

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

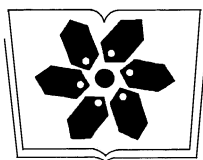
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 24 期 Vol.32 No.24 **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 24 期

2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

从文献计量角度分析中国生物多样性研究现状.....	刘爱原,郭玉清,李世颖,等 (7635)
CO ₂ 浓度升高和模拟氮沉降对青川箭竹叶营养质量的影响.....	周先容,汪建华,张 红,等 (7644)
陕西中部黄土高原地区空气花粉组成及其与气候因子的关系——以洛川县下黑木沟村为例.....	吕素青,李月从,许清海,等 (7654)
长三角地区 1995—2007 年生态资产时空变化.....	徐昔保,陈 爽,杨桂山 (7667)
基于智能体模型的青岛市林地生态格局评价与优化.....	傅 强,毛 锋,王天青,等 (7676)
青藏高原高寒草地生态系统服务功能的互作机制.....	刘兴元,龙瑞军,尚占环 (7688)
北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估.....	张 彪,高吉喜,谢高地,等 (7698)
武汉市造纸行业资源代谢分析.....	施晓清,李笑诺,赵吝加,等 (7706)
丽江市家庭能耗碳排放特征及影响因素.....	王丹寅,唐明方,任 引,等 (7716)
基于分布式水文模型和福利成本法的生态补偿空间选择研究.....	宋晓谕,刘玉卿,邓晓红,等 (7722)
设施塑料大棚风洞试验及风压分布规律.....	杨再强,张 波,薛晓萍,等 (7730)
湖南珍稀濒危植物——珙桐种群数量动态.....	刘海洋,金晓玲,沈守云,等 (7738)
云南岩陀及其近缘种质资源群体表型多样性.....	李萍萍,孟衡玲,陈军文,等 (7747)
沙埋和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发、出苗和幼苗生长的影响.....	杨慧玲,梁振雷,朱选伟,等 (7757)
栗山天牛天敌花绒寄甲在栎林中的种群保持机制.....	杨忠岐,唐艳龙,姜 静,等 (7764)
基于相邻木排列关系的混交度研究.....	娄明华,汤孟平,仇建习,等 (7774)
三种回归分析方法在 Hyperion 影像 LAI 反演中的比较.....	孙 华,鞠洪波,张怀清,等 (7781)
红松和蒙古栎种子萌发及幼苗生长对升温与降水综合作用的响应.....	赵 娟,宋 媛,孙 涛,等 (7791)
新疆杨边材贮存水分对单株液流通量的影响.....	党宏忠,李 卫,张友焱,等 (7801)
火干扰对小兴安岭毛赤杨沼泽温室气体排放动态影响及其影响因素.....	顾 韩,牟长城,张博文 (7808)
不同潮汐和盐度下红树植物幼苗秋茄的化学计量特征.....	刘滨尔,廖宝文,方展强 (7818)
腾格里沙漠东南缘沙质草地灌丛化对地表径流及氮流失的影响.....	李小军,高永平 (7828)
西双版纳人工雨林群落结构及其林下降雨侵蚀力特征.....	邓 云,唐炎林,曹 敏,等 (7836)
西南高山地区净生态系统生产力时空动态.....	庞 瑞,顾峰雪,张远东,等 (7844)
南北样带温带区栎属树种种子化学组成与气候因子的关系.....	李东胜,史作民,刘世荣,等 (7857)
模拟酸雨对龙眼叶片 PS II 反应中心和自由基代谢的影响.....	李永裕,潘腾飞,余 东,等 (7866)
沈阳市城郊表层土壤有机污染评价.....	崔 健,都基众,马宏伟,等 (7874)
降雨对旱作春玉米农田土壤呼吸动态的影响.....	高 翔,郝卫平,顾峰雪,等 (7883)
冬季作物种植对双季稻根系酶活性及形态指标的影响.....	于天一,逢焕成,任天志,等 (7894)
施氮量对小麦/玉米带田土壤水分及硝态氮的影响.....	杨蕊菊,柴守玺,马忠明 (7905)
微山湖鸟类多样性特征及其影响因素.....	吕昭智,潘卫林,张 鑫,等 (7925)
新疆北部棉区作物景观多样性对棉铃虫种群的影响.....	刘静静,董春颖,宋英琦,等 (7932)
杭州西湖北里湖沉积物氮磷内源静态释放的季节变化及通量估算.....	郭 静,陈求稳,张晓晴,等 (7940)
基于实码遗传算法的湖泊水质模型参数优化.....	王跃中,孙典荣,陈作志,等 (7948)
气候环境因子和捕捞压力对南海北部带鱼渔获量变动的影响.....	颜婷茹,焦海峰,毛玉泽,等 (7958)
象山港南沙岛不同养殖类型沉积物酸可挥发性硫化物的时空分布.....	
专论与综述	
提高植物抗寒性的机理研究进展.....	徐呈祥 (7966)
植被对多年冻土的影响研究进展.....	常晓丽,金会军,王永平,等 (7981)
凋落物分解主场效应及其土壤生物驱动.....	查同刚,张志强,孙 阁,等 (7991)
街尘与城市降雨径流污染的关系综述.....	赵洪涛,李叙勇,尹澄清 (8001)



封面图说: 永兴岛海滩植被——永兴岛是中国西沙群岛的主岛,也是西沙群岛及南海诸岛中最大的岛屿。国务院 2012 年 6 月批准设立的地级三沙市,管辖西沙群岛、中沙群岛、南沙群岛的岛礁及其海域,三沙市人民政府就驻西沙永兴岛。永兴岛岛上自然植被密布,野生植物有 148 种,占西沙野生植物总数的 89%,主要树种有草海桐(羊角树)、麻枫桐、野枇杷、海棠树和椰树等。其中草海桐也称为羊角树,是多年生常绿亚灌木植物,它们总是喜欢倚在珊瑚礁岸或是与其他滨海植物聚生于海岸沙滩,为典型的滨海植物。

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

DOI: 10.5846/stxb201201170105

杨慧玲, 梁振雷, 朱选伟, 梅世秀, 王会勤, 申艳, 黄振英. 沙埋和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发、出苗和幼苗生长的影响. 生态学报, 2012, 32 (24): 7757-7763.

