

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 24 期
Vol.30 No.24
2010



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



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 30 卷 第 24 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

三江平原残存湿地斑块特征及其对物种多样性的影响	施建敏, 马克明, 赵景柱, 等 (6683)
叶片碳同位素对城市大气污染的指示作用	赵德华, 安树青 (6691)
土地利用对崇明岛围垦区土壤有机碳库和土壤呼吸的影响	张容娟, 布乃顺, 崔 军, 等 (6698)
缓/控释复合肥料对土壤氮素库的调控作用	董 燕, 王正银 (6707)
北京海淀公园绿地二氧化碳通量	李 霞, 孙 睿, 李 远, 等 (6715)
三峡库区消落带生态环境脆弱性评价	周永娟, 仇江啸, 王 姣, 等 (6726)
应用碳、氮稳定同位素研究稻田多个物种共存的食物网结构和营养级关系	张 丹, 闵庆文, 成升魁, 等 (6734)
基于弹性系数的江苏省能源生态足迹影响因素分析	杨足膺, 赵 媛, 付伍明 (6741)
中国土地利用多功能性动态的区域分析	甄 霖, 魏云洁, 谢高地, 等 (6749)
遮荫处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响	王云贺, 韩忠明, 韩 梅, 等 (6762)
臭氧胁迫对冬小麦光响应能力及 PS II 光能吸收与利用的影响	郑有飞, 赵 泽, 吴荣军, 等 (6771)
地表覆草和覆膜对西北旱地土壤有机碳氮和生物活性的影响	谢驾阳, 王朝辉, 李生秀 (6781)
喀斯特峰丛洼地旱季土壤水分的空间变化及主要影响因子	彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 等 (6787)
极干旱区深埋潜水蒸发量的测定	李红寿, 汪万福, 张国彬, 等 (6798)
灌木林土壤古菌群落结构对地表野火的快速响应	徐赢华, 张 涛, 李 智, 等 (6804)
稻田免耕和稻草还田对土壤腐殖质和微生物活性的影响	区惠平, 何明菊, 黄 景, 等 (6812)
造纸废水灌溉对黄河三角洲盐碱地土壤酶活性的影响	董丽洁, 陆兆华, 贾 琼, 等 (6821)
神农宫扁角菌蚊幼虫种群分布及其与环境因子的相关性	顾永征, 李学珍, 牛长缨 (6828)
三亚珊瑚礁水域纤毛虫种类组成和数量分布及与环境因子的关系	谭烨辉, 黄良民, 黄小平, 等 (6835)
淞江鲈在中国地理分布的历史变迁及其原因	王金秋, 成 功 (6845)
黄海中南部小黄鱼生物学特征的变化	张国政, 李显森, 金显仕, 等 (6854)
甲基溴消毒对番茄温室土壤食物网的抑制	陈云峰, 曹志平 (6862)
离子树脂法测定森林穿透雨氮素湿沉降通量——以千烟洲人工针叶林为例	盛文萍, 于贵瑞, 方华军, 等 (6872)
乡土植物芦苇对外来入侵植物加拿大一枝黄花的抑制作用	李愈哲, 尹 昕, 魏 维, 等 (6881)
遂渝铁路边坡草本植物多样性季节动态和空间分布特征	王 倩, 艾应伟, 裴 娟, 等 (6892)
古尔班通古特沙漠原生梭梭树干液流及耗水量	孙鹏飞, 周宏飞, 李 彦, 等 (6901)
碟果虫实种子萌发对策及生态适应性	刘有军, 刘世增, 纪永福, 等 (6910)
原始兴安落叶松林生长季净生态系统 CO ₂ 交换及其光响应特征	周丽艳, 贾丙瑞, 曾 伟, 等 (6919)
五种红树植物通气组织对人工非潮汐生境的响应	伍卡兰, 彭逸生, 郑康振, 等 (6927)
亚高寒草甸不同生境植物群落物种多度分布格局的拟合	刘梦雪, 刘佳佳, 杜晓光, 等 (6935)
内蒙古荒漠草原地表反照率变化特征	张 果, 周广胜, 阳伏林 (6943)
中国沙棘克隆生长对灌水强度的响应	李甜江, 李根前, 徐德兵, 等 (6952)
增温与放牧对矮蒿草甸 4 种植物气孔密度和气孔长度的影响	张立荣, 牛海山, 汪诗平, 等 (6961)
基于 ORYZA2000 模型的北京地区早稻适宜播种期分析	薛昌颖, 杨晓光, 陈怀亮, 等 (6970)
专论与综述	
区域生态安全格局研究进展	刘 洋, 蒙古军, 朱利凯 (6980)
植物功能性状与湿地生态系统土壤碳汇功能	王 平, 盛连喜, 燕 红, 等 (6990)
农田水氮关系及其协同管理	王小彬, 代 快, 赵全胜, 等 (7001)
虫害诱导挥发物的生态调控功能	王国昌, 孙晓玲, 董文霞, 等 (7016)
土壤微生物资源管理、应用技术与学科展望	林先贵, 陈瑞蕊, 胡君利 (7029)
问题讨论	
从演化的角度评价北京市经济系统可持续发展趋势	黄茹莉, 徐中民 (7038)
基于植物多样性特征的武汉市城市湖泊湿地植被分类保护和恢复	郑忠明, 宋广莹, 周志翔, 等 (7045)
濒危兰科植物再引入技术及其应用	陈宝玲, 宋希强, 余文刚, 等 (7055)
研究简报	
实验条件下华北落叶松和白杆苗期生长策略的差异比较	张芸香, 李海波, 郭晋平 (7064)
基于源-库互反馈的温室青椒坐果时空动态模拟	马韞韬, 朱晋宇, 胡包钢, 等 (7072)
西双版纳小磨公路及其周边道路对蛇类活动的影响	孙 戈, 张 立 (7079)
温度变化对藻类光合电子传递与光合放氧关系的影响	张 曼, 曾 波, 张 怡, 等 (7087)
黄土区六种植物凋落物与不同形态氮素对土壤微生物量碳氮含量的影响	王春阳, 周建斌, 董燕婕, 等 (7092)
食细菌线虫 <i>Caenorhabditis elegans</i> 的取食偏好性	肖海峰, 焦加国, 胡 锋, 等 (7101)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 424 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 48 * 2010-12

