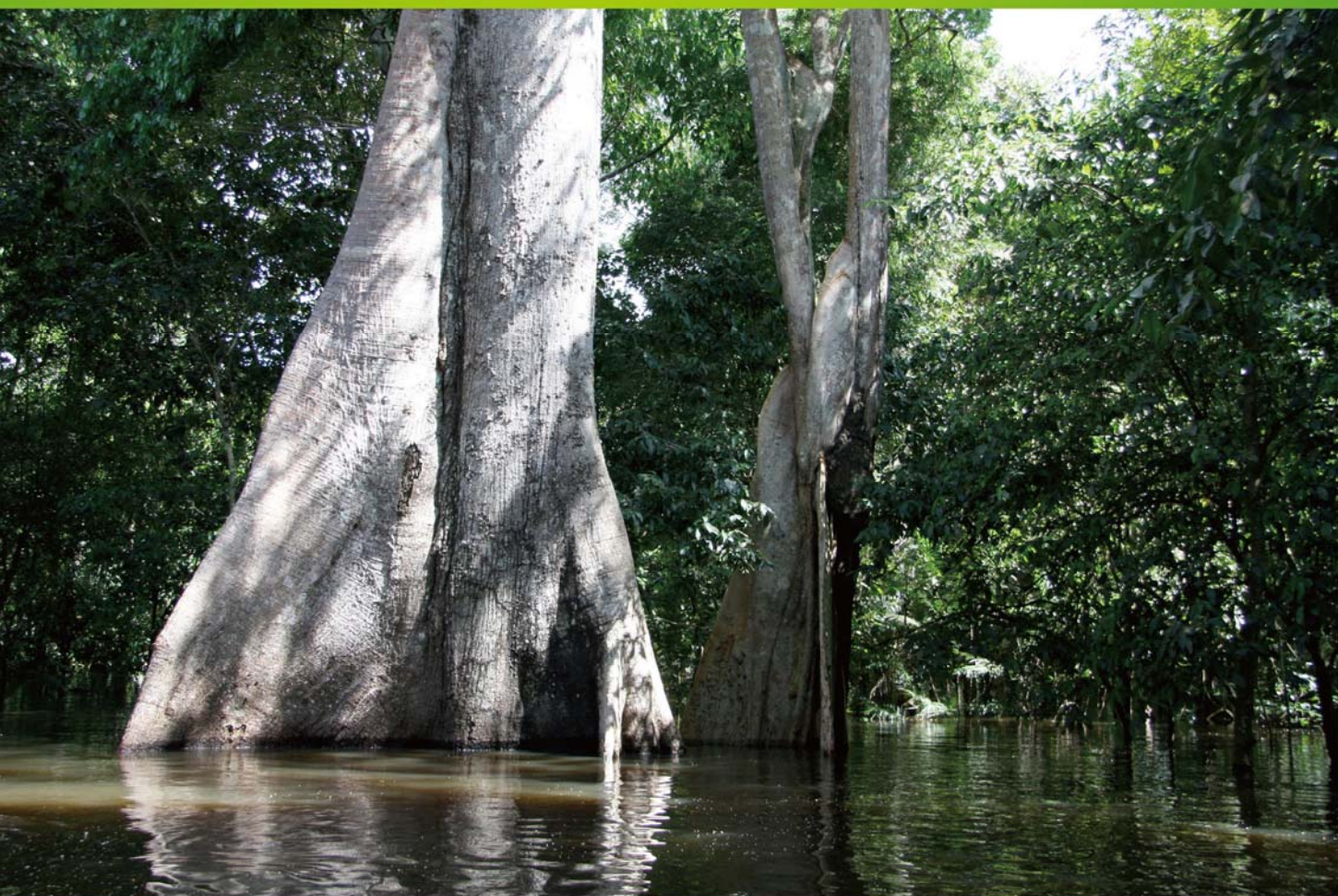


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第8期 Vol.31 No.8 **2011**

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 31 卷 第 8 期

2011 年 4 月 (半月刊)

