	
	灌丛长度 l_g	0.876 **	0.869 **	0.869 **	0.869 **	0.795 **	0.795 **	0.795 **	0.926 **	0.926 **	0.926 **	0.926 **	0.895 **	0.895 **	0.895 **	-0.076	0.042	
	树冠面积 C	0.869 **	0.795 **	0.795 **	0.795 **	0.734 **	0.734 **	0.734 **	0.818 **	0.818 **	0.818 **	0.818 **	0.765 **	0.765 **	0.765 **	0.710 **	0.096	
	枝条总数 N	0.795 **	0.747 **	0.747 **	0.747 **	0.720 **	0.720 **	0.720 **	0.741 **	0.741 **	0.741 **	0.741 **	0.704 **	0.704 **	0.704 **	0.639 **	0.149	
	新枝数 B_n	0.747 **	0.686 **	0.686 **	0.686 **	0.512 **	0.445 **	0.445 **	0.941 **	0.941 **	0.941 **	0.941 **	0.499 **	0.499 **	0.499 **	0.472 **	0.027	
	灌丛高度 h	0.686 **	0.512 **	0.512 **	0.512 **	0.880 **	0.880 **	0.880 **	0.961 **	0.961 **	0.961 **	0.961 **	0.937 **	0.937 **	0.937 **	0.876 **	-0.117	
	灌丛宽度 w_g	0.512 **	0.880 **	0.880 **	0.880 **	0.897 **	0.897 **	0.897 **	0.901 **	0.901 **	0.901 **	0.901 **	0.901 **	0.901 **	0.901 **	0.114	-0.213	
	灌丛长度 l_g	0.880 **	0.897 **	0.897 **	0.897 **	0.884 **	0.884 **	0.884 **	0.877 **	0.877 **	0.877 **	0.877 **	0.944 **	0.944 **	0.944 **	0.924 **	-0.101	
	树冠面积 C	0.897 **	0.884 **	0.884 **	0.884 **	0.820 **	0.830 **	0.830 **	0.744 **	0.744 **	0.744 **	0.744 **	0.812 **	0.812 **	0.812 **	0.952 **	0.050	
	枝条总数 N	0.884 **	0.820 **	0.820 **	0.820 **	0.831 **	0.831 **	0.831 **	0.640	0.473	0.473	0.473	0.551 *	0.461	0.461	0.445	0.277	0.138
	新枝数 B_n	0.831 **	0.640	0.640	0.640	0.877 **	0.877 **	0.877 **	0.203	0.682 *	0.682 *	0.682 *	0.717 **	0.528 *	0.528 *	0.871 **	-0.230	-0.117
	灌丛高度 h	0.640	0.877 **	0.877 **	0.877 **	0.818 **	0.818 **	0.818 **	0.170	0.440	0.440	0.440	0.875 **	0.765 **	0.765 **	0.921 **	0.103	0.375
	灌丛宽度 w_g	0.877 **	0.818 **	0.818 **	0.818 **	0.858 **	0.858 **	0.858 **	0.036	0.749 **	0.749 **	0.749 **	0.422	0.619 **	0.619 **	0.788 **	-0.167	-0.215
	灌丛长度 l_g	0.818 **	0.916 **	0.916 **	0.916 **	0.749 **	0.749 **	0.749 **	0.036	0.448	0.448	0.448	0.228	0.641 **	0.641 **	0.641 **	-0.189	-0.311