碟果虫实种子萌发对策及生态适应性

刘有军*, 刘世增, 纪永福, 马全林, 张德魁, 张锦春, 魏林源

(甘肃省荒漠化与风沙灾害重点实验室 甘肃省治沙研究所, 兰州 730000)

摘要:以荒漠地区1年生植物碟果虫实为材料,通过温度、光照、GA3和沙埋对其种子萌发和幼苗出土影响的研究,旨在探索其种子萌发对策及生态适应性。结果表明:(1)碟果虫实种子在0h光照的条件下,萌发的最佳恒温是20℃,萌发率为 $(18.00 \pm 1.41)\%$,最佳的变温是15℃/25℃,萌发率为 $(28.00 \pm 2.31)\%$ 。(2)除了5℃/25℃,碟果虫实在变温条件下的萌发率极显著高于恒温下的萌发率($P < 0.01$)。(3)碟果虫实种子萌发时属于需暗型,而且存在休眠现象。(4)在野外沙埋的条件下,碟果虫实的出苗率随着沙埋深度的增加极显著下降($P < 0.05$),适宜的出苗深度为0.00—2.00cm,最佳的出苗深度是0.50cm,出苗率为 $(16.80 \pm 2.85)\%$ 。(5)碟果虫实种子萌发具有迅速萌发和推迟萌发两种对策;根据种子萌发率和种子活力可以推断,碟果虫实具有持久性土壤种子库的特点。结合碟果虫实萌发时的自然生存环境和本研究的结果,显示出其种子萌发对策与栖息地的生境具有高度的生态适应性。

关键词:碟果虫实;光照;温度;沙埋;GA3;种子萌发;休眠

Seed Germinative strategy and ecological adaptability of *Corispermum patelliforme*

LIU Youjun*, LIU Shizeng, JI Yongfu, MA Quanlin, ZHANG Dekui, ZHANG Jinchun, WEI Linyuan

Gansu Key Lab of Desertification and Wind-sand Disaster & Gansu Desert Research Institute, Lanzhou 730000, Gansu, China