目 次

塔里木河下游胡杨径向生长与地下水的关系·····	安红燕,徐海量,叶 茂,等 (2053)
冲积平原区高程因子对土壤剖面质地构型的影响——以封丘县为例·····	檀满枝,密术晓,李开丽,等 (2060)
臭氧胁迫对大豆叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响·····	王俊力,王 岩,赵天宏,等 (2068)
重要理化因子对小球藻生长和油脂产量的影响·····	张桂艳,温小斌,梁 芳,等 (2076)
北亚热带马尾松净生产力对气候变化的响应·····	程瑞梅,封晓辉,肖文发,等 (2086)
亚热带沟叶结缕草草坪土壤呼吸·····	李熙波,杨玉盛,曾宏达,等 (2096)
UV-B 辐射对马尾松凋落叶分解和养分释放的影响·····	宋新章,张慧玲,江 洪,等 (2106)
干旱胁迫下内生真菌感染对羽茅的生理生态影响·····	韩 荣,李 夏,任安芝,等 (2115)
蜜环菌对锌的耐性和富集特性·····	朱 林,程显好,李维焕,等 (2124)
干旱荒漠区狭叶锦鸡儿灌丛扩展对策·····	张建华,马成仓,刘志宏,等 (2132)
黄土高原区不同植物凋落物搭配对土壤微生物量碳、氮的影响·····	王春阳,周建斌,夏志敏,等 (2139)
内蒙古典型草原克氏针茅与冰草的生存策略·····	孙 建,刘 苗,李胜功,等 (2148)
荒漠沙柳根围 AM 真菌的空间分布·····	贺学礼,杨 静,赵丽莉 (2159)
开放式昼夜不同增温对单季稻影响的试验研究·····	董文军,邓艾兴,张 彬,等 (2169)
醉马草免培养内生细菌的多样性·····	张雪兵,史应武,曾 军,等 (2178)
河南生态足迹驱动因素的 Hi_PLS 分析及其发展对策·····	贾俊松 (2188)
禹城市耕地土壤盐分与有机质的指示克里格分析·····	杨奇勇,杨劲松,余世鹏 (2196)
旋覆花提取物对朱砂叶螨的生物活性及酶活性的影响·····	段丹丹,王有年,成 军,等 (2203)
白洋淀湖滨湿地岸边带氨氧化古菌与氨氧化细菌的分布特性·····	叶 磊,祝贵兵,王 雨,等 (2209)
干旱胁迫条件下 6 种喀斯特主要造林树种苗木叶片水势及吸水潜能变化·····	王 丁,姚 健,杨 雪,等 (2216)
桉树人工林物种多样性变化特征·····	刘 平,秦 晶,刘建昌,等 (2227)
海河流域湿地生态系统服务功能价值评价·····	江 波,欧阳志云,苗 鸿,等 (2236)
芦苇在微咸水河口湿地甲烷排放中的作用·····	马安娜,陆健健 (2245)
云南不同土壤铅背景值下大叶茶种群对铅的吸收积累特征及其遗传分化·····	刘声传,段昌群,李振华,等 (2253)
长江口和杭州湾凤鲚胃含物与海洋浮游动物的种类组成比较·····	刘守海,徐兆礼 (2263)
江西大岗山地区 7—9 月降水量的重建与分析·····	乔 磊,王 兵,郭 浩,等 (2272)
山核桃免耕经营的经济效益和生态效益·····	王正加,黄兴召,唐小华,等 (2281)
基于 GIS 的广州市中心城区城市森林可达性分析·····	朱耀军,王 成,贾宝全,等 (2290)
专论与综述	
土壤呼吸温度敏感性的影响因素和不确定性·····	杨庆朋,徐 明,刘洪升,等 (2301)
植物代谢速率与个体生物量关系研究进展·····	程栋梁,钟全林,林茂兹,等 (2312)
耕地生态补偿实践与研究进展·····	马爱慧,蔡银莺,张安录 (2321)
问题讨论	
元谋干热河谷三种植被恢复模式土壤贮水及入渗特性·····	刘 洁,李贤伟,纪中华,等 (2331)
研究简报	
中微量元素和有益元素对水稻生长和吸收镉的影响·····	胡 坤,喻 华,冯文强,等 (2341)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-04



封面图说:巴西热带雨林——美丽的巴西北部玛瑙斯热带雨林景观。位于南美洲的亚马逊河是世界上流域最广、流量最大的河流,孕育了世界面积最大的热带雨林,雨林中蕴藏着极丰富的生物资源。

彩图提供:中国科学院生态环境研究中心徐卫华博士 E-mail:xuweihua@rcees.ac.cn

干旱荒漠区狭叶锦鸡儿灌丛扩展对策

张建华¹, 马成仓^{1,*}, 刘志宏¹, 高玉葆^{1,2}

(1. 天津师范大学生命科学学院, 天津 300387; 2. 南开大学生命科学学院, 天津 300071)

摘要:通过对内蒙古干旱荒漠区狭叶锦鸡儿集群的灌丛结构、分株特征、繁殖倾向和分枝特征的调查,探讨荒漠区狭叶锦鸡儿的繁殖特点和灌丛扩展对策。研究表明:在荒漠区,狭叶锦鸡儿的营养繁殖占主导地位,主要是由根萌蘖产生无性系分株,其克隆生长构型为密集型。根系萌蘖、枝条的不定根繁殖、地上枝条不断分枝和新老个体形成复合灌丛是荒漠区狭叶锦鸡儿冠幅增大的主要原因。狭叶锦鸡儿通过克隆繁殖、灌丛扩大化和发达的根系适应荒漠区的干旱贫瘠环境,使其成为荒漠区的优势种。

关键词:狭叶锦鸡儿;无性繁殖;灌丛扩展;干旱荒漠区

Expansion strategies of *Caragana stenophylla* in the arid desert region

ZHANG Jianhua¹, MA Chengcang^{1,*}, LIU Zhihong¹, GAO Yubao^{1,2}

¹ College of Life Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China

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

Abstract: The drought resistant shrub, *Caragana stenophylla*, is distributed mainly in the arid and semi-arid areas of the Inner Mongolia Plateau, China. *C. stenophylla* is an important fodder plant, and is known as “lifesaving plants” for the livestock in arid and semi-arid areas. In addition, it plays an important role in sand dune fixation and water conservation. We found that *C. stenophylla* individuals had only a few branches in the eastern grassland region of the Inner Mongolia Plateau, but in the western desert region, it formed the large shrubs with diameter of 1.5—2.0 m, accompanied by a sand dune with high of 50—70cm, and showed strong sand-fixing ability. We hypothesized that such structural difference was due to the expansion strategies of *C. stenophylla* in desert region. In order to understand the expansion strategies and reproductive characteristics of *C. stenophylla* in the arid desert region, we studied the shrub structure, ramet characteristics, breeding tendency and branching characters of *C. stenophylla* clusters. The results showed that, in the arid desert region, *C. stenophylla* reproduced mainly by asexual reproduction. It reproduced ramets mainly by root germination and it had a clonal architecture of “phalanx”. The ramets of *C. stenophylla* can separate from their parents and grow independently when spacer connecting ramets died and decomposed, which reduced the death risk of ramets being implicated each other. The *C. stenophylla* can also reproduced by branches which were buried by sand forming adventitious roots and shoots. When seed germination and seedling establishment is restricted by drought and animal predation, asexual reproduction can compensate for the shortage of seedlings, thereby maintain population stability. Thus, asexual propagation might be an important regeneration strategy for *C. stenophylla* in harsh environments. The stepwise bifurcation ratio of *C. stenophylla* was $SBR_{3,4} < SBR_{2,3} < SBR_{1,2}$, which indicated that the branches number increased year after year leading to a bigger and bigger cluster crown. Some *C. stenophylla* clusters were composite shrub, the formation of such *C. stenophylla* clusters might be because the parent shrub has constructed a suitable microenvironment for seed germination, and the new individuals could survived more easily under the protection. The parent shrub and surviving newborn individuals together formed large and composite shrub cluster. Thus, *C. stenophylla* shrubs expanded mainly by four ways: (1) root germination, (2) adventitious root reproduction of branches, (3) continuous branching of the aboveground part, and (4)

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2007CB106802)

收稿日期:2010-03-22; 修订日期:2010-07-14

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

composite shrubs of old and new individuals.