* 0.05 显著水平, ** 0.01 显著水平

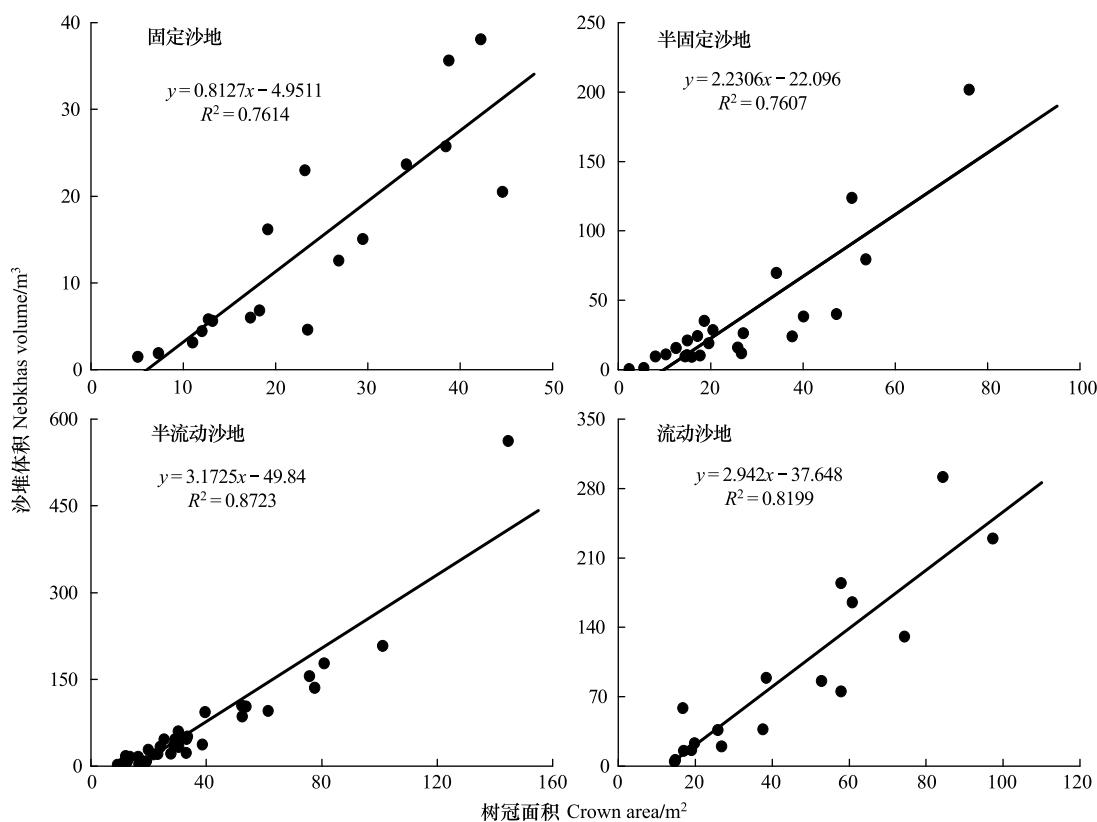


图6 柽柳树冠面积与沙堆体积的关系

Fig. 6 Relationships between crown area and nebkhlas volume

大部分沙堆位于二次曲线的上升阶段,由此判断这些沙堆目前多处在成长阶段,其中半流动沙地中沙堆增长空间最大,有潜力形成高度近4 m 的大沙堆。

(3)沙堆形态与柽柳灌丛形态间具有良好的相关性,这是柽柳灌丛和沙堆间相互作用的结果。随沙源供给的不断增强柽柳灌丛逐渐被积沙所埋,灌丛为应对沙埋威胁而增加当年生枝条数,进而影响到柽柳灌丛的形态,改变后的柽柳灌丛又对挟沙气流产生影响,截留沙粒并重塑沙堆形态,最终产生与柽柳灌丛相适应的沙堆形态。因此,柽柳灌丛沙堆的适应机理应归于高强度的风积产生较深的沙埋对柽柳灌丛生长的促进作用及灌丛与沙堆间的反馈效应^[23]。此外,柽柳冠幅与沙堆体积间有显著线性关系,且斜率为正、截距为负,可推测在沙堆形成之前就已有柽柳生长并达到了一定的冠幅,柽柳沙堆的形成发展是土地不断退化的产物,其中半流动沙地的沙堆体积随冠幅增长的增加速率最大,可推测半流动沙地相对于其他类型正处于急速退化中。