Yang H L, Liang Z L, Zhu X W, Mei S X, Wang H Q, Shen Y, Huang Z Y. Effects of sand burial and seed size on seed germination, seedling emergence and growth of *Caragana korshinskii* Kom. (Fabaceae). Acta Ecologica Sinica, 2012, 32 (24): 7757-7763.

沙埋和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发、 出苗和幼苗生长的影响

杨慧玲^{1,2}, 梁振雷¹, 朱选伟², 梅世秀¹, 王会勤¹, 申艳¹, 黄振英^{2,*}

(1. 河南农业大学生命科学院, 郑州 450002; 2. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

摘要:研究了沙埋深度和种子大小对内蒙古毛乌素沙地植被群落中占优势的柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii* Kom.)种子萌发、出苗、幼苗存活和生长的影响。结果表明,沙埋深度显著影响柠条锦鸡儿的种子萌发率、休眠率、出苗率、幼苗存活率及生物量。在 0.5—2 cm 的浅层沙埋下,种子萌发率、出苗率、幼苗存活率及生物量最高,休眠率最低;沙埋深度 ≥ 4 cm 时,柠条锦鸡儿的种子萌发率、出苗率、幼苗存活率及生物量随着沙埋深度增加显著降低,而休眠率却显著升高;沙埋深度 ≥ 12 cm 时,柠条锦鸡儿种子不能够出苗,幼苗也不能够存活。种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发率没有显著影响,但对出苗率、幼苗存活率及生物量影响显著。在各个沙埋深度下,不同大小的柠条锦鸡儿种子间的萌发率没有显著差异。当沙埋深度 ≤ 6 cm 时,不同大小的柠条锦鸡儿种子在同一沙埋深度下的出苗率间没有显著差异;但当沙埋深度 ≥ 8 cm 时,在同一沙埋深度下,大种子的出苗率显著高于中种子和小种子的出苗率,而中种子和小种子出苗率间没有显著差异。0.5—10 cm 的沙埋深度中,除 6 cm 和 8 cm 深度下中种子和小种子萌发幼苗的生物量间没有显著差异外,其余深度下,大种子萌发的幼苗的存活率及生物量显著高于同一沙埋深度下中种子萌发的幼苗的存活率及生物量,后者又显著高于小种子萌发的幼苗的存活率及生物量。可能正是种子萌发对沙埋环境的忍耐或响应能力以及种子的多态性提高了柠条锦鸡儿在毛乌素沙地的适合度,为其在流动或半流动沙丘环境中成功定居并形成优势群落奠定了基础。

关键词:柠条锦鸡儿;沙埋深度;种子大小;种子萌发;幼苗出土;幼苗生物量

Effects of sand burial and seed size on seed germination, seedling emergence and growth of *Caragana korshinskii* Kom. (Fabaceae)

YANG Huiling^{1,2}, LIANG Zhenlei¹, ZHU Xuanwei², MEI Shixiu¹, WANG Huiqin¹, SHEN Yan¹, HUANG Zhenying^{2,*}

1 College of Life Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

2 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

Abstract: Two pots experiments were conducted in a greenhouse to test the effects of sand burial and seed size on seed germination and seedling emergence, survival and growth of *Caragana korshinskii* Kom., a dominant perennial sand-fixating legume shrub in Mu Us Sandland. Sand burial significantly affected seed germination, seed dormancy, and seedling emergence, survival and biomass of *C. korshinskii*. Percentages of seed germination and seedling emergence, survival and biomass were highest at burial depths of 0.5 to 2 cm, and they decreased with the increase in depth of sand burial to ≥ 4 cm. In contrast, the percentage of seed dormancy was lowest at depths of 0.5 to 2 cm, and it increased with an increase in

基金项目:国家自然科学基金面上项目(30900216);中国博士后科学基金(20080430589);河南农业大学博士启动基金(30200224)

收稿日期:2012-01-17; **修订日期:**2012-09-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhenying@ibcas.ac.cn

depth from 4 to 12 cm. No seedlings emerged or survived at depths ≥ 12 cm. Seed size noticeably affected emergence, survival and biomass of *C. korshinskii* seedlings, but it did not affect seed germination. At all burial depths, germination percentages did not differ markedly among different size seeds. At depths ≤ 6 cm, percentages of seedlings that emerged from seeds of different sizes were not significantly different, but seedling emergence was higher from large seeds than from medium or small seeds at depths ≥ 8 cm. Moreover, survival and biomass of seedlings that originated from large seeds were higher than those of seedlings from medium seeds, which, in turn, were higher than those of seedlings from small seeds at each depth from 0.5 to 10 cm except at 6 or 8 cm. We speculate that tolerance to sand burial and diversity of seed size increase the fitness of *C. korshinskii*, which contributes to its dominance in mobile and semi-mobile sand dunes of Mu Us Sandland.