Shrub expansion in size provided the necessary conditions for constructing a suitable microenvironment and searching for available nutrient and water resources, therefore enhancing the anti-stress ability. At the same time, large shrub clusters also enable *C. stenophylla* to have better ability in wind breaking and sand dune fixation, thus *C. stenophylla* plays a very important ecological role in the arid desert ecosystem. *C. stenophylla* had a well-developed root system, which enabled it to absorb more soil moisture and made it less susceptible to drought stress, and also contributed to its effective use of mineral nutrients from deep soil as well as decomposed litter. In summary, *C. stenophylla* is well adapted to the arid and barren environment by clonal propagation, shrub enlargement and well-developed root systems, which make it one of the dominant species in the desert region.

Key Words: *Caragana stenophylla*; asexual reproduction; shrub expansion; arid desert region

锦鸡儿属 (*Caragana*) 植物属于豆科,全世界有 100 余种,主要分布于亚洲和欧洲的干旱和半干旱地区^[1-3]。狭叶锦鸡儿是锦鸡儿属的重要物种,分布于我国内蒙古高原的荒漠和草原地区,以及北疆的半荒漠地区。对荒漠气候的适应使其成为荒漠区的优势种。狭叶锦鸡儿是防风固沙、保持水土的优良植物,而且具有饲用、绿肥、薪炭、蜜源等资源价值,对其研究和开发利用正在广泛深入地展开。已经报道了狭叶锦鸡儿的地理分布^[1]以及对草原和荒漠区环境的形态^[1,4]和生理生态适应性^[4-7]。干旱、沙漠化不仅会影响植物的生长、形态和生理生态特性,也会影响植物的繁殖和种群的扩展方式^[8-9]。陈世璜等^[10]指出草原区狭叶锦鸡儿以根出芽和沙埋后枝条产生萌蘖的繁殖为特点。调查发现,在内蒙古东部典型草原,狭叶锦鸡儿灌丛是少数几枝,而在阿拉善干旱荒漠区却形成了直径 1.5—2.0m 的大灌丛,并伴有高度 50—70cm 的沙包^[4],显示出良好的防风固沙潜力,在生态系统中的作用显著提高。本文对内蒙古干旱荒漠区的狭叶锦鸡儿集群的灌丛结构、分株特征、繁殖倾向和分枝特征进行调查,旨在揭示荒漠区狭叶锦鸡儿的繁殖特点和灌丛扩展对策,并理解其灌丛结构和扩展对策在荒漠环境中的生态意义。为有效地利用该植物资源,发挥其在防风固沙、保持水土中的作用提供科学依据。

1 研究区概况

研究地点位于内蒙古高原西部的阿拉善左旗,地理位置为东经 105.66°,北纬 38.84°,海拔 1561.0m。其年降水量 110mm,平均气温 7.80℃,≥10℃年积温 3250℃,日照时间 3200h,总辐射量 625.0kJ/cm²,土壤含水量 1.73% (30cm,1.66%;60cm,1.55%;100cm,1.98%)^[6]。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^[11]。狭叶锦鸡儿是该区的优势种之一。

2 实验方法

2009 年 7 月在研究区随机选取 5 个狭叶锦鸡儿集群,先用卷尺测量各集群的面积和高度,接着用挖掘工具小心地去掉沙包,再由地表向下挖掘一壕沟,仔细剥离根系周围的土壤,将植株的地上和地下部分暴露出来。仔细观察枝条被沙埋后不定芽和不定根生长情况;观察根的空间走向,测量母株侧根分布的深度范围;观察集群是不是由几个单株形成的复合灌丛和每个单株的无性系分株情况,统计集群中的实生苗(单株)和无性系分株的数目并计算有性繁殖和无性繁殖的比例;然后拍照、绘图和描述(本文详细报告 3 个典型的集群)。选择集群中受动物啃食较轻的 5 个单株灌丛为对象,首先按 Strahler 法^[12]确定其上枝序,即在植冠层中由外及内确定枝序,外层的第一小枝为第一级,两个第一级相遇为第二级,两个第二级相遇后则为第三级,依此类推。如有不同枝级相遇,则取较高的作为枝级;再统计它们的各级枝条数,然后计算狭叶锦鸡儿植株的逐步分枝率(*SBR*)^[12],即 $SBR_{i,i+1} = N_i / N_{i+1}$, N_i 和 N_{i+1} 分别是第 i 和第 $i+1$ 级的枝条总数。