5 结论

(1)研究区从固定沙地—半固定沙地—半流动沙地—流动沙地,柽柳灌丛新枝率依次为32.0%、37.7%、43.8%、49.3%,所对应的沙堆体积依次为13.89、34.78、61.17、86.33 m³。可见丰富的沙源供给有助于柽柳灌丛新生枝条的萌生,并促进了柽柳沙堆尺度的显著增大,外形向着沿风向拉长的不对称圆丘状逐步发展,风影沙尾轮廓也逐渐清晰。

(2)策勒绿洲—沙漠过渡带内,柽柳沙堆的形态参数间存在良好的相关性,其中长度与宽度是协同增长的;底面积与高度表现为良好的二次函数关系;沙堆底面积与体积间存在很好的线性关系。目前研究区内90%以上的柽柳沙堆处在成长阶段,其中半流动沙地中沙堆增长空间最大,可形成高度近4m的大沙堆。

(3)柽柳灌丛沙堆的适应机理应归于高强度的风积产生较深的沙埋对柽柳灌丛生长的促进作用及灌丛与沙堆间的互馈效应。研究区内的柽柳沙堆是土地退化的产物,其中半流动沙地相对于其他类型沙地正处于急速退化中。

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] Nickling W G, Wolfe S A. The morphology and origin of nabkhas, region of Mopti, Mali, West Africa. *Journal of Arid Environments*, 1994, 28 (1) : 13-30.
- [3] 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.
- [4] Tengberg A, Chen D L. A comparative analysis of nebkhlas in central Tunisia and northern Burkina Faso. *Geomorphology*, 1998, 22 (2) : 181-192.
- [5] Sun Q M, Li Z Z, Wu S L, Xiao C X. The process of land desertification in the desert and oasis transition belt of Hetian River Basin. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2007, 21(6) : 136-141.
- [6] Wang X, Wang T, Dong Z, Dong Z, Liu X, Qian G. Nebkha development and its significance to wind erosion and land degradation in semi-arid northern China. *Journal of Arid Environments*, 2006, 65(1) : 129-141.
- [7] Wang S T, Zou X Y, Zhang C L, Cheng H. Wind-protecting effect of shrub dunes in ecotone of Minqin oasis. *Scientia Geographica Sinica*, 2007, 27(1) : 104-108.
- [8] Wu S L, Li Z Z, Xiao C X, Sun Q H, Liu L M. Research progress on nabkhas and research significance. *Journal of Desert Research*, 2006, 26 (5) : 734-738.
- [9] Wu S L, Li Z Z, Hui J, Ge L, He M D. The morphological characteristics and growth mode of nebkhla in the basin of Hotan River, Xinjiang. *Geographical Research*, 2008, 27(2) : 314-322.
- [10] Wu S L, Li Z Z, Hui J, Xiao C X, Sun Q H. Study on the distribution character of surface pressure of Nabkha in wind-tunnel imitative experiment. *Arid Land Geography*, 2006, 29(6) : 790-796.
- [11] Li Z Z, Wu S L, Wang X F, He M D, Ge L, Hetaer M, Xu G Q. Bio-geomorphologic growth process of *Tamarix* nabkha in the Hotan River Basin of Xinjiang. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(5) : 462-470.
- [12] Li Z Z, Wu S L, Xiao C X, Liu L M, Sun Q H, Zhang Z H. Study on wind-tunnel simulated flow pattern over nabkha dunes in Hetian river basin, Xinjiang (II). *Journal of Desert Research*, 2007, 27(1) : 15-19.
- [13] Yue X L, Ha S, Zhuang M Y, Zhang J. Studies on sandy grassland Nebkhas-a review. *Journal of Desert Reaearch*, 2005, 25(5) : 738-743.
- [14] Liu J W, Li Z Z, Wu S L, Li W J, Wang S P, Cao X D, Lin Z Y. The spatial heterogeneity of morphologic feature of *Nitraria* nebkhlas around Ebinur Lake, Xinjiang. *Journal of Desert Research*, 2009, 29(4) : 628-635.
- [15] Qong M, Takamura H O, Hudaberdi M. Formation and internal structure of *Tamarix* cones in the Taklimakan Desert. *Journal of Arid Environments*, 2002, 50(1) : 81-97.
- [16] Xia X C, Zhao Y J, Wang F B, Cao Q Y, Mu G J, Zhao J F. Stratification features of *Tamarix* cone and its possible age significance. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(13) : 1337-1338.
- [17] Li Z Z, Wu S L, Xiao C X, Sun Q H, Liu L M, Zhang Z H. Study on wind-tunnel simulated flow pattern over nabkha in Hetian river basin, Xinjiang (I). *Journal of Desert Research*, 2007, 27(1) : 9-14.
- [18] Wu S L, Li Z Z, Hai Y, Hui J. Experimental study on the airflow patterns around single *Tamarix* plant in the Hotan River Basin, Xinjiang. *Arid Zone Research*, 2006, 23(4) : 539-543.
- [19] Dech J P, Maun M A. Adventitious root production and plastic resource allocation to biomass determine burial tolerance in woody plants from central Canadian coastal dunes. *Annals of Botany*, 2006, 98(5) : 1095-1105.
- [20] Maun M. Adaptations of plants to burial in coastal sand dunes. *Canadian Journal of Botany*, 1998, 76(5) : 713-738.
- [21] Zhao W Z, Liu Z M. Responses of growth and reproduction of *sophora moorcroftiana* to altitude and sand-burying in Tibet. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(1) : 134-138.
- [22] Liu B, Zhao W Z. Morphological characteristics and spatial heterogeneity of *Nitraria sphaerocarp* nebkhlas in desert-oasis ecotone. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(12) : 2814-2820.
- [23] Liu B, Zhao W Z, Yang R. Characteristics and spatial heterogeneity of *Tamarix ramosissima* nebkhlas at desert-oasis ecotone. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(4) : 1446-1455.

