

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 11 期 Vol.32 No.11 **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

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 11 期

2012 年 6 月 (半月刊)

目 次

黑龙江省大兴安岭林区火烧迹地森林更新及其影响因子·····	蔡文华, 杨健, 刘志华, 等 (3303)
基于 B-IBI 指数的温榆河生态健康评价·····	杨柳, 李泳慧, 王俊才, 等 (3313)
川西亚高山暗针叶林不同恢复阶段红桦、岷江冷杉土壤种子损耗特征·····	马姜明, 刘世荣, 史作民, 等 (3323)
老龄阔叶红松林下层木空间分布的生境关联分析·····	丁胜建, 张春雨, 夏富才, 等 (3334)
内蒙古高原荒漠区四种锦鸡儿属植物灌丛沙包形态和固沙能力比较·····	张媛媛, 马成仓, 韩磊, 等 (3343)
角果藜的生长动态及其生殖配置·····	全杜娟, 魏岩, 周晓青, 等 (3352)
基于 MODIS/NDVI 时间序列的森林灾害快速评估方法——以贵州省为例·····	侍昊, 王笑, 薛建辉, 等 (3359)
祁连山西水林区土壤阳离子交换量及盐基离子的剖面分布·····	姜林, 耿增超, 李珊珊, 等 (3368)
水分和温度对春玉米出苗速度和出苗率的影响·····	马树庆, 王琪, 吕厚荃, 等 (3378)
施氮对水稻土 N ₂ O 释放及反硝化功能基因 (<i>narG/nosZ</i>) 丰度的影响·····	郑燕, 侯海军, 秦红灵, 等 (3386)
中国西北潜在蒸散时空演变特征及其定量化成因·····	曹雯, 申双和, 段春峰 (3394)
基于植被降水利用效率和 NDVI 的黄河上游地区生态退化研究·····	杜加强, 舒俭民, 张林波 (3404)
异速生长法计算秋茄红树林生物量·····	金川, 王金旺, 郑坚, 等 (3414)
乌兰布和沙漠沙蒿与油蒿群落的物种组成与数量特征·····	马全林, 郑庆中, 贾举杰, 等 (3423)
不同光强下单叶蔓荆的光合蒸腾与离子累积的关系·····	张萍, 刘林德, 柏新富, 等 (3432)
浑善达克沙地沙地榆种子雨的扩散规律·····	谷伟, 岳永杰, 李钢铁, 等 (3440)
咸水灌溉对沙土土壤盐分和胡杨生理生长的影响·····	何新林, 陈书飞, 王振华, 等 (3449)
外源 NO 对 NaHCO ₃ 胁迫下黑麦草幼苗光合生理响应的调节·····	刘建新, 王金成, 王鑫, 等 (3460)
呼伦贝尔草地植物群落与土壤化学计量学特征沿经度梯度变化·····	丁小慧, 罗淑政, 刘金巍, 等 (3467)
海南稻田土壤硒与重金属的含量、分布及其安全性·····	耿建梅, 王文斌, 温翠萍, 等 (3477)
江苏省典型区农田土壤及小麦中重金属含量与评价·····	陈京都, 戴其根, 许学宏, 等 (3487)
应用稳定同位素研究广西东方洞食物网结构和营养级关系·····	黎道洪, 苏晓梅 (3497)
利用细胞计数手段和 DGGE 技术分析松花江干流部分地区的细菌种群多样性·····	屠腾, 李蕾, 毛冠男, 等 (3505)
中国主要入海河流域河口集水区划分与分类·····	黄金良, 李青生, 黄玲, 等 (3516)
基于 VGPM 模型和 MODIS 数据估算梅梁湾浮游植物初级生产力·····	殷燕, 张运林, 时志强, 等 (3528)
低温胁迫下虎纹蛙的生存力及免疫和抗氧化能力·····	王娜, 邵晨, 颜志刚, 等 (3538)
转 Bt 水稻土壤跳虫群落组成及其数量变化·····	祝向钰, 李志毅, 常亮, 等 (3546)
尼日利亚非洲蜂和安徽意大利蜜蜂及其杂交二代形态特征与微卫星 DNA 遗传多样性·····	余林生, 解文飞, 巫厚长, 等 (3555)
北京城市公园湿地休憩功能的利用及其社会人口学因素·····	李芬, 孙然好, 陈利顶 (3565)
基于协整理论的经济增长与生态环境变化关系分析——以重庆市渝东南地区为例·····	肖强, 胡聃, 肖洋, 等 (3577)
感潮河网区环境合作博弈模型及实证·····	刘红刚, 陈新庚, 彭晓春 (3586)
专论与综述	
国内外生态效率核算方法及其应用研究述评·····	尹科, 王如松, 周传斌, 等 (3595)
全球变化背景下的现代生态学——第六届现代生态学讲座纪要·····	温腾, 徐德琳, 徐驰, 等 (3606)
问题讨论	
流域环境要素空间尺度特征及其与水生态分区尺度的关系——以辽河流域为例·····	刘星才, 徐宗学, 张淑荣, 等 (3613)
研究简报	
不同光照强度对兴安落叶松几种主要防御蛋白活力的影响·····	鲁艺芳, 石蕾, 严善春 (3621)
木荷种源间光合作用参数分析·····	熊彩云, 曾伟, 肖复明, 等 (3628)
基于能值分析的深圳市三个小型农业生态系统研究·····	杨卓翔, 高阳, 赵志强, 等 (3635)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 342 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2012-06



封面图说: 爬升樟木沟的暖湿气流——樟木沟是中国境内横切喜马拉雅山脉南坡的几条著名大沟之一, 它位于我国西藏聂拉木县境内的希夏邦马峰东南侧, 延绵 5400km 的 318 国道在此沟中到达其最西头。从聂拉木县城到樟木口岸短短的 30km 中, 海拔从 4000m 急降至 2000m。在大气环流作用下, 来自印度洋的暖湿气流沿樟木沟不断费力地往上爬升, 给该沟谷留下了大量的降水。尤其是在雨季到来时, 山间到处是流水及悬垂崖头的瀑布, 翠峰直插云霄, 森林茂密苍郁, 溪流碧澄清澈, 奇花异葩繁多, 风景美如画卷, 气势壮丽非凡。

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

DOI: 10.5846/stxb201105230675

张媛媛, 马成仓, 韩磊, 高玉葆. 内蒙古高原荒漠区四种锦鸡儿属植物灌丛沙包形态和固沙能力比较. 生态学报, 2012, 32(11): 3343-3351.

Zhang Y Y, Ma C C, Han L, Gao Y B. Nabkha morphology and sand-fixing capability of four dominant *Caragana* species in the desert region of the Inner Mongolia Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(11): 3343-3351.