3 结果与分析

3.1 狭叶锦鸡儿集群的分株特征

3.1.1 集群 1

集群 1 所占据的面积为一直角三角形,两直角边为 90cm 和 120cm,面积 0.54m^2 ,挖掘前从外形观察,是多个联系并不紧密的小灌丛。其克隆生长构型如图 1 所示。从图 1 可以看到,狭叶锦鸡儿通过地下克隆器官(水平根)将地上分散分布的植冠连接起来,构成一个整体,属于典型的克隆植物。其中 1 为母株,其根系是兼具深根性树种和浅根性树种根系特征的“复合型”根系,分为主根(由胚根发育而来)、水平根(繁殖)和侧根。主根最粗,其次是水平根,呈深褐色;侧根较细,呈浅褐色。对于成龄的植株,其主根足可达到地下水的位置,这就能保证植物在大气及土壤干旱的条件下吸收到充足的水分。母株 1 向右伸出的 3 条水平根,与主根成直角排列,产生了 2、3、4 三个分株,向左伸出的一条水平根产生了分株 5,它们为母株 1 的一级克隆分株。一级克隆分株生长到一定的阶段,从其伸出的水平根产生二级克隆分株,以此类推。集群中 6、7、8 为二级克隆分株,9 为三级克隆分株。从图 1 中看到:母株 1 的侧根比较发达,延伸力强,分布范围超过冠幅 3 倍以上;侧根主要用于扩大根系,主要分布在近地表至 40cm 土层中,以水平和一定的锐角分布,可见狭叶锦鸡儿也具有庞大的浅根系统。

从图 1 看到:各级分株都具有一条较粗的主根深入土壤中,使植株能吸收利用较深层养分和水分;各分株往往都有 1 条比较粗的水平根,用于营养繁殖产生萌蘖苗;同时,各分株有一定数量粗细不等的侧根。与子代相比,母株在总生物量、构件生物量及数量上占有优势,具有体型大、结构复杂的特点。离母株距离越近的子株,体型越大,结构也较复杂。

3.1.2 集群 2

此集群所占据的空间为一椭圆,挖掘前从外形观察,是一个连续密集生长的灌丛,周长为 8.8m,面积约 6.2m^2 ,高度为 80cm,有高度 40—50cm 的沙包。其分株特征如图 2。可以看到母株 1 伸出的水平根向四周扩展,共产生 6 个子株 2、3、4、5、6、7。母株 1 及其子株的长势与集群 1 相似。母株具有很粗的主根(直径 4cm 左右)和一定数量的侧根,靠水平根进行营养繁殖。各分株都具有 1 条较粗的主根深插入土壤中。

此外,观察到集群中有编号为 8、9、10、11 的 4 个植株地上部分虽然与植株 1 形成的克隆群混合交错生长在一起,但根系与母株 1 没有连在一起,各自独立成株。

估计是由种子落在灌丛内部萌发而来。集群 2 是一个复合灌丛,在这个集群中有实生苗 5 株,无性系分株 6 株。可见,在集群 2 中,无性繁殖和有性繁殖对于种群的扩展都具有相当大的贡献。

3.1.3 集群 3

集群 3 挖掘前从外形观察,也是一个连续密集生长的灌丛,所占面积为一椭圆,面积约 2.3m^2 ,灌丛高 60cm,沙包高 35cm。其分株特征如图 3。母株 1 通过水平根萌蘖形成无性系分株,共产生 8 个子株,编号为 2、3、4、5、6、8、9、10。母株 1 有一段向左的水平根,而独立株 8 也保留一段向右的水平根,且二者的断面能很

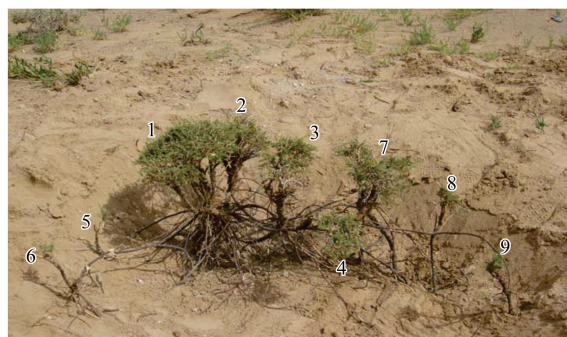


图 1 狭叶锦鸡儿集群 1 的生长构型

Fig. 1 Growth pattern of *C. stenophylla* cluster 1

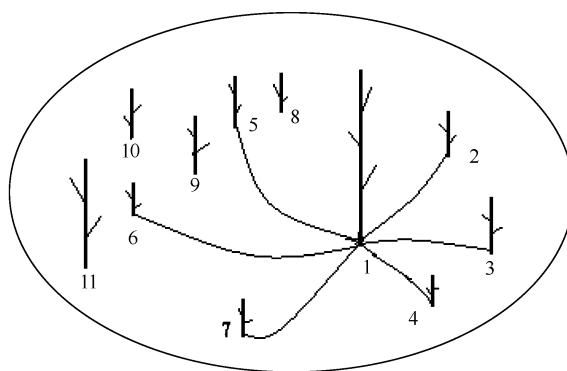


图 2 狭叶锦鸡儿集群 2 的生长构型

Fig. 2 Growth pattern of *C. stenophylla* cluster 2

好地吻合在一起,但两段水平根端腐烂、断裂。由此推测,狭叶锦鸡儿的分株在某种情况下可以与母株分离而独立生长繁殖,而独立株 8 可能就是这样形成的。在其它集群的调查中也有水平根发生腐烂和断裂的现象存在。此外,看到 7 号植株未和母株连在一起,估计是由种子萌发而来。可见,在集群 3 中,无性繁殖和有性繁殖两种方式并存,集群 3 也是由多个小灌丛形成的复合灌丛。

另外,掘开集群 2 和集群 3 的沙包,观察到沙埋枝条上产生许多不定芽和不定根,芽发育成的枝条在伸出表土之前,木质化程度比较低,含水量高,颜色为黄色或浅栗白色。不定根可以直接吸收风积沙下土壤中的水分和营养物质,减轻主根的吸收负担。被沙埋枝条先端生长点,往往来不及适应沙埋的伤害而枯死,然后在已枯死下部活的部位的休眠芽再分化出新的枝条和不定根。未发现长出 不定根的枝条与母株分离的现象。