参考文献:

- [5] 孙秋梅, 李忠志, 武胜利, 肖晨曦. 和田河流域绿洲荒漠过渡带土地荒漠化过程研究. 干旱区资源与环境, 2007, 21(6) : 136-141.

- [7] 王升堂, 邹学勇, 张春来, 程宏. 民勤绿洲边缘带灌丛沙丘防风作用研究. 地理科学, 2007, 27(1): 104-108.
- [8] 武胜利, 李忠志, 肖晨曦, 孙秋梅, 刘丽梅. 灌丛沙堆的研究进展与意义. 中国沙漠, 2006, 26(5): 734-738.
- [9] 武胜利, 李忠志, 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.
- [10] 武胜利, 李忠志, 惠军, 肖晨曦, 孙秋梅. 灌丛沙堆表面压力分布特征的实验研究. 干旱区地理, 2006, 29(6): 790-796.
- [11] 李忠志, 武胜利, 王晓峰, 何牡丹, 葛琳, 穆赫塔尔, 徐国强. 新疆和田河流域柽柳沙堆的生物地貌发育过程. 地理学报, 2007, 62(5): 462-470.
- [12] 李忠志, 武胜利, 肖晨曦, 刘丽梅, 孙秋梅, 张中华. 新疆和田河流域灌丛沙堆风洞流场的实验研究(Ⅱ). 中国沙漠, 2007, 27(1): 15-19.
- [13] 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.
- [14] 刘金伟, 李忠志, 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.
- [16] 夏训诚, 赵元杰, 王富葆, 曹琼英, 穆桂金, 赵景峰. 红柳沙包的层状特征及其可能的年代学意义. 科学通报, 2004, 49(13): 1337-1338.
- [17] 李忠志, 武胜利, 肖晨曦, 孙秋梅, 刘丽梅, 张中华. 新疆和田河流域灌丛沙堆风洞流场的实验研究(Ⅰ). 中国沙漠, 2007, 27(1): 9-14.
- [18] 武胜利, 李忠志, 海鹰, 惠军. 新疆和田河流域单株柽柳灌丛流场的实验研究. 干旱区研究, 2006, 23(4): 539-543.
- [21] 赵文智, 刘志民. 西藏特有灌木砂生槐繁殖生长对海拔和沙埋的响应. 生态学报, 2002, 22(1): 134-140.
- [22] 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.
- [23] 刘冰, 赵文智, 杨荣. 荒漠绿洲过渡带柽柳灌丛沙堆特征及其空间异质性. 生态学报, 2008, 28(4): 1446-1455.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 9 May, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