内蒙古高原荒漠区四种锦鸡儿属植物 灌丛沙包形态和固沙能力比较

张媛媛¹, 马成仓^{1,*}, 韩磊¹, 高玉葆^{1,2}

(1. 天津师范大学生命科学学院天津市细胞遗传与分子调控重点实验室, 天津 300387;

2. 南开大学生命科学学院, 天津 300071)

摘要:测定了内蒙古高原荒漠区 4 种锦鸡儿属优势植物(柠条锦鸡儿、狭叶锦鸡儿、荒漠锦鸡儿和垫状锦鸡儿)不同大小灌丛的灌丛形态参数、沙包形态参数和沙包体积,目的是掌握这些锦鸡儿属植物灌丛的沙包形态特征、沙包发育特征和固沙能力随着灌丛发育的变化,比较 4 种锦鸡儿属植物灌丛沙包的形态、发育特征和固沙能力的差异。研究发现:柠条锦鸡儿沙包形态呈球冠状,狭叶锦鸡儿沙包呈圆锥状,荒漠锦鸡儿沙包呈圆台状,垫状锦鸡儿沙包呈半球状。同种锦鸡儿属灌丛沙包的底面直径与地上枝条鲜重呈极显著正相关关系($P < 0.01$),沙包高度与地上枝条鲜重无显著相关性($P > 0.05$),沙包高度与植物株高呈显著正相关关系($P < 0.05$),沙包坡角与地上枝条鲜重呈显著负相关关系($P < 0.05$),沙包半径与沙包高度呈显著正相关关系($P < 0.05$)。灌丛水平扩展快于垂向生长,灌丛沙包的水平发育也快于垂向发育。随着灌丛地上生物量的增加,4 种锦鸡儿属植物不仅沙包体积增大,而且固沙效率也显著增加($P < 0.01$)。不同锦鸡儿属植物灌丛和沙包形态参数存在显著差异。柠条锦鸡儿和狭叶锦鸡儿的灌丛水平和垂直方向成比例扩展,而荒漠锦鸡儿和垫状锦鸡儿无论灌丛面积多大,高度基本不变。随着灌丛地上枝条鲜重的增加,4 种锦鸡儿灌丛沙包底面积都在增大,其中荒漠锦鸡儿增长最快,垫状锦鸡儿次之,柠条锦鸡儿排位第三,狭叶锦鸡儿增长最慢。随着灌丛沙包水平方向的扩展,荒漠锦鸡儿沙包垂向扩展最慢,最终导致其沙包垂向尺度最小;柠条锦鸡儿、垫状锦鸡儿和狭叶锦鸡儿沙包两个方向发育较为均衡。4 种锦鸡儿属植物的固定沙包体积和固沙效率都表现为:荒漠锦鸡儿>柠条锦鸡儿>狭叶锦鸡儿>垫状锦鸡儿。这些研究结果表明,灌丛地上生物量的不同决定了种内沙包的体积、形态和植物固沙能力的差异;灌丛形态和发育特征的不同决定了种间沙包形态、沙包发育和植物固沙能力的差异。

关键词:锦鸡儿;灌丛沙包;形态特征;生物量;沙包发育;固沙能力

Nabkha morphology and sand-fixing capability of four dominant *Caragana* species in the desert region of the Inner Mongolia Plateau

ZHANG Yuanyuan¹, MA Chengcang^{1,*}, HAN Lei¹, GAO Yubao^{1,2}

1 Tianjin Key Laboratory of Cyto-Genetical and Molecular Regulation, College of Life Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China;

2 College of Life Science, Nankai University, Tianjin 300071, China

Abstract: The drought-resistant shrubs *Caragana korshinskii*, *Caragana stenophylla*, *Caragana roborovskii*, and *Caragana tibetica*, are distributed mainly in the arid and semi-arid areas of the Inner Mongolia Plateau, China. They are important plants for fodder resource, and are known as “lifesaving plants” to livestock. In addition, they play an important role in fixing sand dunes and conserving water resources. So far, however, very little attention has been paid to the factors determining the sand-fixing capability of *Caragana* shrubs. In this study, we explored the relationships between the

基金项目:国家自然科学基金项目(31170381);国家重点基础研究发展规划项目(2007CB106802)

收稿日期:2011-05-23; **修订日期:**2011-09-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: machengcang@163.com

morphology of shrubs and nabkhas and sand-fixing capability for the four dominant *Caragana* species in the desert region of the Inner Mongolia Plateau. The results showed that *C. korshinskii* nabkhas were spherical and coronary, *C. stenophylla* nabkhas were conical, and the nabkhas of *C. roborovskyi* and *C. tibetica* were platform and hemispherical, respectively. Within each of the four *Caragana* species, shrub aboveground biomass significantly correlated with both nabkhas' horizontal scale and slope angle ($P < 0.05$), but not significantly correlated with nabkhas' vertical scale ($P > 0.05$). Nabkhas' vertical scale significantly correlated with plant height ($P < 0.05$). The correlation between nabkhas' horizontal scale and vertical scale was significant. The nabkhas' horizontal scale, vertical scale, and volume all increased with *Caragana* shrub's extension. And the development of shrubs and nabkhas was faster in horizontal scale than in vertical scale. The sand-fixing capability of nabkhas also increased as *Caragana* shrub extended. Among the four *Caragana* species, the morphological characteristics of shrub and nabkha were significantly different. *C. korshinskii* had the highest shrub height, the largest nabkhas vertical scale and the highest shrub aboveground biomass. *C. roborovskyi* had the largest nabkha horizontal scale, the smallest vertical scale, and the smallest slope angle. *C. stenophylla* and *C. tibetica* had relatively smaller nabkhas, but larger nabkha slope angles than the two *Caragana* species above. For *C. korshinskii* and *C. stenophylla*, the ratio between horizontal and vertical expansion remained relatively constant. But for *C. roborovskyi* and *C. tibetica*, the shrub height remained similar regardless of the size of shrub bottom. As the shrub extended, the nabkhas' bottom area of the four *Caragana* species all increased but with significantly different rates. The bottom area of *C. roborovskyi* and *C. tibetica* nabkhas tended to expand faster than that of *C. korshinskii* and *C. stenophylla*. Within the four *Caragana* species, the vertical expansion of *C. roborovskyi* was the slowest, resulting in the lowest plant height. While, *C. korshinskii*, *C. stenophylla*, and *C. tibetica* shrub nabkhas remained in relative balance in horizontal and vertical development. The order of nabkha volume and sand-fixing efficiency of four dominant *Caragana* species were all as following: *C. roborovskyi* > *C. korshinskii* > *C. stenophylla* > *C. tibetica*. Based on the results of this study, we can draw two main conclusions: (1) Within each of the four *Caragana* species, the nabkha volume, morphology and sand-fixing capacity were probably determined by shrubs' aboveground biomass. (2) Among the four *Caragana* species, the difference of nabkha morphology, development characteristics, and shrubs' sand-fixing capability were probably caused by the interspecific differences in morphology and development strategies.