Key Words: *Caragana korshinskii*; sand burial; seed germination; seed size; seedling biomass; seedling emergence

在沙地生态系统中,风沙移动频繁发生,沙丘上生长的植物经常遭受不同程度的沙埋。沙埋可以改变植物的微环境,如光照、温度、湿度、根际氧气含量、土壤有机质以及土壤微生物活动^[1-6],因而,对沙地植物种子大小、种子萌发、出苗进化机制以及幼苗和成年植物存活具有很强的选择力^[7-8]。作为一个环境筛,沙埋成为沙地生态系统中控制植被分布和组成的一个重要因素^[9]。

很多因素,如遗传因素、资源有限时种子之间的竞争、以及种子大小与种子数量的权衡等都会使植物产生大小不同的种子^[10]。种子的大小不同,其传播能力、萌发率、萌发速度以及萌发的时间可能不同,这些种子形成的幼苗的大小、活力以及生存能力也可能不同^[11-13]。一些研究发现种子因大小不同,其萌发率、出苗率和生长速率不同,此现象在种内和种间均存在^[10,14]。

毛乌素沙地是中国的四大沙地之一。柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii* Kom.)是当地植被群落中占优势的多年生灌木,其根系发达、固沙能力强、耐风蚀、沙埋、干旱、贫瘠,是荒漠、草原地区优良的防风固沙植物^[15],而且,其枝叶繁茂、产量高、营养丰富、适口性好,可为牲畜提供优良的饲料。目前已有一些关于柠条锦鸡儿种子萌发对干旱胁迫、土壤水分以及沙埋的响应的研究^[16-20],但关于柠条锦鸡儿不同大小的种子是如何响应沙埋的研究还未见报道。为此,本文研究了不同沙埋深度和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发、出苗及其幼苗生长的影响,旨在了解柠条锦鸡儿对沙埋环境的生态应对策略,不仅丰富植物对策理论,而且也为沙地的防风固沙与植被重建提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 种子来源与研究地点

2009年9月下旬,在中国科学院植物研究所鄂尔多斯沙地草地生态研究站(北纬39°02',东经109°51',海拔1355 m)附近自然生境中,随机采集柠条锦鸡儿的成熟荚果。待荚果自然开裂后,清理种子并储藏在-18℃备用。在实验开始之前,单粒分拣,挑选饱满的种子用于实验。

1.2 实验设计

1.2.1 种子的大小和质量

随机挑选1000粒柠条锦鸡儿的种子,用电子天平测其重量,共4个重复。然后,从中随机选取300粒种子,用万分之一电子天平逐个称重,分析不同质量的柠条锦鸡儿种子所占的比例。同时用游标卡尺随机测定20粒种子的直径和长度。

1.2.2 沙埋深度和种子大小对种子萌发、出苗的影响

实验开始前,用万分之一电子天平对单个种子称重并将种子按照质量分为大、中、小三组,每组900粒种子;大组种子质量为0.051—0.060 g,平均为(0.0548±0.0015) g;中组种子质量为0.041—0.050 g,平均为(0.0453±0.0015) g;小组种子质量为0.031—0.040 g,平均为(0.0376±0.0015) g。

将取自流动沙丘的过筛沙放进直径20 cm、深度20 cm的黑色塑料钵内至预先标定的6 cm深度,加水后

将3组不同质量的种子分别放置于沙基质表面,最后再覆盖沙子在种子表面,使沙埋深度分别达到0、0.5、1、2、4、6、8、10、12 cm。每盆25粒种子,每种处理(同一深度同一质量)4个重复,共108盆。用尼龙网覆盖塑料钵底部的排水孔,阻止钵内沙子流出,又便于多余水分排出。之后每天向花盆里加入适量水,以保持沙土湿润。

实验于2010年4月6日开始,经过在温室(气温为20—35℃;空气相对湿度为25%—66%)内4周的萌发和出苗,实验结束。实验期间,记录每天出土的幼苗数(胚芽突出沙表面记为出苗)。然后过筛营养钵内的沙和实验材料(孔径3 mm),滤出未萌发的种子和萌发但未出土的幼苗。胚根突出种皮即记为萌发。切开未萌发种子,在室温下用1% TTC 染色24 h,如胚被染成红色,则表明种子有活力,即沙埋时休眠的种子。统计休眠种子的数量,计算种子的萌发率(包括萌发出苗的种子和萌发但未出苗的种子)、出苗率、种子休眠率。

1.2.3 沙埋深度和种子大小对幼苗存活和生长的影响

将大、中、小3组不同质量的种子在培养皿中萌发,种子萌发后(胚根刚突破种皮)的柠条锦鸡儿幼苗种植到直径20 cm、深度20 cm的黑色塑料钵里,最后再覆盖沙子在种子表面,使沙埋深度分别达到0、0.5、1、2、4、6、8、10、12 cm,每盆1粒幼苗,每种处理(同一深度同一质量)20个重复。实验结束时,记录营养钵里的幼苗数并收获幼苗,放在烘箱内(70℃,48 h)烘干,用万分之一天平称重。

1.2.4 数据分析

所有数据在进行单因素(One-way ANOVA)和双因素方差分析前,均进行方差齐次性检验。采用Duncan进行差异显著性多重比较。统计软件为SPSS11.5。

2 结果

2.1 种子的大小和质量

柠条锦鸡儿种子多为暗红色,呈肾形、椭圆形或球形,种脐形状为盾形或近似三角形,脐痕很大。种子直径为0.25—0.45 cm,长度为0.40—0.80 cm,质量为0.018—0.074 g。其中质量<0.030 g,0.031—0.040 g,0.041—0.050 g,0.051—0.060 g,>0.060 g的种子所占比例分别为8.45%,30.91%,38.46%,16.27%,5.91%。

2.2 沙埋深度和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发和休眠的影响

沙埋深度对柠条锦鸡儿种子萌发有显著影响($P < 0.05$),但种子大小及其与沙埋深度之间的相互作用对柠条锦鸡儿种子萌发均没有显著影响($P > 0.05$)。在整个沙埋深度范围内,不同大小的种子表现出相似的萌发趋势:即仅有大概20%—25%的种子能够在沙表面萌发,在0.5—2 cm的浅层沙埋深度下,种子萌发率最高,从4—12 cm的沙埋深度下,随着沙埋深度的增加,种子萌发率显著降低(图1)。在各个沙埋深度下,不同大小种子的萌发率并没有显著差异。