- Responses and weigh of multi-ecosystem services and its economic value under different land cover scenarios: a case study from
Ertan water control pivot in Yalong River GE Jing, WU Nan, GAO Jixi, et al (2629)
- Influence of grazing on biomass, growth ratio and compensatory effect of different plant groups in *Kobresia parva* meadow
..... DONG Quanmin, ZHAO Xinquan, MA Yushou, et al (2640)
- Stocking effectiveness of hatchery-released kuruma prawn *Penaeus japonicus* in the Xiangshan Bay, China
..... JIANG Yazhou, LING Jianzhong, LIN Nan, et al (2651)
- The spatial pattern of landscape fragmentation and its relations with urbanization and socio-economic developments: a case study
of Beijing QIU Jiangxiao, WANG Xiaoke, LU Fei, et al (2659)
- Cellular automata simulation of barren patch connectivity effect in degradation sequence on alpine meadow in the source region
of the Yangtze and Yellow rivers, Qinghai-Tibetan Plateau, China LI Xueling, LIN Huilong (2670)
- Evolution law of architectural landscape during the urban renewal process in Tiexi District
..... ZHANG Peifeng, HU Yuanman, XIONG Zaiping, et al (2681)
- Competition for light and crop productivity in an agro-forestry system in the Hilly Region, Shangluo, China
..... PENG Xiaobang, ZHANG Shuoxin (2692)
- Evaluation of forest ecosystem services based on biomass in Shanxi Province LIU Yong, LI Jinchang, YANG Yonggang (2699)
- Research on the morphological interactions between *Tamarix ramosissima* thickets and Nebkhas under different sand supply
conditions: a case study in Cele oasis-desert ecotone YANG Fan, WANG Xueqin, YANG Dongliang, et al (2707)
- Litter decomposition and nutrient release in typical secondary and primary forests in karst region, Northwest of Guangxi
..... ZENG Zhaoxia, WANG Kelin, ZENG Fuping, et al (2720)
- Spatial patterns of dominant species in a subtropical evergreen broad-leaved forest in Jiulian Mountain Jiangxi Province, China
..... FAN Juan, ZHAO Xiuhai, WANG Jinsong, et al (2729)
- Characteristics of seedlings regeneration in *Quercus aliena* var. *acuteserrata* secondary forests in Qinling Mountains
..... KANG Bing, WANG Dexiang, LI Gang, et al (2738)
- Xylem hydraulic traits of *Populus euphratica* Oliv. in extremely drought environment
..... AYOUPU Mubareke, CHEN Yaning, HAO Xingming, et al (2748)
- Response characteristics of leaf traits of common species along an altitudinal gradient in Hongchiba Grassland, Chongqing
..... SONG Lulu, FAN Jiangwen, WU Shaohong, et al (2759)
- Changes of carbon input influence soil respiration in a *Pinus tabulaeformis* plantation
..... WANG Jinsong, ZHAO Xiuhai, ZHANG Chunyu, et al (2768)
- Effects of different habitats and coverage treatments on the fates of *Quercus wutaishanica* seeds under the predation pressure of
rodents YAN Xingfu, ZHOU Libiao, LIU Jianli (2778)
- Nested analysis of urban woodlot bird communities in Minhang District of Shanghai
..... WANG Benyao, WANG Xiaoming, WANG Tianhou, et al (2788)
- Production dynamics and trophic basis of three dominant mayflies in the continuum of Shenglihe Stream in the Bahe River Basin
..... DENG Shan, YE Caiwei, WANG Lixiao, et al (2796)
- Effects of sedimentation thickness of shrimp pond cleaning discharges on *Acanthus ilicifolius* seedlings LI Ting, YE Yong (2810)
- Utilization of carbon sources by the soil microbial communities of different forest types in subtropical Australia
..... LU Shunbao, GUO Xiaomin, RUI Yichao, et al (2819)
- Soil microbial community characteristics under different vegetation types at the Holocene-basalt Platform, Jingpo Lake area,
Northeast China HUANG Yuanyuan, QU Laiye, QU Xiuchun, et al (2827)
- Effect of *Ipomoea aquatica* Floating-bed on the quantity and distribution of nitrogen cycling bacteria and nitrogen removal
..... TANG Yingying, LI Xiuzhen, ZHOU Yuanqing, et al (2837)
- Effects of microbial inoculants on soil microbial diversity and degrading process of corn straw returned to field
..... LI Peipei, ZHANG Dongdong, WANG Xiaojuan, et al (2847)