Key Words: *Caragana*; nabkha; morphology; biomass; nabkha development; sand-fixing capacity

锦鸡儿属(*Caragana*)属于豆科植物,全世界约有 100 余种,主要分布于亚洲和欧洲的干旱和半干旱地区^[1]。我国的锦鸡儿属植物主要集中分布在草原和荒漠区^[2]。内蒙古高原荒漠区降水量少,气候异常干燥,日温差大,太阳辐射较强,这种极端的气候导致大多数植物很难正常生长发育。然而,以强抗旱性著称的锦鸡儿属植物却以其独有的特性成为该地区的优势植物。锦鸡儿属植物强抗旱、耐风蚀且具有很好的固沙能力,因此,对其进行研究对我国乃至全球沙漠防治具有重要的现实意义。为此,国内学术界早在 20 世纪 90 年代就对锦鸡儿属植物展开研究,包括锦鸡儿灌丛的水分生理生态学特性^[3]、地理分布^[4]、光合特性^[5]、遗传特征^[6]、繁殖形式^[7]、水力结构^[8]以及土壤养分对灌丛的影响^[9]等,研究的内容不断深入。也有研究者以流动沙丘为对照,对科尔沁沙地小叶锦鸡儿灌丛的固沙作用进行了研究^[10-11],可是对于荒漠区锦鸡儿属灌丛的沙包形态和固沙能力的研究尚未见报道。灌丛沙包是干旱和半干旱地区普遍存在的一种风积地貌,反映了沙土在灌丛周围的富集程度,自 20 世纪 80 年代以来就广受关注。国外对灌丛沙包的研究主要在非洲、美国西南部以及中东等地展开^[12-18],我国学者也在新疆的罗布波、和田河流域和塔克拉玛干沙漠,以及内蒙古的科尔沁沙地、鄂尔多斯高原、乌兰布沙漠和阿拉善高原等地展开相关研究^[19-25]。研究集中于灌丛沙包的形态特征、发育特征、空间格局、动力演变以及沉积特征等方面^[12-25]。强调灌丛沙包是一种生态环境退化的地貌,而忽视它在退化生态系统中的保育功能^[12-13,15,19]。对灌丛沙包的形成受多种因素的共同影响和制约达成共识,

但对制约因素的研究主要集中在地质和气候因素^[18,21,23]。关于生物因素,即灌丛大小、灌丛形态和灌丛发育特征对沙包形态、沙包发育和固沙能力的研究较少。本文测定了内蒙古高原西部荒漠区四种锦鸡儿属植物不同大小灌丛的灌丛形态参数、沙包形态参数和沙包体积,研究这些锦鸡儿属植物灌丛沙包形态、沙包发育和固沙能力与灌丛大小、灌丛形态和灌丛发育特征的关系,比较四种锦鸡儿属植物灌丛沙包的形态特征、沙包发育特征和固沙能力的差异。

1 材料和方法

1.1 自然概况

本实验在内蒙古高原西部的阿拉善左旗进行,地理位置为东经 105.66°,北纬 38.84°,海拔 1561 m。该地区属温带荒漠干旱区,为典型的大陆型气候,以风沙大、干旱少雨、日照充足、蒸发强烈为主要特点。年降雨量 80—220 mm,年蒸发量 2900—3300 mm。年日照时间 3200 h,年平均气温 7.8 °C,无霜期 120—180 d。植被类型为典型荒漠,境内植被稀疏,植物种类贫乏,盖度低,一般只有 1%—20%,以旱生、超旱生和盐生的灌木、半灌木、小灌木为主要建群植物^[26],锦鸡儿属植物是该区的优势植物。

1.2 研究材料

柠条锦鸡儿(*C. korshinskii*) 又称大柠条、白柠条等,多年生灌木,株高 1.5—3 m,最高可达 5 m 以上^[27]。根系庞大,入土深达 5—6 m,水平伸展可达 20 m。极耐干旱,耐酷热,也耐严寒^[28]。抗风蚀、耐沙埋的能力也很强,根系被风蚀裸露后一般也能正常生长,株丛被沙埋后反而促进分枝生长^[29]。

狭叶锦鸡儿(*C. stenophylla*) 矮灌木,高 15—70 cm。株丛紧密,根系发达,根粗壮,侧根伸长,根蘖性强^[29]。

荒漠锦鸡儿(*C. roborovskyi*) 灌木,高 30—50 cm。根粗壮,轴根发达,侧根多集中于土壤表层^[30]。

垫状锦鸡儿(*C. tibetica*):丛生矮灌木,高 15—30 cm^[31]。枝条短而密集。轴根发达,侧根多集中于土壤表层,抗寒、耐干旱。株丛紧密,能拦截细沙土,沙埋后,产生不定根,形成新的株丛^[32]。

1.3 研究方法

野外试验于 2010 年 9 月进行,每个种选取 6 个外形规则、生长均匀一致(减少灌丛自身生长状况差异对于取样的影响)、大小具有梯度差异的灌丛(所取的最大和最小灌丛基本上能代表当地的最大和最小灌丛)作为研究对象。柠条锦鸡儿 6 个灌丛的面积分别为 48.59、40.35、32.31、15.92、11.81 和 6.54 m²;狭叶锦鸡儿分别为 5.27、4.18、2.91、2.10、1.33 和 0.48 m²;荒漠锦鸡儿分别为 32.29、24.87、13.62、9.17、6.43 和 5.68 m²;垫状锦鸡儿分别为 4.40、2.21、1.69、1.49、0.76 和 0.47 m²。对于选定的每个灌丛,测量沙包的高度、周长,并计算沙包直径、沙包坡角和灌丛中构件对地面的覆盖程度;根据沙包形态计算沙包体积;测量植株高度、面积,并剪去约 1/8 的枝条,称重,推算地上枝条鲜重;依据沙包体积和地上枝条鲜重计算灌丛单位鲜重固沙量,即固沙效率(cm³/g);根据沙堆面积、灌丛面积和灌丛中构件对地面的覆盖程度计算沙包的植物覆盖度。将 6 个灌丛的灌丛特性指标和沙包特性指标取平均值作为该种的特性。

统计分析采用 SPSS17.0 进行。对同种锦鸡儿属灌丛的沙包形态指标、固沙能力与灌丛特性进行相关分析;对不同种锦鸡儿属灌丛的沙包形态指标和固沙能力进行 One-way ANOVA 分析和 Duncan 多重比较分析。为了掌握各个种灌丛和沙包的发育特征,用灌丛高度和灌丛半径回归方程的斜率(*K*)(在二者显著相关的条件下)表示灌丛水平和垂直方向的发育特性;用沙包底面积和灌丛鲜重回归方程的斜率(*K*)表示随灌丛增大沙包水平方向的发育特性;用沙包高度和沙包半径回归方程的斜率(*K*)表示沙包水平和垂直方向的发育特性。

2 结果与分析

2.1 4 种锦鸡儿属灌丛沙包形态

柠条锦鸡儿沙包呈球冠状,坡顶浑圆,坡角约 15°—19°,沙包底面近似圆形,沙包的植物覆盖度为 75%—85%。狭叶锦鸡儿沙包为圆锥状,不同大小的灌丛沙包坡度差异较大,坡角约 14°—27°,植物覆盖度约

73%—79%。荒漠锦鸡儿坡角仅为 2° — 7° ,形态为水平尺度较大、高度较低的圆台形,沙包上枝条稀疏,植物覆盖度仅为20%—30%。垫状锦鸡儿沙包形态为典型的半球形,坡角约 12° — 27° ,底面为规则的圆形,沙包上植物覆盖度约80%—90%(图1)。