Abstract: *Corispermum patelliforme*, an annual plant species found in arid desert areas of the North China and Mongolia, is an important economic species used for wind-breaking, sand fixation, pasture and fuel purposes. Seed germination and seedling emergence are the critical stages of life cycle for the species. The study was conducted at Minqin National Studies Station for Steppe Ecosystem in Gansu Province of China. In order to examine seed germinative strategy and ecological adaptation of *Corispermum patelliforme*, experiments of the effects of temperature, GA3 and light on seed germination in the laboratory conditions were conducted. The effects of sand burial depths and GA3 on seedling emergence were simultaneously studied in the field.

Mature seeds of *C. patelliforme* were collected from the dry plants of natural populations in the desert area of Minqin Oasis Basin in October 2005. The seeds were then stored in a shaded and ventilated room at temperature of 13—30℃ before use in May 2006. To reduce the effects of other factors on seed germination and seedling emergence, the seeds for germination and sand-burying experiments were treated by using soil sieve wiping the big other seeds, eggs and branches off and treated by fungicide Phygon before the germination process. Experiments were carried out with three groups of 50 seeds each, on Whatman No. 1 filter paper, in 90 mm diameter Petri dishes. Germination was checked every 24h and seedlings were removed.

Light treatments included 0h light, 12h light and 24h light. Temperature treatments included constant and changing temperatures, including 15℃, 20℃, 25℃ and 30℃ of constant temperatures and 15/25℃, 10/30℃, 15/35℃ and 5/25℃ of changing temperatures. A comparative experiment was carried out for the changing temperatures after seeds were

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30960062);国家科技支撑资助项目(2007BAD46B02);甘肃省自然科学基金资助项目(3ZS041-A25-015)

收稿日期:2009-10-27; **修订日期:**2010-09-25

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

soaked by H_2O and GA3 for 2 hours. The sand-burying experiment was conducted in the field at sand burial depths of 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, and 5.0 cm. A comparative experiment of sand-burying was also conducted under the same sand burial depths after seeds were soaked by H_2O and GA3 for 2 hours.

The results showed that: (1) the optimum constant temperature for germination was $20^{\circ}C$ for the seeds which had been stored in dark under laboratory conditions, and the germination percentage reached $(18.00 \pm 1.41)\%$. The optimum changing temperature for seed germination was $15^{\circ}C/25^{\circ}C$ in dark and the germination percentage was $(28.00 \pm 2.31)\%$; (2) the seed germination rate in changing temperatures was significantly higher than that in constant temperatures in dark, except that under $5^{\circ}C/25^{\circ}C$ ($P < 0.01$); (3) *C. patelliforme* seeds were dark-demanders for germination and have dormancy characteristic; (4) the seedling emergence dramatically decreased with the increase of sand burial depths in the field. The suitable depth for seedling emergence was 0.00—2.00 cm and the optimum depth was 0.50 cm with the highest seedling emergence of $(16.80 \pm 2.85)\%$; and (5) *C. patelliforme* had two distinct germinative strategies, i. e., quick germination and dormancy. The results implied that, based on the germination characteristics and seed vigor, *C. patelliforme* had a permanent soil bank. The results showed that germinative strategies of *C. patelliforme* were highly adaptive to its habitats.

Key Words: *Corispermum patelliforme*; light; temperature; sand burial depth; GA3; seed germination; dormancy

碟果虫实 (*Corispermum. patelliforme*) 是荒漠地区 1 年生植物, 主要生长在松散的流动沙丘或干燥的丘间低地, 隶属于藜科 (*Chenopodiaceae*)、虫实属 (*Corispermum.*), 植株高度 10—50 cm, 茎直立、果实近圆形, 种子碟形。主要分布在内蒙古的伊克昭盟和巴彦淖尔, 宁夏的灵武和中卫, 甘肃河西走廊的民勤, 青海的柴达木盆地, 蒙古也有^[1]; 具有生活史短暂, 生长速度快, 对沙漠里不可预测的降水具有很高的利用率的特点; 种子可以作为精饲料, 青鲜时可以为骆驼和羊食用, 适口性很好, 这对荒漠地区畜牧业的发展具有重要意义。