柠条锦鸡儿种子休眠受沙埋深度的显著影响($P < 0.05$),但不受种子大小及其与沙埋深度之间相互作用的显著影响($P > 0.05$)。与种子的萌发趋势相似,不同大小的种子在不同深度沙埋条件下表现出相似休眠趋势,即沙表面种子的休眠率较高,达到30%,当遭受0.5—2 cm的浅层沙埋时,种子的休眠率显著下降,仅12%—16%;但随着沙埋深度从4—12 cm增加时,种子的休眠率又显著增加(图2)。在各个沙埋深度下,不同大小种子的休眠率无显著差异(图2)。

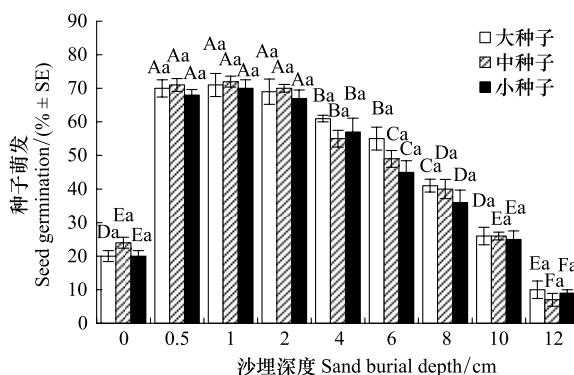


图1 沙埋深度和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发的影响

Fig.1 Effects of sand burial depth and seed size on germination of seeds of *Caragana korshinskii* Kom.

不同大写字母标记在 $P=0.05$ 水平上同一大小的种子在不同沙埋深度下萌发率之间的差异显著;不同小写字母标记在 $P=0.05$ 水平上在同一沙埋深度下不同大小的种子萌发率之间的差异显著

2.3 沙埋深度和种子大小对柠条锦鸡儿幼苗出土的影响

沙埋深度 ($P<0.05$) 和种子大小 ($P<0.05$) 对柠条锦鸡儿幼苗出土率均有显著影响,但二者之间的相互作用对幼苗出土率没有显著影响 ($P>0.05$)。在整个沙埋深度范围内,不同大小的种子萌发后表现出相似的幼苗出土趋势:在沙土表面的种子仅有 20% 的幼苗能够出土;在 0.5—2 cm 的浅层沙埋下柠条锦鸡儿幼苗出土率最高,显著高于其它沙埋深度下幼苗出土率;从 4—12 cm 的沙埋深度范围内,幼苗出土率随着沙埋深度的增加显著降低。仅少量 (3%—10%) 柠条锦鸡儿幼苗能在 10 cm 的沙埋深度下露出沙土表面,当沙埋深度达到 12 cm 时,没有柠条锦鸡儿幼苗露出沙层表面 (图 3)。当沙埋深度 ≤ 6 cm 时,在同一沙埋深度下,不同大小种子的幼苗出土率之间没有显著差异;但当沙埋深度 ≥ 8 cm 时,在同一沙埋深度下,大种子的幼苗出土率显著高于中种子和小种子的幼苗出土率,而中种子和小种子出苗率间没有显著差异。

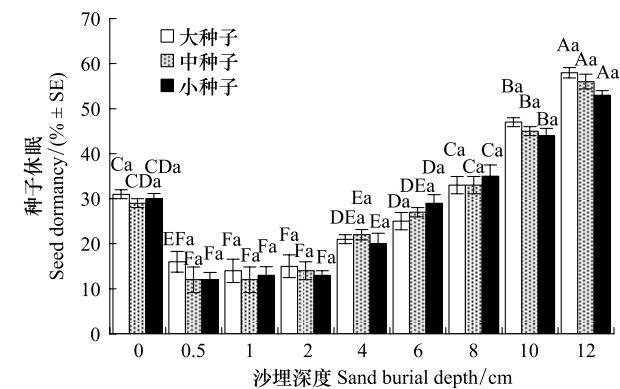


图2 沙埋深度和种子大小对柠条锦鸡儿种子休眠的影响
Fig.2 Effects of sand burial depth and seed size on percentages of seed dormancy of *C. korshinskii*

不同大写字母标记在 $P=0.05$ 水平上同一大小的种子在不同沙埋深度下休眠率之间的差异显著;不同小写字母标记在 $P=0.05$ 水平上在同一沙埋深度下不同大小的种子休眠率之间的差异显著

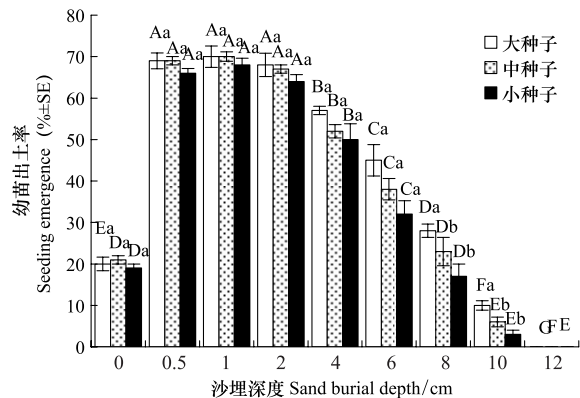


图3 沙埋深度和种子大小对柠条锦鸡儿幼苗出土率的影响
Fig.3 Effects of sand burial depth and seed size on percentages of seedling emergence of *C. korshinskii*

不同大写字母标记在 $P=0.05$ 水平上同一大小的种子在不同沙埋深度下幼苗出土率之间的差异显著;不同小写字母标记在 $P=0.05$ 水平上在同一沙埋深度下不同大小的种子幼苗出土率之间的差异显著