3.2 狭叶锦鸡儿的繁殖倾向

将 5 个集群中的实生苗和无性系分株进行统计(表 1)。从表 1 看到:荒漠区狭叶锦鸡儿既可以进行无性繁殖,又可以进行有性繁殖,且无性繁殖所占的比例(75.6%)明显高于有性繁殖(24.4%)。

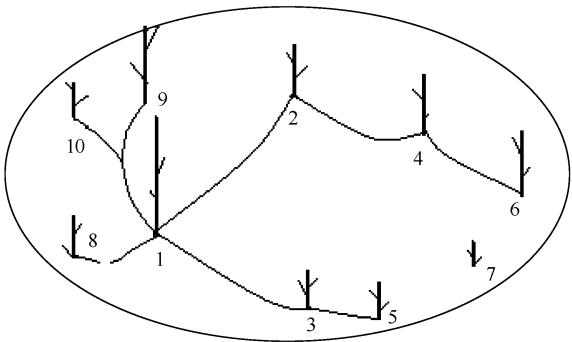


图 3 狭叶锦鸡儿集群 3 的生长构型
Fig. 3 Growth pattern of *C. stenophylla* cluster 3

表 1 狭叶锦鸡儿集群的实生苗和无性系分株比例

Table 1 The proportion of seedlings and ramets of *C. stenophylla* clusters

集群 Cluster	实生苗/株 Seedlings	无性系分株/株 Ramets	无性繁殖/有性繁殖 Asexual reproduction;sexual reproduction
集群 1 Cluster1	1	8	8 : 1
集群 2 Cluster2	5	6	6 : 5
集群 3 Cluster3	2	8	4 : 1
集群 4 Cluster 4	2	9	9 : 2
集群 5 Cluster 5	1	3	3 : 1
总数 Total	11	34	34 : 11

3.3 狭叶锦鸡儿植株的分枝特征

从表 2 中看到:狭叶锦鸡儿植株的逐步分枝率呈上升趋势, $SBR_{3:4}$ 的平均值仅为 1.73, $SBR_{2:3}$ 的值略有上升为 2.17,而 $SBR_{1:2}$ 的值达到 6.78。逐步分枝率变化反映出狭叶锦鸡儿枝条在逐年增加,导致其灌丛冠幅不断增大。

4 讨论

植物在有性生殖与无性生殖间存在着权衡,在某一系统中植物采取何种方式与系统的历史、干扰程度和立地条件等有关^[13]。一般认为,无性繁殖可以使植物在种苗更新困难的条件下维持局域种群的存活^[14]。在极端条件下(如干旱、高寒),无性繁殖具有优势^[15-16]。本文研究表明,内蒙古阿拉善荒漠区的狭叶锦鸡儿以克隆生长为主,有性繁殖为辅。在极端干旱的内蒙古西部,狭叶锦鸡儿结实率低,成熟种子离开母体灌丛因干旱而难以萌发,即使萌发了,幼小个体也不能适应极端干旱的环境和牛羊的践踏,难以存活,无法靠有性生殖来延续种族。通过克隆繁殖新产生的分株与母株通过水平根相互连接,从而极大地提高了其成活率。因此,在干旱和重度动物胁迫的荒漠区环境中,无性繁殖是狭叶锦鸡儿的有效更新对策。这种繁殖对策

表 2 狭叶锦鸡儿的逐步分枝率(SBR)

Table 2 The stepwise bifurcation ratio of *C. stenophylla*

	逐步分枝率 Stepwise bifurcation ratio		
	3 : 4	2 : 3	1 : 2
植株 1 Plant1	1.67	1.9	6.32
植株 2 Plant2	1.5	2.67	7.75
植株 3 Plant3	1.75	2.29	6.38
植株 4 Plant4	2	2	6.33
植株 5 Plant5	1.75	2	7.14
平均值 Average	1.73	2.17	6.78

的选择是其对荒漠环境的适应策略之一。赵晓英等^[17]的研究表明,在干旱地区,中间锦鸡儿以种子更新为主,根化枝条更新为辅,白毛锦鸡儿和甘蒙锦鸡儿以克隆生长为主,种子更新为辅。牛西午^[18]的研究也表明,柠条的枝条被沙埋后能从枝上产生不定根,并从上部萌生出许多新的枝条,其萌生和再生能力极强。闫兴富^[19]的调查也发现,在长期的干旱胁迫下,柠条的一种适应方式就是发挥营养繁殖的优势。本文和前人的这些研究结果说明锦鸡儿属植物通过调整繁殖方式来适应环境。

克隆构型是由克隆生长过程中3个形态学性状决定的,即间隔子长度、分枝强度和分枝角度。间隔子长,分枝少,并不断沿原方向生长,在水平方向迅速扩展,形成近直线型的子代分株链,具有这种生长格局的植物被称为“游击型”克隆植物。相反,间隔子短,分枝强度大,但方向性差,扩展慢,形成不规则圆形株丛,具有这种生长格局的植物被称为“密集型”克隆植物^[20-21]。不同的克隆构型对应着不同的生态对策。密集型克隆植物表现出“巩固”对策,游击型克隆植物表现出“觅食”对策或“保守”对策^[22]。本文研究发现荒漠区狭叶锦鸡儿的分株一般都紧密交错生长在一起形成了直径1.5—2.0m的圆形或椭圆形大灌丛,基本上不留任何空间给其它植物,所以荒漠区狭叶锦鸡儿克隆生长构型为密集型。密集型克隆构型使狭叶锦鸡儿子株可以近距离从母株获取所需的养分和水分等,对于生产力低下的荒漠区是一个节约的扩展方式;密集型克隆构型使灌丛内风速降低,有利于丛内水分保持,从而在内部形成一个相对湿度较高的微生境,提高了对干旱生境的适应能力;密集型克隆构型使狭叶锦鸡儿母株能给分株更有效的保护(防风沙、防动物啃食和践踏等),增强了对干扰的抗性;密集型克隆构型植物还能通过沃岛效应为分株提供有效的营养供应,提高了对养分贫瘠生境的适应能力。由此看来,狭叶锦鸡儿密集型克隆构型是对荒漠区环境的重要适应对策。