种子萌发对策对荒漠地区植物种群的更新以及植被恢复等都具有重要意义^[2-5], 国外对荒漠地区 1 年生植物种子萌发对策的研究较多, 主要研究了那部分能够在生长季萌发的种子以及影响种子萌发的特定环境因素, Evenari 和 Loria 等认为荒漠植物种子萌发所依赖的最重要的环境因素是降雨的分布和雨量^[6-7]; Roberts 认为温度可以打破种子休眠, 改变种子休眠形式, 影响无休眠种子的萌发速度^[8]; Pons 和 Bewley 认为荒漠地区, 有些植物种子的萌发需要光的照射, 有些则不需要, 这由植物的遗传性和环境共同决定, 光对种子萌发的影响主要是作为一种信号刺激, 打破种子的休眠^[9-10]; Koller、Heydecker 和 Osborne 等认为在自然生境中, 暴露在地表或埋在浅表层的种子由于经受每晚露水以及小量雨水的反复湿润, 有可能使种子活化或通过细胞 DNA 修补机制, 而使其种子萌发能力有所提高^[11-13]。国内有关种子萌发对策研究也较多, 李良、王刚根据理论生态学家的研究成果^[14-21], 应用最优化理论和进化稳定对策对植物种子的萌发/休眠进行了解释, 他们认为当环境条件随机波动, 种群受非密度依赖因素调节时, 采用最优化理论的两头下注对策; 当环境条件稳定时, 采用进化稳定对策; 而且以上各种环境条件影响种子萌发行为的方式可以表述为若种子立即萌发会遭遇不良环境使适合度下降, 那么就会推迟萌发而出现休眠, 形成土壤种子库。萌发率应使种群适合度最优或具有进化稳定性。但对荒漠地区的 1 年生植物种子萌发对策研究非常少。影响植物种子萌发的环境因素主要有光照、温度、降雨 (与土壤含水量相关)、种子在土壤中的埋深等^[22-25]; 尽管碟果虫实作为荒漠地区一种重要的 1 年生植物, 对于荒漠地区生物多样性的维护, 植物的防风固沙和荒漠植物生活周期的研究具有重要的生态意义, 但对其种子萌发和出苗这一关键阶段的研究至今尚未报道。因此, 本文以生长在民勤地区的碟果虫实为材料, 通过温度、光照和沙埋深度对碟果虫实种子萌发和出苗影响的研究, 旨在探索碟果虫实种子萌发对策和生态适应性, 为充实虫实属植物对荒漠环境的适应机制及沙区植被恢复提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

2007 年 10 月从民勤沙生植物园附近 ($102^{\circ}58'E$ 、 $38^{\circ}34'N$) 的丘间低地采集完全成熟的碟果虫实种子, 挑

选生长均匀一致、饱满的种子;种子分离后,在实验室中自然风干并装于纸袋中储藏于暗处,试验前用土壤筛移去大的卵石、种子和残枝。

1.2 种子活力和重量的测定

实验前,采用四唑染色法对种子生活力进行了测定;随机地抽取 50 粒种子为 1 组,用万分之一天平进行称量,5 个重复,然后求出种子的千粒重。

1.3 温度对碟果虫实种子萌发的影响

实验于 2008 年 3 月在人工培养箱中光照 0h(即连续黑暗)中进行,相对湿度控制在 75%—80%,温度设置为恒温(15、20、25、30℃)和变温(15/25℃、10/30℃、15/35℃、5/25℃),变温的时间设置为 10h 夜/14h 昼;每个处理 50 粒种子,3 次重复;培养周期 30d,将种子均匀地排放在直径 9cm 铺有双层滤纸的培养皿中培养,胚根伸出即视为萌发,实验结束时,计算种子萌发数。

1.4 光照对碟果虫实种子萌发的影响

在本实验中,实验的温度设置和其他的操作与种子在不同温度下的萌发完全相同,不同之处是在本实验中恒温下设置光照为 0h(即连续黑暗)和 24h(即连续光照)的对比试验,在变温下设置光照为 0h 和 14h(14h 光照/10h 黑暗交替)的对比实验,光照强度 15000lx;在光照 0h 的条件下,实验结束时,计算种子萌发数;在光照 14h 和光照 24h 的条件下,每天检查并移走已萌发的种子,萌发的标志为胚根伸出,连续 5d 不萌发,视为实验结束,试验的持续时间 30d。