2.4 沙埋深度和种子大小对柠条锦鸡儿幼苗存活和生物量的影响

在实验开始后第 3 天,沙层表面的柠条锦鸡儿幼苗全部死亡。在 0.5—2 cm 的浅层沙埋条件下,柠条锦鸡儿幼苗在实验开始后第 2 天几乎全部出土,且存活率 100%。在 4—10 cm 的沙埋深度范围内,随着沙埋深度增加,幼苗存活率下降,且种子越小,存活率越低。在 12 cm 的沙埋深度下,无论种子大小,其萌发的幼苗均不能出土存活 (表 1)。

表 1 沙埋深度和种子大小对柠条锦鸡儿幼苗存活率的影响

Table 1 Effects of sand burial depth and seed size on survival of seedlings of *C. korshinskii*

沙埋深度/cm Sand burial depth	大种子萌发幼苗存活率/% Survival of seedlings from large seeds	中种子萌发幼苗存活率/% Survival of seedlings from medium seeds	小种子萌发幼苗存活率/% Survival of seedlings from small seeds
0	0	0	0
0.5	100	100	100
1	100	100	100
2	100	100	100
4	95	90	85
6	85	80	70
8	70	50	40
10	35	15	5
12	0	0	0

沙埋深度与种子大小及二者之间的相互作用对柠条锦鸡儿幼苗生物量均有显著影响($P < 0.05$)。在整个沙埋深度范围内,不同大小种子萌发的幼苗有相似的生长趋势:0.5—2 cm 的沙埋深度下,柠条锦鸡儿的幼苗生物量最高,显著高于其它沙埋深度的幼苗生物量,但在 4—10 cm 沙埋深度下,幼苗生物量随着沙埋深度增加显著降低(图 4)。在同一沙埋深度下,除了在 6 cm 和 8 cm 沙埋深度下中种子萌发的幼苗的生物量与小种子萌发的幼苗生物量没有显著差异外,其它沙埋深度下,大种子萌发的幼苗的生物量均显著高于中种子萌发的幼苗的生物量,后者又显著高于小种子萌发的幼苗的生物量。

3 结论与讨论

在沙丘生境中,植物的种子会因多种因素被埋到不同深度的沙土里。与其它沙丘植物一样^[21],柠条锦鸡儿种子被沙埋后可能有 4 种命运:种子萌发而且幼苗出土;种子萌发但幼苗没有出土;种子进入休眠,成为土壤种子库的一部分;种子由于多种致死因素而死亡。

无论种子大小,柠条锦鸡儿种子均能在 0—12 cm 沙埋深度下萌发,但是当沙埋深度 ≥ 4 cm 时,随着沙埋深度的增加,种子的萌发率显著降低;与之相反,种子的休眠率显著增加。这与人的一些研究结果相似^[13,22-23]。沙埋后种子萌发将受到土壤温度、光照、土壤湿度等综合因素的影响^[24-26]。土壤通气不良,土壤含水量过高,温度过高或过低, O_2 浓度低, CO_2 浓度高以及光强不足等均可能导致植物种子进入次生休眠^[8,13,25,27]。柠条锦鸡儿种子休眠率与沙埋深度呈正相关的可能原因是随着沙埋深度的增加,种子进入次生休眠的胁迫水平也在增加^[8,24]。至于何种原因导致柠条锦鸡儿种子进入强迫休眠还需进一步实验验证。种子在沙埋过深情况下休眠可能具有重要的生态意义:处于休眠状态的种子在土壤中形成了有利于物种长期生存的种子库^[11],一旦沙子运动减少了沙埋深度,当其具备合适的萌发条件时,休眠的种子就会立即萌发^[8,26,28]。

本研究结果也表明,在 0.5—2 cm 的浅层沙埋下柠条锦鸡儿幼苗出土率最高,在 4—10 cm 的沙埋深度范围内,随着沙埋深度的增加,幼苗出土率显著降低,当沙埋深度达到 12 cm 时,没有柠条锦鸡儿幼苗可以露出沙层表面。可见,沙埋超过一定的深度之后,柠条锦鸡儿种子虽然可以萌发,但是它们的幼苗却不能出土^[29]。这与植物 *Agropyron psammophilum* 相似,在 2—12 cm 的沙埋深度下,种子的萌发率均高于 90%,但幼苗却不能在大于 8 cm 的沙埋深度下出土^[3]。柠条锦鸡儿不出土可能是由于沙埋过深时,贮存在种子里的能量不能使幼苗产生足够长的胚轴而伸出沙表面。

种子大小与种子所含能量多少密切相关,种子所含能量的多少可以影响着种子萌发、幼苗出土甚至成熟植株的结实能力^[10]。一些植物的大种子的萌发率比小种子的高^[30-31];另一些植物的小种子的萌发率比大种子的高^[11];还有一些植物的种子虽然大小不同,但萌发率却没有区别^[22-23,27]。本研究结果表明,在相同的沙埋深度下,不同大小的柠条锦鸡儿种子的萌发率并没有显著差异。当沙埋深度 ≤ 6 cm 时,不同大小的柠条锦鸡儿种子在同一沙埋深度下的出苗率间没有显著差异,但当沙埋深度 ≥ 8 cm 时,在同一沙埋深度下,大种子的出苗率显著高于中种子和小种子的出苗率。可见,种子萌发后,幼苗能否出土取决于种子大小和沙埋的深度,种子越大,贮藏的能量就越多,幼苗从深沙埋中出土的机会也越多。其它一些研究也表明,植物的种子越大,所含的能量越多,形成的幼苗能穿透的沙层就越厚^[32]。这可能是因为大种子里含有的胚乳较多,比小种子储存了更多的能量,可以供幼苗早期生长使用,大种子形成的幼苗也有更强的生长势,抵抗不良环境条件的