Effects of coupling film-mulched furrow-ridge cropping with maize straw soil-incorporation on maize yields and soil organic carbon pool at a semiarid loess site of China	WU Rongmei, WANG Yongpeng, LI Fengmin, et al (2855)
Residues and spatial distribution of OCPs in the sediments of Gan River Basin ...	LIU Xiaozhen, ZHAO Ci, LIANG Yu, et al (2863)
Analysis on population fluctuation and properties of the white-backed planthopper in Huizhou in 2009	DIAO Yonggang, YANG Haibo, QU Yufeng, et al (2872)
Evaluation acaricidal activities of <i>Momordica cochinchinensis</i> extracts against <i>Tetranychus cinnabarinus</i>	GUO Huili, SHI Guanglu, JIA Liangxi, et al (2883)
Stomatal ozone uptake modeling and comparative analysis of flux-response relationships of winter wheat	TONG Lei, FENG Zongwei, Sudebilige, et al (2890)

Review and Monograph

Calculation method of energy ecological footprint based on global net primary productivity	
..... FANG Kai, DONG Deming, LIN Zhuo, et al (2900)	
Behavioral patterns, influencing factors, functions and risks of social play in primates	
..... WANG Xiaowei, ZHAO Haitao, QI Xiaoguang, et al (2910)	

Discussion

Spatio-Temporal changing analysis on carbon storage of harvested wood products in China	
..... LUN Fei, LI Wenhua, WANG Zhen, et al (2918)	

Scientific Note

Variations in allometrical relationship between stand nitrogen storage and biomass as stand development	
..... CHENG Dongliang, ZHONG Quanlin, LIN Maozi, et al (2929)	
Effect of continuous cropping of sesame on rhizospheric microbial communities	
..... HUA Juling, LIU Guangrong, HUANG Jinsong (2936)	
Effects of clipping on the growth, gas exchange and chlorophyll fluorescence of invasive plant, <i>Flaveria bidentis</i>	
..... WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, CHEN Dongqing, et al (2943)	
Influence of vegetable cultivation methods on soil organic carbon sequestration rate	
..... LIU Yang, YU Dongsheng, SHI Xuezheng, et al (2953)	
Integrated matrix-hydrology-biological remediation technology for bank collapse lakeside zone of Chaohu Lake	
..... CHEN Yunfeng, ZHANG Yanhui, ZHENG Xiqiang (2960)	

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生态学报

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 9 期 (2012 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 9 (May, 2012)

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel: (010) 62941099
www.ecologica.cn
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:1000717

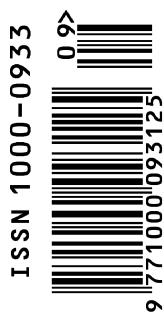
Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 1000717, China

印 刷 北京北林印刷厂
行 销 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044
广告经营 京海工商广字第 8013 号

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元