1.5 沙埋深度对碟果虫实种子出苗的影响

沙埋实验于 2008 年的 5 月份在甘肃省治沙研究所的民勤沙生植物园进行,均匀地将种子散播于上口直径 15.00cm、下口直径 10.00cm、高 10.00cm 的营养钵中,设置 0.50、1.00、1.50、2.00、3.00、5.00cm 6 个沙埋深度,每个深度 5 个重复,每个重复 50 粒种子;按 Maun^[26]的方法进行沙埋,营养钵排列在长方形的土坑内,周围用沙土埋平,营养钵内外土面保持一致,每天浇水以保持发芽湿度。每 3d 观测 1 次出苗数。试验持续时间 2 个月。在试验期间的地表温度 15—35℃。

1.6 在连续黑暗的变温条件下 GA3 对碟果虫实种子萌发的影响

实验于 2008 年 3 月在人工培养箱中光照 0h(即连续黑暗)中进行,相对湿度控制在 75%—80%,温度设置为 15/25℃、10/30℃ 和 15/35℃,每个处理 50 粒种子,3 次重复;培养周期 30d,将种子均匀地排放在直径 9cm 铺有双层滤纸的培养皿中培养,胚根伸出即视为萌发,实验结束时,计算种子萌发数。本实验为对比试验,试验中采用蒸馏水和 1.0g/LGA3 作为种子湿润剂进行对比试验。

1.7 种子 GA3 处理后沙埋深度对碟果虫实种子出苗的影响

试验前分别将碟果虫实种子用蒸馏水和 1.0g/LGA3 处理 4h,然后将两种不同处理的种子分别进行沙埋对比试验。该实验于 2008 年的 5 月份在甘肃省治沙研究所的民勤沙生植物园进行,均匀地将种子散播于上口直径 15.00cm、下口直径 10.00cm、高 10.00cm 的营养钵中,设置 0.50、1.00、1.50、2.00、3.00、5.00cm 6 个沙埋深度,每个深度 5 个重复,每个重复 50 粒种子;按 maun 的方法进行沙埋,营养钵排列在长方形的土坑内,周围用沙土埋平,营养钵内外土面保持一致,每天浇水以保持发芽湿度。每 3d 观测 1 次出苗数。试验持续时间 2 个月。在试验期间的地表温度 15—35℃。

1.8 数据分析

本文观测和统计的指标包括碟果虫实种子在不同温度和光照条件下的萌发率以及沙埋条件下的出苗率,采用了单因素方差分析(One-way ANOVA)的方法分析了温度、光照和 GA3 和沙埋 4 种因素对种子萌发和出苗的影响,在 95% 的显著水平上,采用新复极差法比较了不同温度处理间、光照处理间、种子蒸馏水和 GA3 处理间的种子萌发率以及不同沙埋深度之间种子出苗率的差异以及种子沙埋前进行蒸馏水和 GA3 在不同沙埋深度条件下出苗率的差异;在数据分析之前,对出苗率和萌发率进行了反正弦转换,使其服从正态分布,数据分析采用 DPS 3.0,作图采用 Microsoft Excel 2003。

2 结果与分析

2.1 种子活力、重量和形状

通过测定,种子活力(100 ± 0.00)%;千粒重是(1.72 ± 0.02)g;种子的形状为碟形。

2.2 恒温对碟果虫实种子萌发的影响

在光照 0h 的恒温条件下,碟果虫实种子在不同温度下种子的萌发率差异极显著($P < 0.01$),而且随着温度的升高先升高后下降(图 1),在 20℃ 达到最大值(18.00 ± 1.41)%,在 20℃ 时的萌发率与其他温度相比,差异极明显,而在其他的温度下萌发率均低于 10.00%,而且它们之间相差不显著;所以,在 0h 光照的恒温条件下,碟果虫实种子萌发的最佳萌发温度是 20℃。