克隆植物分株间的相连使克隆分株间得以共享异质性分布的资源,从而促进整个基株的生长,但是,分株间的相连也可使一个(些)分株遭受的胁迫传递给其他分株,严重时可导致整个基株死亡。基株内程序化的分株独立,会大大提高在极端环境条件下的基株存活几率^[23]。当狭叶锦鸡儿分株生长到一定年龄,具有独立摄取营养和抵御不良环境胁迫能力时,便与母体分离,独立生长,降低互相连累的风险。这是狭叶锦鸡儿通过分株风险分摊,适应恶劣环境的一种机制。

根据克隆器官的不同,克隆植物分成根茎型、匍匐茎型、块茎型、根出条(根蘖)型等。其中根茎型植物具有生长于土壤中的根茎;匍匐茎型植物具有卧于地表生长的匍匐茎^[24]。根茎和匍匐茎上面都有节,这是由茎的特征决定的。连接狭叶锦鸡儿分株的横生结构(间隔子)表面光滑无节,与主根的夹角近似直角,水平分布于浅层土壤中,应该是水平根而非根状茎,所以,狭叶锦鸡儿克隆繁殖靠的是水平根而非根茎。这一点跟沙棘^[25]的克隆繁殖方式相似,它们均属于根蘖型植物^[10,25]。

本研究调查的5个集群中有3个是复合灌丛。其形成原因可能是掉落在灌丛内部的种子,由于母体灌丛(或其它灌丛)改变了内部的物理环境(风力、湿度、温度、土壤含水量和土壤肥力等),提高了种子萌发率。萌发的新个体受到原来灌丛的保护而容易存活下来,存活下来的新生个体与原来的灌丛组成复合大灌丛。

植物体的枝系特征反映了植物种对空间、光等资源的利用和适应策略^[26],而枝条的分枝率是植物枝系构件的重要指标^[27]。狭叶锦鸡儿 $SBR_{3:4}$ 、 $SBR_{2:3}$ 、 $SBR_{1:2}$ 的值呈增大趋势,表明该植物通过地上枝条的不断分枝来进行地上部的扩展。地上克隆构件的大量存在降低了沙埋、风蚀等干扰的风险,提高了对空间资源的利用率,这在生存条件特别严酷的风沙区尤为重要。

综上所述,干旱荒漠区狭叶锦鸡儿主要通过根系萌蘖、沙埋枝条的不定根繁殖、地上枝条不断分枝和新老个体形成复合灌丛等方法使灌丛逐年增大。这就是狭叶锦鸡儿在干旱荒漠区形成了直径1.5—2.0m的大灌丛的原因。

已有研究表明狭叶锦鸡儿以形态变异、有效的渗透调节、低水分蒸腾和高水分利用效率来适应荒漠环境^[1,5-6]。通过本文灌丛结构和扩展对策的研究,认为狭叶锦鸡儿能成为荒漠区的优势种还与下列因素有关:(1)克隆繁殖方式。在种子更新途径严重受阻的干旱荒漠区,克隆繁殖在狭叶锦鸡儿种群的更新和扩展中起了重要作用。(2)灌丛扩大化。由于繁殖对策的变化,使干旱荒漠区狭叶锦鸡儿形成了更大的灌丛。大灌丛

为狭叶锦鸡儿搜索可利用资源(水分、养分等)和营造适宜的微环境创造了条件,增强了抗胁迫(风沙、干旱、贫瘠、动物干扰等)能力,提高种群的对荒漠环境的适应性;同时也赋予其良好的防风固沙、保持水土潜力,使其在干旱荒漠生态系统中表现出重要作用。(3)发达的根系。狭叶锦鸡儿具有“复合型”根系;庞大的浅根系,保证其充分吸收降水,而主根可利用较深层土壤中的蓄积水分,这就导致狭叶锦鸡儿不易受到干旱的胁迫。此外,发达的“复合型”根系既保证其有效利用灌丛凋落物腐烂矿化释放的营养,又能有效利用深层的矿质营养,对狭叶锦鸡儿适应荒漠区的贫瘠养分环境有重要意义。狭叶锦鸡儿纵横交错的地下网状根系,能有效地保持水土、稳定土壤基质,也为其种群繁盛创造了良好条件。

References:

- [1] Ma C C, Gao Y B, Guo H Y, Wu J B, Wang J L. Morphological adaptation of four dominant *Caragana* species in the desert area of the Inner Mongolia Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2308-2312.
- [2] Zhou D W. Study on distribution of the genus *Caragana* Fabr. *Bulletin of Botanical Research*, 1996, 16(4): 428-435.
- [3] Zhao Y Z. Classification and eco-geographical distribution of *Caragana* in Nei Mongol. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis NeiMongol: Natural Science Edition*, 1991, 22(2): 264-273.
- [4] Ma C C, Gao Y B, Jiang F Q, Wang J L, Guo H Y, Wu J B, Su D. The comparison studies of ecological and water regulation characteristics of *Caragana microphylla* and *Caragana stenophylla*. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1442-1451.
- [5] Ma C C, Gao Y B, Guo H Y, Wang J L, Wu J B, Xu J S. Physiological adaptations of four dominant *Caragana* species in the desert region of the Inner Mongolia Plateau. *Journal of Arid Environments*, 2008, 72(3): 247-254.
- [6] Ma C C, Gao Y B, Li Q F, Guo H Y, Wu J B, Wang J L. A comparison of ecophysiological characteristics of four dominant *Caragana* species in adaptation to desert habitat of the Inner Mongolia Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4643-4650.
- [7] 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.
- [8] Schenk H J. Clonal splitting in desert shrubs. *Plant Ecology*, 1999, 141(1/2): 41-52.
- [9] Zhao W Z, Zhang Z H, Li Q Y. Growth and reproduction of *Sophora moorcroftiana* responding to altitude and sand burial in the middle Tibet. *Environmental Geology*, 2007, 53(1): 11-17.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Zhao X J, Wang X A. Study on branching pattern plasticity of *Larix chinensis*. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25(1): 113-117.
- [13] Bond W J, Midgley J J. Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche. *Trends in Ecology and Evolution*, 2001, 16(1): 45-51.
- [14] Wang H Y, Wang Z W, Li L H, Chen Y J, Ren L Y. Reproductive tendency of clonal plants in various habitats. *Chinese Journal of Ecology* 2005, 24(6): 670-676.
- [15] 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.
- [16] Grime J P. *Plant Strategies and Vegetation Processes*. Chichester: John Wiley and Sons, 1979.
- [17] Zhao X Y. *Regenerative strategies of three species of Caragana fabr.* Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2004.
- [18] Niu X W. *Biological Characters of Cultivars in Caragana*. *Acta Agriculturae Boreal-Sinica*, 1998, 13(4): 122-129.
- [19] Yan X F. Propagulum of *Caragana* spp. and their roles in restoration of desert vegetation. *Inner Mongolia Forestry Science and Technology*, 2007, 32(2): 23-27.
- [20] Harper J L, Rosen B R, White J, eds. The growth and form of modular organisms. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 1986, 313: 1-250.
- [21] Leakey R R B. Adaptive biology of vegetatively regenerating weeds. *Advances in Applied Biology*, 1981, 6: 57-90.
- [22] Song M H, Dong M. Importance of clonal plants in community. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1960-1967.
- [23] Zhu Z L, Li D Z, Wang X P, Sheng L J, Shi Q. Water physiology integration and its ecological effect of clonal plants. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26(12): 2602-2614.
- [24] Klimeš L, Klimešová J, Hendriks R, van Groenendael J. Clonal plant architecture: a comparative analysis of form and function//de Kroon H, van Groenendael J, eds. *The Ecology and Evolution of Clonal Plants*. Leiden: Backbuys Published, 1997: 1-29.

- [25] Zhang X M, Wang L, Lin M Z, Zhang J K. The clonal growth behavior and root system specilization is again one basic factor of realization the pioneer plant function. The Global Seabuckthorn Research and Development, 2006, 4(2): 1-5.
- [26] Chen B, Song Y C, Da L J. Woody plant architeclure and its research in plant ecology. Chinese Journal of Ecology, 2002, 21(3): 52-56.
- [27] Zhang D K, Wang J H, Ma Q L, Liu H J, Liu Y J. Branch component characteristics of *Artemisia ordosica* and *Artemisia arenaria*. Grassland and Turf, 2009, (1): 43-46.

参考文献:

- [1] 马成仓, 高玉葆, 郭宏宇, 吴建波, 王金龙. 内蒙古高原西部荒漠区锦鸡儿属(*Caragana*)优势种的形态适应特征. 生态学报, 2006, 26(7): 2308-2312.
- [2] 周道玮. 锦鸡儿属植物分布研究. 植物研究, 1996, 16(4): 428-435.
- [3] 赵一之. 内蒙古锦鸡儿属的分类及其生态地理分布. 内蒙古大学学报(自然科学版), 1991, 22(2): 264-273.
- [4] 马成仓, 高玉葆, 蒋福全, 王金龙, 郭宏宇, 吴建波, 苏丹. 小叶锦鸡儿和狭叶锦鸡儿的生态和水分调节特性比较研究. 生态学报, 2004, 24(7): 1442-1451.
- [6] 马成仓, 高玉葆, 李清芳, 郭宏宇, 吴建波, 王金龙. 内蒙古高原荒漠区几种锦鸡儿属(*Caragana*)优势植物的生理生态适应特征. 生态学报, 2007, 27(11): 4643-4650.
- [7] 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研究. 生态学报, 2004, 24(8): 1594-1601.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 赵相健, 王孝安. 太白红杉分枝格局的可塑性研究. 西北植物学报, 2005, 25(1): 113-117.
- [14] 王洪义, 王正文, 李凌浩, 陈雅君, 任丽响. 不同生境中克隆植物的繁殖倾向. 生态学杂志, 2005, 24(6): 670-676.
- [15] 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.
- [17] 赵晓英. 三种锦鸡儿属植物的更新对策研究. 甘肃农业大学博士学位论文, 2004.
- [18] 牛西午. 柠条生物学特性研究. 华北农学报, 1998, 13(4): 122-129.
- [19] 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, 32(2): 23-27.
- [22] 宋明华, 董鸣. 群落中克隆植物的重要性. 生态学报, 2002, 22(11): 1960-1967.
- [23] 朱志玲, 李德志, 王绪平, 盛丽娟, 石强. 克隆植物的水分生理整合及其生态效应. 西北植物学报, 2006, 26(12): 2602-2614.
- [25] 张小民, 王岚, 林美珍, 张吉科. 先锋植物沙棘 II——克隆行为和根系特化是实现沙棘先锋作用的又一根本因素. 国际沙棘研究与开发, 2006, 4(2): 1-5.
- [26] 陈波, 宋永昌, 达良俊. 木本植物的构型及其在植物生态学研究的进展. 生态学杂志, 2002, 21(3): 52-56.
- [27] 张德魁, 王继和, 马全林, 刘虎俊, 刘有军. 油蒿与沙蒿枝构件特征研究. 草原与草坪, 2009, (1): 43-46.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 8 April, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