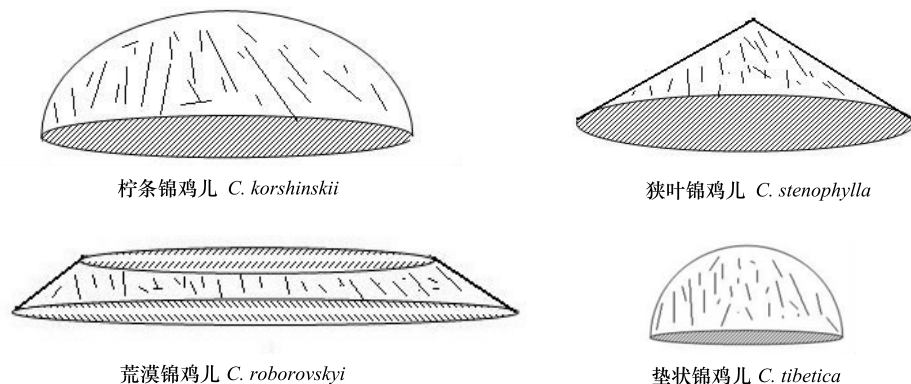


图1 4种锦鸡儿属植物的灌丛沙包形态示意图

Fig. 1 Nabkhas morphology diagram of four *Caragana* species

2.2 4种锦鸡儿属灌丛沙包形态特征、固沙能力与灌丛大小的关系

4种锦鸡儿属灌丛沙包的水平尺度和垂向尺度均随地上枝条鲜重的增加而扩展。同种锦鸡儿属灌丛沙包的底面直径与地上枝条鲜重呈极显著正相关关系($P<0.01$),高度与地上枝条鲜重无显著相关性($P>0.05$)(表1)。说明对于同种锦鸡儿来说,固定沙包的水平发育主要受灌丛大小的控制,垂向发育与灌丛大小关系不显著。灌丛越大,沙包底面越大。

表1 4种锦鸡儿属灌丛沙包形态特征、固沙能力与灌丛大小的相关性分析结果(r)

Table 1 The correlation analysis of nabkhas morphology and sand-fixing capacity with shrubs magnitude of four *Caragana* species

植物种 Plant species	D 与 W	H 与 W	H 与 T	A 与 W	V 与 W	E 与 W
柠条锦鸡儿 <i>C. korshinskii</i>	0.941 **	0.747	0.915 *	-0.867 *	0.941 **	0.844 *
狭叶锦鸡儿 <i>C. stenophylla</i>	0.947 **	0.617	0.892 *	-0.828 *	0.947 **	0.956 **
荒漠锦鸡儿 <i>C. roborovskii</i>	0.940 **	0.794	0.835 *	-0.896 *	0.951 **	0.853 *
垫状锦鸡儿 <i>C. tibetica</i>	0.971 **	0.692	0.871 *	-0.890 *	0.971 **	0.982 **

W : 地上枝条鲜重(kg); D : 沙包直径(m); H : 沙包高度(m); T : 植物高度(m); A : 沙包坡角($^{\circ}$); V : 沙包体积(m^3); E : 固沙效率(cm^3/g);

* 表示二者显著相关 $P<0.05$, ** 表示二者极显著相关 $P<0.01$

4种锦鸡儿属灌丛沙包高度与植物株高均呈显著正相关关系($P<0.05$),表明对于同种锦鸡儿来说,控制沙包垂向发育的主要因素是植物株高。灌丛高度越大,沙包越高。

4种锦鸡儿属灌丛固定沙包坡角与地上枝条鲜重均呈显著负相关关系($P<0.05$)(表1),即随着灌丛的扩展,固定沙包坡角逐渐变小。如柠条锦鸡儿生物量14.78 kg的灌丛,坡角为 18.58° ,生物量59.40 kg的灌丛,坡角为 15.43° ;狭叶锦鸡儿生物量3.20 kg的灌丛,坡角为 22.56° ,生物量11.96 kg的灌丛,坡角为 14.72° ;荒漠锦鸡儿生物量1.00 kg和7.50 kg的灌丛,坡角分别为 6.50° 和 1.89° ;垫状锦鸡儿生物量0.45 kg和1.30 kg的灌丛,坡角分别为 25.10° 和 12.53° 。这表明锦鸡儿属植物固定沙包在发育过程中水平方向扩展速度快于垂直扩展速度。

随着灌丛地上生物量的增加,4种锦鸡儿属植物不仅固定沙包体积增大,而且单位鲜重固沙量(固沙效率)也表现为显著线性增加($P<0.01$)(表1)。如柠条锦鸡儿生物量14.78 kg的灌丛,固沙效率为 $46.45 cm^3/g$,生物量59.40 kg的灌丛,固沙效率为 $192.34 cm^3/g$;狭叶锦鸡儿生物量3.20 kg的灌丛,固沙效率为 $121.42 cm^3/g$,生物量11.96 g的灌丛,固沙效率为 $183.37 cm^3/g$;荒漠锦鸡儿生物量1.00 kg和7.50 kg的灌丛,固沙

效率分别为 1089.54 cm³/g 和 2114.98 cm³/g;垫状锦鸡儿生物量 0.45 g 和 1.30 kg 的灌丛,固沙效率分别为 37.28 cm³/g 和 39.01 cm³/g。这些说明灌丛越大,固沙效率越高。

2.3 4 种锦鸡儿属植物灌丛和沙包形态特征比较

4 种锦鸡儿属植物灌丛和沙包形态指标存在显著差异。灌丛地上枝条鲜重:柠条锦鸡儿>狭叶锦鸡儿>荒漠锦鸡儿>垫状锦鸡儿;株高:柠条锦鸡儿>荒漠锦鸡儿>狭叶锦鸡儿>垫状锦鸡儿;沙包底面直径:荒漠锦鸡儿>柠条锦鸡儿>狭叶锦鸡儿>垫状锦鸡儿;沙包高度:柠条锦鸡儿>狭叶锦鸡儿>垫状锦鸡儿>荒漠锦鸡儿;沙包坡角:垫状锦鸡儿>狭叶锦鸡儿>柠条锦鸡儿>荒漠锦鸡儿(图 2)。柠条锦鸡儿株高、沙包高度和地上枝条鲜重都显著大于其他 3 种锦鸡儿。荒漠锦鸡儿沙包底面直径最大,高度较小,因此沙包坡度最小。狭叶锦鸡儿和垫状锦鸡儿沙包底面直径、沙包高度、株高和地上枝条鲜重均较小,坡角较大。