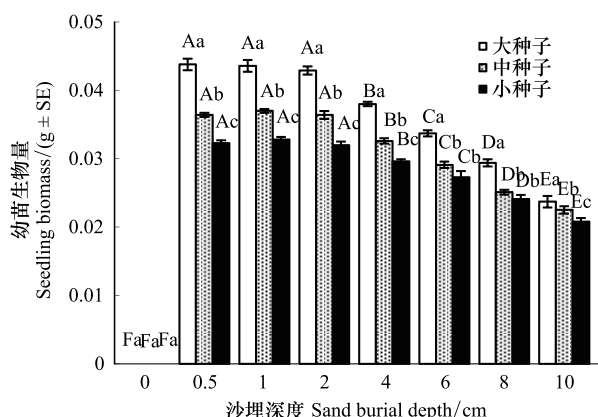


图 4 沙埋深度和种子大小对柠条锦鸡儿幼苗生物量的影响

Fig. 4 Effects of sand burial depth and seed size on percentages of seedling biomass of *C. korshinskii*

不同大写字母标记在 $P = 0.05$ 水平上同一大小的种子在不同沙埋深度下幼苗生物量之间的差异显著;不同小写字母标记在 $P = 0.05$ 水平上在同一沙埋深度下不同大小的种子幼苗生物量之间的差异显著

能力也更强。这从本研究幼苗存活率和生物量结果中得到了验证,在同一沙埋深度下,种子越大,其萌发幼苗的存活率就越高,而且大种子萌发幼苗的生物量显著高于中种子萌发幼苗的生物量,后者又显著高于小种子萌发幼苗的生物量。

在沙地生态系统中,频繁发生的沙埋对植物的生存形成了重大影响,对植物的适合度也具有选择效应^[8]。能够忍耐沙埋使一个物种可以将其生存空间拓殖到发生沙粒堆积的生境中^[33]。由于主要在流动和半流动沙丘中形成群落,柠条锦鸡儿种子和幼苗经常会遭遇沙埋。结果表明,柠条锦鸡儿的种子能在不超过 12 cm 的沙埋中萌发;幼苗可以在不超过 10 cm 的沙埋中存活;当沙埋深度 ≥ 4 cm 时,随着沙埋深度增加,种子休眠率增加。可见,柠条锦鸡儿对沙埋胁迫具有一定的忍耐或响应能力。而且,柠条锦鸡儿的种子具有大小的多样性,增加了萌发后的幼苗在不同沙埋深度建成的机会,提高了它们适应这种环境胁迫的能力,减少了生存的风险。可能正是这种对沙埋环境的生态适应性为柠条锦鸡儿在毛乌素沙地流动或半流动沙丘环境中成功定居并形成优势群落奠定了基础。

致谢: 感谢美国 Kentucky 大学的 Carol Baskin 和 Jerry Baskin 教授对英文摘要的润色。

References:

- [1] Brown J F. Effects of experimental burial on survival, growth, and resource allocation of three species of dune plants. *Journal of Ecology*, 1997, 85 (2): 151-158.
- [2] Baldwin K A, Maun M A. Microenvironment of Lake Huron sand dunes. *Canadian Journal of Botany*, 1983, 61(1): 241-255.
- [3] Zhang J H, Maun M A. Effects of sand burial on seed germination, seedling emergence, survival, and growth of *Agropyron psammophilum*. *Canadian Journal of Botany*, 1990, 68(2): 304-310.
- [4] Klimes L, Klimešová J, Osbornová J. Regeneration capacity and carbohydrate reserves in a clonal plant *Rumex alpinus*; effect of burial. *Vegetatio*, 1993, 109(2): 153-160.
- [5] van der Putten W H, van Dijk C, Peters B A M. Plant-specific soil-borne diseases contribute to succession in foredune vegetation. *Nature*, 1993, 362(6415): 53-56.
- [6] D'Hertefeldt T, van der Putten W H. Physiological integration of the clonal plant *Carex arenaria* and its response to soil-borne pathogens. *Oikos*, 1998, 81(2): 229-237.
- [7] Gutterman Y. Seed Germination in Desert Plants (Adaptations of Desert Organisms). Berlin: Springer-Verlag, 1993.
- [8] Maun M A. Adaptations of plants to burial in coastal sand dunes. *Canadian Journal of Botany*, 1998, 76: 713-738.
- [9] Maun M A, Lapiere J. Effects of burial by sand on seed germination and seedling emergence of four dune species. *American Journal of Botany*, 1986, 73(3): 450-455.
- [10] Zhang J H, Maun M A. Seed size variation and its effects on seedling growth in *Agropyron psammophilum*. *Botanical Gazette*, 1990, 151(1): 106-113.
- [11] Baskin C C, Baskin J M. Seed Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. San Diego: Academic Press, 1998: 212-534.
- [12] Gutterman Y. Survival Strategies of Annual Desert Plants. Adaptations of Desert Organisms. Berlin: Springer-Verlag, 2002: 211-280.
- [13] Zhu Y J, Dong M, Huang Z Y. Effects of sand burial and seed size on seed germination and seedling emergence of *Psammochloa villosa*. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(5): 730-739.
- [14] Peng H J. Effects of seed size and sowing depth on emergence of six perennial grasses. *Pratacultural Science*, 2001, 18(6): 30-34.
- [15] Ma Y Q. Flora of Inner Mongolia. 2nd ed. Huhhot: People's Press of Inner Mongolia, 1994.
- [16] Sun J K, Zhang W H, Zhang J M, Liu B Y, Liu X C. Response to drought stresses and drought-resistances evaluation of four species during seed germination. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, (9): 1811-1818.
- [17] Zeng Y J, Wang Y R, Sa R, Tian X W. Response of seed germination of three xeromorphic shrubs to drought stress. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(8): 953-956.
- [18] Cai S Z, Pan Y Z, Chen Q B, Ye C. Effects of PEG stress on seed germination and physiological characteristics of *Caragana intermedia* and *C. korshinskii*. *Seed*, 2011, (5): 42-45.
- [19] Zheng M Q, Zheng Y R, Jiang L H. Effects of one-time water supply and sand burial on seed germination and seedling emergence of four popular psammophyte in Mu Us sandy land. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2474-2484.