The relationship between <i>Populus euphratica</i> 's radial increment and groundwater level at the lower reach of Tarim River	AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (2053)
Influence of elevation factor on soil profile texture configuration: a case study of the alluvial plain of Fengqiu County	TAN Manzhi, MI Shuxiao, LI Kaili, et al (2060)
Effects of ozone on AsA-GSH cycle in soybean leaves	WANG Junli, WANG Yan, ZHAO Tianhong, et al (2068)
The effects of physical and chemical factors on the growth and lipid production of <i>Chlorella</i>	ZHANG Guiyan, WEN Xiaobin, LIANG Fang, et al (2076)
Response of net productivity of masson pine plantation to climate change in North Subtropical Region	CHENG Ruimei, FENG Xiaohui, XIAO Wenfa, et al (2086)
Soil respiration of <i>Zoysia matrella</i> turfgrass in subtropics	LI Xibo, YANG Yusheng, ZENG Hongda, et al (2096)
Effect of UV-B radiation on the leaf litter decomposition and nutrient release of <i>Pinus massoniana</i>	SONG Xinzhang, ZHANG Huiling, JIANG Hong, et al (2106)
Physiological ecological effect of endophyte infection on <i>Achnatherum sibiricum</i> under drought stress	HAN Rong, LI Xia, REN Anzhi, et al (2115)
Zinc Tolerance and Accumulation Characteristics of <i>Armillaria mellea</i>	ZHU Lin, CHENG Xianhao, LI Weihuan, et al (2124)
Expansion strategies of <i>Caragana stenophylla</i> in the arid desert region	ZHANG Jianhua, MA Chengchang, LIU Zhihong, et al (2132)
Effects of mixed plant residues from the Loess Plateau on microbial biomass carbon and nitrogen in soil	WANG Chunyang, ZHOU Jianbin, XIA Zhimin, et al (2139)
Survival strategy of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Agropyron cristatum</i> in typical steppe of Inner Mongolia	SUN Jian, LIU Miao, LI Shengcong, et al (2148)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in <i>Salix psammophila</i> root-zone soil in Inner Mongolia desert	HE Xueli, YANG Jing, ZHAO Lili (2159)
An experimental study on the the effects of different diurnal warming regimes on single cropping rice with Free Air Temperature Increased (FATI) facility	DONG Wenjun, DENG Aixin, ZHANG Bin, et al (2169)
Endophytic bacterial diversity in <i>Achnatherum inebrians</i> by culture-independent approach	ZHANG Xuebing, SHI Yingwu, ZENG Jun, et al (2178)
Hierarchical Partial Least Squares (Hi_PLS) model analysis of the driving factors of Henan's Ecological Footprint (EF) and its development strategy	JIA Junsong (2188)
Evaluation on spatial distribution of soil salinity and soil organic matter by indicator Kriging in Yucheng City	YANG Qiyong, YANG Jinsong, YU Shipeng (2196)
The toxicity of lupeol of <i>Inula britannica</i> on <i>Tetranychus cinnabarinus</i> and its effects on mite enzyme activity	DUAN Dandan, WANG Younian, CHENG Jun, et al (2203)
Abundance and biodiversity of ammonia-oxidizing archaea and bacteria in littoral wetland of Baiyangdian Lake, North China	YE Lei, ZHU Guibing, WANG Yu, et al (2209)
Changes of leaf water potential and water absorption potential capacities of six kinds of seedlings in Karst mount area under different drought stress intensities: Taking six forestation seedlings in karst Mountainous region for example	WANG Ding, YAO Jian, YANG Xue, et al (2216)
Comparison of structure and species diversity of <i>Eucalyptus</i> community	LIU Ping, QIN Jing, LIU Jianchang, et al (2227)
Ecosystem services valuation of the Haihe River basin wetlands	JIANG Bo, OUYANG Zhiyun, MIAO Hong, et al (2236)
Effects of <i>Phragmites australis</i> on methane emission from a brackish estuarine wetland	MA Anna, LU Jianjian (2245)
Genetic differentiation and the characteristics of uptake and accumulation of lead among <i>Camellia sinensis</i> populations under different background lead concentrations of soils in Yunnan, China	LIU Shengchuan, DUAN Changqun, LI Zhenhua, et al (2253)
Comparison of zooplankton lists between <i>Coilia mystus</i> food contents and collections from the Yangtze River Estuary & Hangzhou Bay	LIU Shouhai, XU Zhaoli (2263)
Reconstruction and analysis of July-September precipitation in Mt. Dagangshan, China	QIAO Lei, WANG Bing, GUO Hao, et al (2272)
Analysis on economic and ecological benefits of no-tillage management of <i>Carya cathayensis</i>	WANG Zhengjia, HUANG Xingzhao, TANG Xiaohua, et al (2281)
GIS-based analysis of the accessibility of urban forests in the central city of Guangzhou, China	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (2290)
Review and Monograph	
Impact factors and uncertainties of the temperature sensitivity of soil respiration	YANG Qingpeng, XU Ming, LIU Hongsheng, et al (2301)
The advance of allometric studies on plant metabolic rates and biomass	CHENG Dongliang, ZHONG Quanlin, LIN Maozi, et al (2312)
Practice and the research progress on eco-compensation for cultivated land	MA Aihui, CAI Yinying, ZHANG Anlu (2321)
Discussion	
Soil water holding capacities and infiltration characteristics of three vegetation restoration models in dry-hot valley of Yuanmou	LIU Jie, LI Xianwei, JI Zhonghua, et al (2331)
Scientific Note	
Effects of secondary, micro- and beneficial elements on rice growth and cadmium uptake	HU Kun, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (2341)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 8 期 (2011 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 8 2011

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:100717	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