植物种 Plant species	植物高度/m Plant height	地上枝条鲜重/g Aboveground biomass	沙包直径/m Nabkha diameter	沙包高度/m Nabkha height	沙包坡角/(°) Nabkha slope angle
柠条锦鸡儿 <i>C. korshinskii</i>	0.88	32745	4.72	0.68	16.76
狭叶锦鸡儿 <i>C. stenophylla</i>	0.34	5117	2.08	0.38	20.59
荒漠锦鸡儿 <i>C. roborovskiyi</i>	0.39	3316	5.93	0.17	3.84
垫状锦鸡儿 <i>C. tibetica</i>	0.14	754	1.4	0.25	20.81
ANOVE检验结果 ANOVE results	$F = 75.001$ $P < 0.01$	$F = 13.343$ $P < 0.01$	$F = 12.917$ $P < 0.01$	$F = 17.494$ $P < 0.01$	$F = 24.353$ $P < 0.01$

图 2 4 种锦鸡儿属植物灌丛和沙包形态特征比较
Fig. 2 The comparison of shrubs and nabkhas morphology of four *Caragana* species

2.4 4 种锦鸡儿属植物灌丛和沙包发育特征比较

柠条锦鸡儿灌丛高度与灌丛半径呈显著正相关关系($r = 0.858, P = 0.029$);狭叶锦鸡儿灌丛高度与灌丛半径呈极显著正相关关系($r = 0.947, P = 0.004$);荒漠锦鸡儿和垫状锦鸡儿灌丛高度与灌丛半径相关不显著($P > 0.05$)(表 2)。这是因为柠条锦鸡儿和狭叶锦鸡儿的灌丛水平和垂向成比例扩展,而荒漠锦鸡儿和垫状锦鸡儿无论灌丛面积多大,高度基本不变。柠条锦鸡儿和狭叶锦鸡儿灌丛高度和灌丛半径回归方程的斜率都小于 1(表 2)。这些说明 4 种锦鸡儿灌丛水平方向的扩展速度都大于垂向生长速度。随着灌丛面积的增大,柠条锦鸡儿灌丛高度生长最快,狭叶锦鸡儿次之,荒漠锦鸡儿和垫状锦鸡儿高度基本不变。

表 2 4 种锦鸡儿属植物灌丛和沙包发育特征
Table 2 The characters of shrubs and nabkhas development of four *Caragana* species

植物种 Plant species	灌丛高度和 灌丛半径回归方程的斜率 Regression equation of shrub height versus shrub semidiameter	沙包底面积和 灌丛地上部鲜重回归方程的斜率 Regression equation of nabkha bottom area versus shrub aboveground biomass	沙包高度和 沙包半径回归方程的斜率 Regression equation of nabkha height versus nabkha semidiameter
柠条锦鸡儿 <i>C. korshinskii</i>	0.2201 *	0.6265 **	0.2460 *
狭叶锦鸡儿 <i>C. stenophylla</i>	0.1421 **	0.1661 **	0.2030 *
荒漠锦鸡儿 <i>C. roborovskiyi</i>	—	8.4296 **	0.0184 *
垫状锦鸡儿 <i>C. tibetica</i>	—	3.7141 **	0.2908 **

* 表示二者显著相关 $P < 0.05$, ** 表示二者极显著相关 $P < 0.01$

4 种锦鸡儿沙包底面积与灌丛鲜重均呈极显著正相关关系($P < 0.01$),表明随着灌丛地上枝条鲜重的增加,4 种锦鸡儿灌丛沙包底面积都在相应增大,其中荒漠锦鸡儿底面积扩展最快,垫状锦鸡儿次之,柠条锦鸡儿排位第三,狭叶锦鸡儿扩展最慢(表 2)。

4 种锦鸡儿灌丛沙包高度与沙包半径均呈显著正相关关系 ($P < 0.05$), 表明灌丛沙包是水平和垂向尺度按比例发育的结果。4 种锦鸡儿沙包高度与沙包半径回归方程的斜率都远小于 1, 表明沙包水平方向的扩展比垂直方向的发育快。通过斜率大小的比较表明, 随着灌丛沙包水平方向的扩展, 荒漠锦鸡儿垂向扩展最慢, 最终导致其沙包垂向尺度最小。柠条锦鸡儿、垫状锦鸡儿和狭叶锦鸡儿沙包两个方向发育较为均衡 (表 2)。

2.5 4 种锦鸡儿属植物固沙能力的比较

4 种锦鸡儿固定沙包体积和枝条固沙效率都表现为: 荒漠锦鸡儿 > 柠条锦鸡儿 > 狭叶锦鸡儿 > 垫状锦鸡儿 (图 3)。

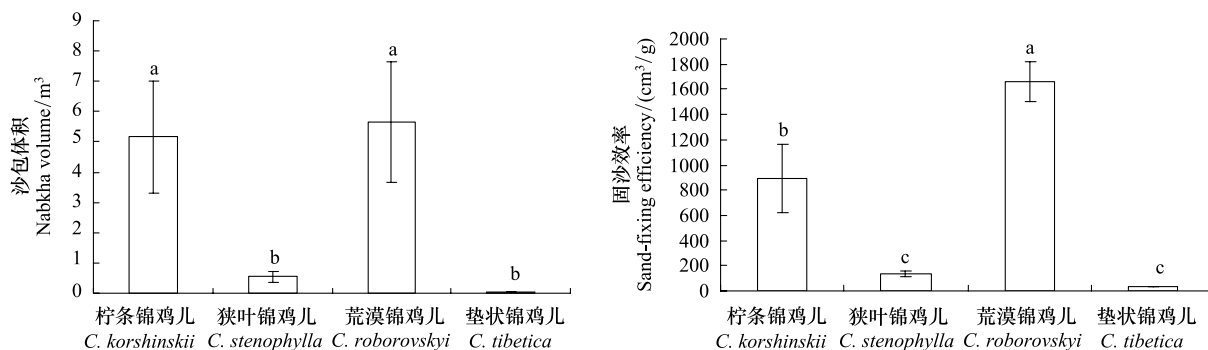


图 3 4 种锦鸡儿属植物固沙能力的比较

Fig. 3 The comparison of sand-fixing capacity of four *Caragana* species

误差线为 SE; 图中同一指标不同字母表示差异显著 (Duncan 检验) ($P < 0.05$)

3 讨论

刘冰等^[24]认为, 灌丛沙包是一种主要由风力作用形成的风积地貌类型。武胜利^[25]等认为, 灌丛沙包形态是由区域植物、风力和沙源相互作用塑造的一种动力平衡形态。Tengberg^[12-13]的研究结果也证明风况、沙源、植被生长状况等是影响灌丛沙堆形态发育的主要环境因子。本实验研究区位于内蒙古高原西部, 在同样地采样。该地区临近沙漠, 沙源丰富, 风力影响相当, 因此, 影响灌丛沙包形态和大小的主要因素为植物种类和灌丛大小。

3.1 灌丛地上生物量不同决定了种内沙包的体积、形态和植物的固沙能力的差异

本研究发现, 对于同种锦鸡儿属植物来说, 相似的灌丛形态导致沙包水平尺度受灌丛生物量控制, 垂向尺度受植株高度控制。随着灌丛冠幅和高度扩大, 灌丛生物量增加, 根系也更加粗壮发达, 导致沙包水平尺度和垂向尺度增大, 沙包体积显著增大。