- [20] Nie C L, Zheng Y R. Effects on water supply and sand burial on seed germination and seedling emergence of four dominant psammophytes in the Ordos plateau. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(1): 32-41.
- [21] Maun M A. Adaptations enhancing survival and establishment of seedlings on coastal dune systems. *Vegetatio*, 1994, 111(1): 59-70.
- [22] Zhang J H, Maun M A. Sand burial effects on seed germination, seedling emergence and establishment of *Panicum virgatum*. *Ecology*, 1990, 13(1): 56-61.
- [23] Chen H, Maun M A. Effects of sand burial depth on seed germination and seedling emergence of *Cirsium pitcheni*. *Plant Ecology*, 1999, 140(1): 53-60.
- [24] Yang H L, Cao Z P, Dong M, Ye Y Z, Huang Z Y. Effects of sand burying on caryopsis germination and seedling growth of *Bromus inermis* Leyss. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(11): 2438-2443.
- [25] Huang Z Y, Gutterman Y. *Artemisia monosperma* achene germination in sand; effects of sand depth, sand/water content, cyanobacterial sand crust and temperature. *Journal of Arid Environments*, 1998, 38(1): 27-43.
- [26] Huang Z Y, Gutterman Y. Comparison of germination strategies of *Artemisia ordosica* with its two congeners from deserts of China and Israel. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(1): 71-80.
- [27] Huang Z Y, Dong M, Gutterman Y. Caryopsis dormancy, germination and seedling emergence in sand, of *Leymus racemosus* (Poaceae), a perennial sand-dune grass inhabiting the Junggar Basin of Xinjiang, China. *Australian Journal of Botany*, 2004, 52(4): 519-528.
- [28] Huang Z Y, Gutterman Y. Germination of *Artemisia sphaerocephala*, occurring in the sandy desert areas of Northwest China. *South African Journal of Botany*, 1999, 65: 187-196.
- [29] Ren J, Tao L, Liu X M. Effect of sand burial depth on seed germination and seedling emergence of *Calligonum* L. species. *Journal of Arid Environments*, 2002, 51(4): 603-611.
- [30] Greipsson S, Davy A J. Seed mass and germination behavior in populations of the dune-building grass *Leymus arenarius*. *Annals of Botany*, 1995, 76(5): 493-501.
- [31] Yanful M, Maun M A. Spatial distribution and seed mass variation of *Strophostyles helvola* along Lake Erie. *Canadian Journal of Botany*, 1996, 74(8): 1313-1321.
- [32] Yanful M, Maun M A. Effects of burial of seeds and seedlings from different seed size on the emergence and growth of *Strophostyles helvola*. *Canadian Journal of Botany*, 1996, 74(8): 1322-1330.
- [33] Maun M A. The effects of burial by sand on survival and growth of *Calamovilfa longifolia*. *Ecoscience*, 1996, 3(1): 93-100.

参考文献:

- [13] 朱雅娟,董鸣,黄振英. 沙埋和种子大小对固沙禾草沙鞭的种子萌发与幼苗出土的影响. *植物生态学报*, 2005, 29(5): 730-739.
- [14] 彭鸿嘉. 六种牧草种子大小和播种深度对出苗的影响. *草业科学*, 2001, 18(6): 30-34.
- [15] 马毓泉. 内蒙古植物志(第二版). 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1994.
- [16] 孙景宽, 张文辉, 张洁明, 刘宝玉, 刘新成. 种子萌发期4种植物对干旱胁迫的响应及其抗旱性评价研究. *西北植物学报*, 2006, (9): 1811-1818.
- [17] 曾彦军, 王彦荣, 萨仁, 田雪梅. 几种旱生灌木种子萌发对干旱胁迫的响应. *应用生态学报*, 2002, 13(8): 953-956.
- [18] 蔡仕珍, 潘远智, 陈其兵, 叶充. PEG 胁迫对柠条种子萌发及生理特性的影响. *种子*, 2011, (5): 42-45.
- [19] 郑明清, 郑元润, 姜联合. 毛乌素沙地4种沙生植物种子萌发及出苗对沙埋及单次供水的响应. *生态学报*, 2006, 26(8): 2474-2484.
- [20] 聂春雷, 郑元润. 鄂尔多斯高原4种主要沙生植物种子萌发与出苗对水分和沙埋的响应. *植物生态学报*, 2005, 29(1): 32-41.
- [24] 杨慧玲, 曹志平, 董鸣, 叶永忠, 黄振英. 沙埋对无芒雀麦种子萌发和幼苗生长的影响. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2438-2443.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 24 December, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