锦鸡儿属植物多为矮灌木, 植株高度较低; 其灌丛的冠幅变化显著快于株高变化, 即灌丛水平扩展快于垂直扩展; 其根系发达, 侧根多分布于土表且趋向于水平延伸和发育^[24-25, 33], 故随着灌丛的发育, 沙包水平扩展快于垂向扩展速度, 因此, 对于同种锦鸡儿植物来说, 灌丛越大, 坡角越小。

Hesp^[16]等曾指出植物的冠幅越小, 其降低风速和输沙的速度就越低, 由此造成沙包空间尺度也较小。本研究调查结果显示, 灌丛越大, 沙包体积越大, 固沙能力越强。除了灌丛本身的固沙作用, 大灌丛原本固定的沙包也会降低灌丛周围风速, 减慢沙土流动, 因此, 大灌丛固沙效率更高。这提示在防风固沙过程中, 要注意发挥大灌丛的高效固沙作用。

3.2 灌丛形态和发育特征的不同决定了种间沙包形态、沙包发育和植物固沙能力的差异

灌丛是灌丛沙包形态塑造的重要影响因素^[33-34]。对不同种锦鸡儿来说, 灌丛的水平尺度不仅与灌丛生物量有关, 还与枝条生长的紧密程度和枝条延伸面积有关, 灌丛的高度种间也存在很大差异。灌丛沙包主要是以枝条为依托围绕灌丛建成的, 这就决定了不同种锦鸡儿灌丛的沙包形态受灌丛形态和发育特征控制。柠条锦鸡儿生长旺盛, 枝条较长, 沙包的植物覆盖度高达 75%—85%, 容易以老枝干为中心侧向扩展形成密集

的簇生灌丛。较高的灌丛(0.7—1.1 m),导致沙包垂向尺度较大(0.4—1.0 m);而密集且空间尺度较大的簇生灌丛以及不断分蘖生长的根系导致固定沙包水平尺度较大,平均值接近 5 m。因此,在持续稳定风沙流的长期作用下,柠条锦鸡儿沙包便发育形成了空间尺度很大的球冠状。狭叶锦鸡儿株丛紧密,沙包上植物覆盖度约 73%—79%,根蘖性强,沙包水平和垂向尺度均随灌丛的扩展均衡扩展,故发育为圆锥状。荒漠锦鸡儿盖度低,沙包上植物覆盖度平均仅为 20%—30%,但根系发达,匍匐根迅速扩展,并不断长出不定根和新枝,所以,在长期沙土沉积下,形成水平尺度较大、高度较低、坡角仅为 2°—7°的圆台形沙堆。垫状锦鸡儿高 15—30 cm,株丛紧密,枝条短而密集,沙包的植物覆盖度达 80%—90%,且侧向分枝较少,灌丛水平尺度平均仅为 1.4 m,风沙以其为依托富集,形成水平尺度较小,垂向发育相对旺盛的半球形。

随着灌丛地上生物量的增加,四种锦鸡儿灌丛沙包底面积增大,沙包高度也增大,但沙包发育速度各个种有明显差异。这是由各种灌丛的水平扩张速率、垂直扩展速率和灌丛结构不同造成的。柠条锦鸡儿和狭叶锦鸡儿灌丛是水平和垂向成比例扩展的,所增加的生物量分配在两个方向(面积和高度),故沙包面积和高度同时均衡发育。垫状锦鸡儿灌丛地上高度几乎不变,增加的生物量都用来扩张面积,所以随生物量的增加,其沙包底面积增大较柠条锦鸡儿和狭叶锦鸡儿快;虽然垫状锦鸡儿灌丛地上高度几乎不变,但由于其灌丛非常紧密,容易富集沙土,随着沙埋,枝条着生位置不断上移,地下高度不断增加,所以其沙包高度也随面积增大而增加。荒漠锦鸡儿灌丛高度也几乎不变,增加的生物量都用来扩张面积,通过侧向匍匐根进行水平扩展,地上枝条稀疏,用有限的生物量占据最大面积,所以随生物量的增加,其沙包底面积增大最快,而高度增加很少。

锦鸡儿属植物主要通过枝条和复杂的根系来固定沙土^[33],灌丛形态和发育特征影响植物固沙能力。荒漠锦鸡儿枝条分散且侧向生长,根系粗壮且有韧性,并且耐沙埋易生出新枝和不定根,这些特性导致沙土更容易在地表富集,故其固沙能力很强。柠条锦鸡儿生长旺盛的枝条易于拦截沙土,使得沙包水平和垂向尺度共同发育;另外,柠条锦鸡儿的枝条在被沙埋后能从枝上产生不定根,在水平方向迅速扩展^[34],通过无性繁殖新产生的分株与母株通过水平根相互连接^[30],这些都可能导致沙包水平方向的快速扩展。狭叶锦鸡儿和垫状锦鸡儿株高较低,株丛紧密且不易分枝,因此固沙能力相对较低。

References:

- [1] Zhou D W. Study on distribution of the genus *Caragana* Fabr. Bulletin of Botanical Research, 1996, 16(4): 428-435.
- [2] Liu Y X. *Caragana* Fabr//Flora Reipublicae Popularis Sinicae. Beijing: Science Press, 1993, 42(1): 13-67.
- [3] Wang M B, Li H J, Chai B F. Water ecophysiological characteristics of *Caragana korshinskii*. Acta Phytocologica Sinica, 1996, 20(6): 494-501.
- [4] Niu X W. The distribution and description of *Caragana* Fabr. in China. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 1999, 19(5): 107-133.
- [5] Ma C C, Gao Y B, Wang J L, Guo H Y, Nie L L, Zhao J. The comparison studies of photosynthetic characteristics and protective enzymes of *Caragana microphylla* and *Caragana stenophylla*. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(8): 1594-1601.
- [6] Sheng H M, Chen T, An L Z, Zheng X L, Pu L L, Liu Y J, Sun X G. Genetic diversity and relationships among species of *Caragana* Fabr. Journal of Desert Research, 2005, 25(5): 697-701.
- [7] Zhao X Y, Ren J Z. Growth characteristics and its vegetation restoration significant of clonal of three *Caragana* species. Science of Soil and Water Conservation, 2005, 3(4): 102-107.
- [8] Li J, Gao Y B, Zheng Z R, Gao Z L. The hydraulic architecture of three *Caragana* species and its relationship with environmental factors in different habitats of the Inner Mongolia Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(3): 837-845.
- [9] Zhang P J, Yang J, Song B Y, Zhao L Q, Qing H. Spatial heterogeneity of soil resources of *Caragana tibetica* community. Chinese Journal of Plant Ecology, 2009, 33(2): 338-346.
- [10] He S F, Jiang D M, A L M S, Liu Z M, Luo Y M. Sand-fixing effects of *Caragana microphylla* shrub in Keerqin sandy land. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(1): 84-87.
- [11] Jiang D M, Cao C Y, Oshida T, Li X H, Li M. Study on the effects of protection against wind, sand-fixation and soil improvement of *Caragana microphylla* plantations in Horqin sand land. Arid Zone Research, 2008, 25(5): 653-658.
- [12] 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.
- [13] Tengberg A, Chen D L. A comparative analysis of nebkhas in central Tunisia and northern Burkina Faso. *Geomorphology*, 1998, 22(2): 181-192.
- [14] Langford R P. Nabkha (coppice dune) fields of south-central New Mexico, U. S. A. *Journal of Arid Environments*, 2000, 46(1): 25-41.
- [15] Dougill A J, Thomas A D. Nebkha dunes in the Molopo Basin, South Africa and Botswana: formation controls and their validity as indicators of soil degradation. *Journal of Arid Environments*, 2002, 50(3): 413-428.
- [16] Hesp P. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 2002, 48(1/3): 245-268.
- [17] Musick H B, Trujillo S M, Truman C R. Wind-tunnel modeling of the influence of vegetation structure on saltation threshold. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1996, 21(7): 589-605.
- [18] Musick H B, Gillette D A. Field evaluation of relationships between a vegetation structural parameter and sheltering against wind erosion. *Land Degradation and Development*, 1990, 2(2): 87-94.
- [19] Wang X, Wang T, Dong Z, 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.
- [20] Zhang P, Ha S, Yue X L, Zhang Y M. Nitaria nebkhas: morphology and sediments. *Arid Land Geography*, 2008, 31(6): 926-932.
- [21] Du J H, Yan H, Dong Y X. The progress and prospects of nebkhas in arid areas. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(3): 339-350.
- [22] Jia X H, Li X R. Spatial pattern of sand-mound of *Nitraria* in different habitat at the southeastern fringe of the tengger desert. *Environmental Science*, 2008, 29(7): 2046-2053.
- [23] Wu S L, Li Z Z, Xiao C X, Sun Q M, Liu L M. Research progress on nabkhas and research significance. *Journal of desert research*, 2006, 26(5): 734-738.
- [24] Liu B, Zhao W Z, Yang R. Characteristics and spatial heterogeneity of *Tamarix ramosissima* Nebkhas at desert-oasis ecotones. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(4): 1446-1455.
- [25] Wu S L, Li Z Z, Hui J, Ge L, He M D. The morphological characteristics and growth mode of nabkha in the basin of Hotan River, Xinjiang. *Geographical Research*, 2008, 27(2): 314-322.
- [26] Dong Q, Fu H P, Si Q G W, Zhuang G H, Bao P, Su D. Rodent fauna in Alashan Left Banner, Inner Mongolia. *Inner Mongolia Prataculture*, 2004, 16(1): 38-39.
- [27] Dong K H, Shen Y X. *Forage Production Science*. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 109.
- [28] Luo W X, Liu G Q, Li J Y. *The Culture Technology of the Primary Trees in Northwestern China*. Beijing: China Forestry Press, 2007: 786.
- [29] Chen S H, Zhang H, Wang L Q, Zhan B L, Zhao M L. *Glassland Plant Roots in Northern China*. Changchun: Jilin University Press, 2001: 151-152, 397-398.
- [30] Liu G H, Wang S J. *Shrub Resources in Inner Mongolia*. Hohhot: Inner Mongolia University Press, 2006: 147.
- [31] Zhu Y M. *Herbal Recordation in Inner Mongolia (Volume 2)*. Hohhot: Inner Mongolia People's Publishing House, 1989: 26.
- [32] Committee on editing and publishing of the feeding flore in China. *Feeding Flore in China (Volume 1)*. Beijing: Agriculture Press, 1987: 229.
- [33] Niu X W. Biological characters of cultivars in *Caragana*. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1998, 13(4): 122-129.
- [34] Yan X F. Propagulum of *Caragana* spp. and their roles in restoration of deserticolo. *Inner Mongolia Forestry Science and Technology*, 2007, 33(2): 23-27.

参考文献:

- [1] 周道玮. 锦鸡儿属植物分布研究. *植物研究*, 1996, 16(4): 428-435.
- [2] 刘媛心. 锦鸡儿属//中国植物志第42卷, 第一分册. 北京: 科学出版社, 1993, 42(1): 13-67.
- [3] 王孟本, 李洪建, 柴宝峰. 柠条 (*Caragana korshinskii*) 的水分生理生态学特性. *植物生态学报*, 1996, 20(6): 494-501.
- [4] 牛西午. 中国锦鸡儿属植物资源研究-分布及分种描述. *西北植物学报*, 1999, 19(5): 107-133.
- [5] 马成仓, 高玉葆, 王金龙, 郭宏宇, 聂莉莉, 赵娟. 小叶锦鸡儿和狭叶锦鸡儿的光合特性及保护酶系统比较. *生态学报*, 2004, 24(8): 1594-1601.
- [6] 盛红梅, 陈拓, 安黎哲, 郑晓玲, 蒲玲玲, 刘亚洁, 孙学刚. 锦鸡儿属植物的遗传多样性及其种间关系. *中国沙漠*, 2005, 25(5): 697-701.
- [7] 赵晓英, 任继周. 三种锦鸡儿属植物的克隆生长特性及其植被恢复意义. *中国水土保持科学*, 2005, 3(4): 102-107.
- [8] 李晶, 高玉葆, 郑志荣, 高增璐. 内蒙古高原不同生境三种锦鸡儿属植物的水力结构特征及其对环境因子的响应. *生态学报*, 2007, 27(3): 837-845.
- [9] 张璞进, 杨劼, 宋炳煜, 赵利清, 清华. 藏锦鸡儿群落土壤资源空间异质性. *植物生态学报*, 2009, 33(2): 338-346.