A bibliometric study of biodiversity research in China	LIU Aiyuan, GUO Yuqing, LI Shiying, et al (7635)
Effects of elevated CO ₂ and nitrogen deposition on leaf nutrient quality of <i>Fargesia rufa</i> Yi	 ZHOU Xianrong, WANG Jianhua, ZHANG Hong, et al (7644)
Airborne pollen assemblages and their relationships with climate factors in the central Shaanxi Province of the Loess Plateau: a case in Xiaheimugou, Luochuan County	LÜ Suqing, LI Yuecong, XU Qinghai, et al (7654)
Spatial and temporal change in ecological assets in the Yangtze River Delta of China 1995—2007	 XU Xibao, CHEN Shuang, YANG Guishan (7667)
Evaluation and optimization of woodland ecological patterns for Qingdao based on the agent-based model	 FU Qiang, MAO Feng, WANG Tianqing, et al (7676)
Interactive mechanism of service function of alpine rangeland ecosystems in Qinghai-Tibetan Plateau	 LIU Xingyuan, LONG Ruijun, SHANG Zhanhuan (7688)
Preliminary evaluation of air temperature reduction of urban green spaces in Beijing	 ZHANG Biao, GAO Jixi, XIE Gaodi, et al (7698)
Resources metabolism analysis for the pulp and paper industry in Wuhan, China	 SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, ZHAO Linjia, et al (7706)
The characteristics and influential factors of direct carbon emissions from residential energy consumption: a case study of Lijiang City, China	WANG Danyin, TANG Mingfang, REN Yin, et al (7716)
Spatial targeting of payments for ecosystem services Based on SWAT Model and cost-benefit analysis	 SONG Xiaoyu, LIU Yuqing, DENG Xiaohong, et al (7722)
The wind tunnel test of plastic greenhouse and its surface wind pressure patterns	 YANG Zaiqiang, ZHANG Bo, XUE Xiaoping, et al (7730)
Population quantitative characteristics and dynamics of rare and endangered plant <i>Davidia involucrata</i> in Hunan Province	 LIU Haiyang, JIN Xiaoling, SHEN Shouyun, et al (7738)
Phenotypic diversity in populations of germplasm resources of <i>Rodgersia sambucifolia</i> and related species	 LI Pingping, MENG Hengling, CHEN Junwen, et al (7747)
Effects of sand burial and seed size on seed germination, seedling emergence and growth of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. (Fabaceae) ...	 YANG Huiling, LIANG Zhenlei, ZHU Xuanwei, et al (7757)
Population-keeping mechanism of the parasitoid <i>Dastarcus helophoroides</i> (Coleoptera: Bothrideridae) of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) in oak forest	YANG Zhongqi, TANG Yanlong, JIANG Jing, et al (7764)
Study of mingling based on neighborhood spatial permutation	LOU Minghua, TANG Mengping, QIU Jianxi, et al (7774)
Comparison of three regression analysis methods for application to LAI inversion using Hyperion data	 SUN Hua, JU Hongbo, ZHANG Huaiqing, et al (7781)
Response of seed germination and seedling growth of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Quercus mongolica</i> to comprehensive action of warming and precipitation	ZHAO Juan, SONG Yuan, SUN Tao, et al (7791)
Impacts of water stored in sapwood <i>Populus bolleana</i> on its sap flux	DANG Hongzhong, LI Wei, ZHANG Youyan, et al (7801)
Dynamics of greenhouse gases emission and its impact factors by fire disturbance from <i>Alnus sibirica</i> forested wetland in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China	GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen (7808)
Different tide status and salinity alter stoichiometry characteristics of mangrove <i>Kandelia candel</i> seedlings	 LIU Biner, LIAO Baowen, FANG Zhanqiang (7818)
Effects of shrub encroachment in desert grassland on runoff and the induced nitrogen loss in southeast fringe of Tengger Desert	 LI Xiaojun, GAO Yongping (7828)
Community structure and throughfall erosivity characters of artificial rainforest in Xishuangbanna	 DENG Yun, [TANG Yanlin], CAO Min, et al (7836)
Temporal-spatial variations of net ecosystem productivity in alpine area of southwestern China	 PANG Rui, GU Fengxue, ZHANG Yuandong, et al (7844)

Relationships between chemical compositions of <i>Quercus</i> species seeds and climatic factors in temperate zone of NSTEC	LI Dongsheng, SHI Zuomin, LIU Shirong, et al (7857)
Effects of simulated acid rain stress on the PS II reaction center and free radical metabolism in leaves of longan	LI Yongyu, PAN Tengfei, YU Dong, et al (7866)
Assessment of organic pollution for surface soil in Shenyang suburbs	CUI Jian, DU Jizhong, MA Hongwei, et al (7874)
The impact of rainfall on soil respiration in a rain-fed maize cropland	GAO Xiang, HAO Weiping, GU Fengxue, et al (7883)
Effects of winter crops on enzyme activity and morphological characteristics of root in subsequent rice crops	YU Tianyi, PANG Huancheng, REN Tianzhi, et al (7894)
Dynamic changes of soil moisture and nitrate nitrogen in wheat and maize intercropping field under different nitrogen supply	YANG Ruiju, CHAI Shouxi, MA Zhongming (7905)
Characteristics of the bird diversity and the impact factors in Weishan Lake	YANG Yuewei, LI Jiuen (7913)
The effect of cropping landscapes on the population dynamics of the cotton bollworm <i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera, Noctuidae) in the northern Xinjiang	LU Zhaozhi, PAN Weilin, ZHANG Xin, et al (7925)
The seasonal variations of nitrogen and phosphorus release and its fluxes from the sediments of the Beili Lake in the Hangzhou West Lake	LIU Jingjing, DONG Chunying, SONG Yingqi, et al (7932)
Optimization of lake model salmo based on real-coded genetic algorithm	GUO Jing, CHEN Qiuwen, ZHANG Xiaoqing, et al (7940)
The influence of climatic environmental factors and fishing pressure on changes of hairtail catches in the northern South China Sea	WANG Yuezhong, SUN Dianrong, CHEN Zuozhi, et al (7948)
Seasonal and spatial distribution of acid volatile sulfide in sediment under different mariculture types in Nansha Bay, China	YAN Tingru, JIAO Haifeng, MAO Yuze, et al (7958)
Review and Monograph	
Research progress on the mechanism of improving plant cold hardiness	XU Chengxiang (7966)
Influences of vegetation on permafrost: a review	CHANG Xiaoli, JIN Huijun, WANG Yongping, et al (7981)
Home-field advantage of litter decomposition and its soil biological driving mechanism: a review	ZHA Tonggang, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (7991)
Research progress on the relationship of pollutants between road-deposited sediments and its washoff	ZHAO Hongtao, LI Xuyong, YIN Chengqing (8001)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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 24 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 24 (December, 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: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