- [10] 贺山峰, 蒋德明, 阿拉木萨, 刘志民, 骆永明. 科尔沁沙地小叶锦鸡儿灌木林固沙效应的研究. 水土保持学报, 2007, 21(1): 84-87.
- [11] 蒋德明, 曹成有, 押田敏雄, 李雪华, 李明. 科尔沁沙地小叶锦鸡儿人工林防风固沙及改良土壤效应研究. 干旱区研究, 2008, 25(5): 653-658.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 武胜利, 李志忠, 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.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 董清, 付和平, 斯琴高娃, 庄光辉, 保平, 苏德. 内蒙古阿拉善左旗啮齿动物区系. 内蒙古草业, 2004, 16(1): 38-39.
- [27] 董宽虎, 沈益新. 饲草生产学. 北京: 中国农业出版社, 2003: 109-109.
- [28] 罗伟祥, 刘广全, 李嘉珏. 西北主要树种培育技术. 北京: 中国林业出版社, 2007: 786-786.
- [29] 陈世璜, 张昊, 王立群, 占布拉, 赵萌莉. 中国北方草地植物根系. 长春: 吉林大学出版社, 2001: 151-152, 397-398.
- [30] 刘果厚, 王生军. 内蒙古灌木资源. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 2006: 147-147.
- [31] 朱亚民. 内蒙古植物药志(第二卷). 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1989: 26-26.
- [32] 中国饲用植物志编辑委员会. 中国饲用植物志(第一卷). 北京: 农业出版社, 1987: 229-229.
- [33] 牛西午. 柠条生物学特性研究. 华北农学报, 1998, 13(4): 122-129.
- [34] 闫兴富. 柠条的繁殖体及其在荒漠植被恢复中的作用. 内蒙古林业科技, 2007, 33(2): 23-27.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 11 June, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Controls of post-fire tree recruitment in Great Xing'an Mountains in Heilongjiang Province	CAI Wenhua, YANG Jian, LIU Zhihua, et al (3303)
The assessment of river health using Benthic-Index of biotic integrity for Wenyu River	YANG Liu, LI Yonghui, WANG Juncai, et al (3313)
Consume of soil seeds of <i>Betula albo-sinensis</i> and <i>Abies faxoniana</i> in different natural successional stages of subalpine dark coniferous forest in western Sichuan, China	MA Jiangming, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3323)
Habitat associations of understorey species spatial distribution in old growth broad-leaved Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>) forest	DING Shengjian, ZHANG Chunyu, XIA Fucui, et al (3334)
Nabkha morphology and sand-fixing capability of four dominant <i>Caragana</i> species in the desert region of the Inner Mongolia Plateau	ZHANG Yuanyuan, MA Chengchang, HAN Lei, et al (3343)
Growth dynamics, biomass allocation and ecological adaptation in <i>Ceratocarpus arenarius</i> L.	QUAN Dujuan, WEI Yan, ZHOU Xiaoqing, et al (3352)
A rapid assessment method for forest disaster based on MODIS/NDVI time series; a case study from Guizhou Province	SHI Hao, WANG Xiao, XUE Jianhui, et al (3359)
Soil cation exchange capacity and exchangeable base cation content in the profiles of four typical soils in the Xi-Shui Forest Zone of the Qilian Mountains	JIANG Lin, GENG Zengchao, LI Shanshan, et al (3368)
Impact of water and temperature on spring maize emergence speed and emergence rate	MA Shuqing, WANG Qi, LÜ Houquan, et al (3378)
Effect of N application on the abundance of denitrifying genes (<i>narG/nosZ</i>) and N ₂ O emission in paddy soil	ZHENG Yan, HOU Haijun, QIN Hongling, et al (3386)
Temporal-spatial variations of potential evapotranspiration and quantification of the causes in Northwest China	CAO Wen, SHEN Shuanghe, DUAN Chunfeng (3394)
Analysis of ecosystem degradation and recovery using precipitation use efficiency and NDVI in the headwater catchment of the Yellow River basin	DU Jiaqiang, SHU Jianmin, ZHANG Linbo (3404)
An assessment method of <i>Kandelia obovata</i> population biomass	JIN Chuan, WANG Jinwang, ZHENG Jian, et al (3414)
Quantitative characteristics and species composition of <i>Artemisia sphaerocephala</i> and <i>A. ordosica</i> communities in the Ulanbuh Desert ...	MA Quanlin, ZHENG Qingzhong, JIA Jujie, et al (3423)
Photosynthesis and transpiration in relation to ion accumulation in <i>Vitex trifolia</i> under varied light intensity	ZHANG Ping, LIU Linde, BAI Xinfu, et al (3432)
Diffusion of elm seed rain in Otindag Sand Land	GU Wei, YUE Yongjie, LI Gangtie, et al (3440)
Effect of saline water irrigation on sand soil salt and the physiology and growth of <i>Populus euphratica</i> Oliv.	HE Xinlin, CHEN Shufei, WANG Zhenhua, et al (3449)
Regulation of exogenous nitric oxide on photosynthetic physiological response of <i>Lolium perenne</i> seedlings under NaHCO ₃ Stress	LIU Jianxin, WANG Jincheng, WANG Xin, et al (3460)
Longitude gradient changes on plant community and soil stoichiometry characteristics of grassland in Hulunbeir	DING Xiaohui, LUO Shuzheng, LIU Jinwei, et al (3467)
Concentrations and distributions of selenium and heavy metals in Hainan paddy soil and assessment of ecological security	GENG Jianmei, WANG Wenbin, WEN Cuiping, et al (3477)
Heavy metal contents and evaluation of farmland soil and wheat in typical area of Jiangsu Province	CHEN Jingdu, DAI Qigen, XU Xuehong, et al (3487)
The studies on the food web structures and trophic relationships in Guangxi Dongfang Cave by means of stable carbon and nitro- gen isotopes	LI Daohong, SU Xiaomei (3497)
Analysis of bacterial diversity in the Songhua River based on nested PCR and DGGE	TU Teng, LI Lei, MAO Guannan, et al (3505)

Preliminary delineation and classification of estuarine drainage areas for major coastal rivers in China	HUANG Jinliang, LI Qingsheng, HUANG Ling, et al (3516)
Estimation of spatial and seasonal changes in phytoplankton primary production in Meiliang Bay, Lake Taihu, based on the Vertically Generalized Production Model and MODIS data	YIN Yan, ZHANG Yunlin, SHI Zhiqiang, et al (3528)
Viability and changes of physiological functions in the tiger frog (<i>Hoplobatrachus rugulosus</i>) exposed to cold stress	WANG Na, SHAO Chen, XIE Zhigang, et al (3538)
Community structure and abundance dynamics of soil collembolans in transgenic Bt rice paddyfields	ZHU Xiangyu, LI Zhiyi, CHANG Liang, et al (3546)
Morphological characteristics and microsatellite DNA genetic diversity of Nigeria African honey bee, Anhui <i>Apis mellifera</i> and theirs hybrid generation II	YU Linsheng, XIE Wenfei, WU Houchang, et al (3555)
Effects of social-demographic factors on the recreational service of park wetlands in Beijing	LI Fen, SUN Ranhao, CHEN Liding (3565)
Co-integration theory-based analysis on relationships between economic growth and eco-environmental changes: taking the south-east district in Chongqing city as an example	XIAO Qiang, HU Dan, XIAO Yang, et al (3577)
The cooperative environmental game model in the Tidal River Network Regions and its empirical research	LIU Honggang, CHEN Xingeng, PENG Xiaochun (3586)

Review and Monograph

Review of eco-efficiency accounting method and its applications	YIN Ke, WANG Rusong, ZHOU Chuanbin, et al (3595)
Overview on the 6th international symposium on modern ecology series of 2011	WEN Teng, XU Delin, XU Chi, et al (3606)

Discussion

Scale analysis of environmental factors and their relationship with the size of hierarchical aquatic ecoregion: a case study in the Liao River basin	LIU Xingcai, XU Zongxue, ZHANG Shurong, et al (3613)
--	--

Scientific Note

Effects of different light intensities on activities of the primary defense proteins in needles of <i>Larix gmelinii</i>	LU Yifang, SHI Lei, YAN Shanchun (3621)
An analysis of photosynthetic parameters among <i>Schima superba</i> provenances	XIONG Caiyun, ZENG Wei, XIAO Fuming, et al (3628)
Research on three small-scale agricultural ecological-economic systems in Shenzhen City based on emergy analysis	YANG Zhuoxiang, GAO Yang, ZHAO Zhiqiang, et al (3635)

《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
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 11 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 11 (June, 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	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
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	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:100071	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
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	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



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