2.3 变温对碟果虫实种子萌发的影响

在光照 0h 的变温条件下,碟果虫实种子的萌发率随着温度的变化发生极显著变化($P < 0.01$),在 5/25℃ 种子的萌发率与其他 3 个温度下的萌发率差异极显著,低于其它 3 个温度下种子的萌发率,其它 3 个温度下的萌发率没有差异,其中,在 15/25℃ 萌发率最大,其值为(28.00 ± 2.31)%,其它 2 个温度下的萌发率都大于 20.00%,而在 5/25℃ 萌发率小于 10.00%;所以,在光照 0h 的变温条件下,碟果虫实种子适宜的萌发温度是 15/25℃。

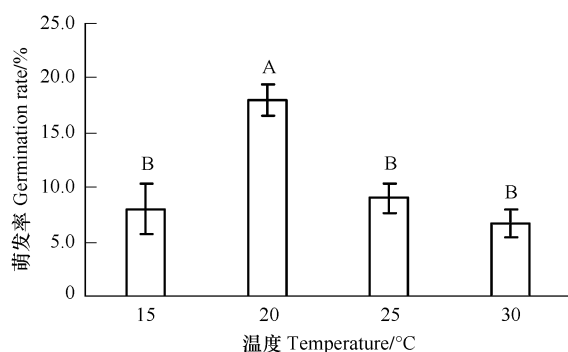


图 1 在恒温条件下种子的萌发

Fig. 1 Seed germination in constant temperatures

图中不同大写字母表示各处理间差异极显著($P < 0.01$),相同字母表示各处理间差异不显著($P > 0.05$)

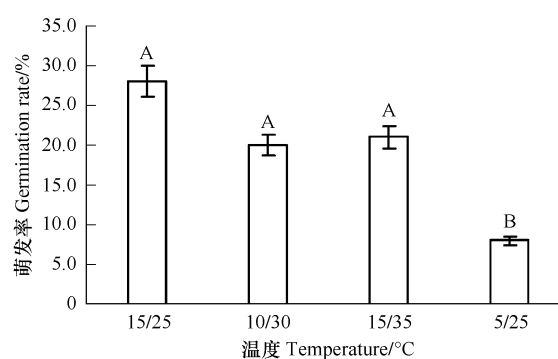


图 2 在变温条件下种子的萌发

Fig. 2 Seed germination in alternative temperatures

图中不同大写字母表示各处理间差异极显著($P < 0.01$),相同字母表示各处理间差异不显著($P > 0.05$)

2.4 光照条件下种子的萌发

在恒温下,碟果虫实在光照 0h 条件下的萌发率都明显的高于在光照 24h 条件下相应温度的萌发率($P < 0.05$),在变温条件下,碟果虫实在光照 0h 条件下的萌发率都明显的高于在光照 14h 条件下的相应温度的萌发率($P < 0.05$);同时在光照 24h 的恒温条件下,碟果虫实的种子萌发率小于 1.50%,在光照 14h 的变温条件下,在 15/25℃ 时,萌发率达到 10.67%,在 10/30℃,在 10/30℃ 和 5/25℃ 时不萌发(表 1);在光照 0h 的条件下,除了 5/25℃ 外,碟果虫实在变温条件下的萌发率高于恒温条件下的萌发率。

2.5 种子在不同沙埋深度下的出苗率

在沙埋条件下,碟果虫实在 3.00—5.00cm 的沙埋深度范围内没有出苗现象,可见,碟果虫实的出苗

表 1 不同温度下光照对碟果虫实种子萌发的影响(平均值 ± SE)

Table 1 Effect of light on germination rate of *C. patelliforme* (mean ± SE)

温度 Temperature/°C	0h/% 0h light	24h/% 24h light	14h/% 14h light
15	8.00 ± 2.31 *	0.00 ± 0.00	—
20	18.00 ± 1.41 *	1.50 ± 0.50	—
25	9.00 ± 1.29 *	1.00 ± 1.00	—
30	6.67 ± 1.33 *	1.33 ± 1.33	—
15/25	28.00 ± 2.31 *	—	10.67 ± 1.33
10/30	20.00 ± 2.29 *	—	0.00 ± 0.00
15/35	21.03 ± 1.33 *	—	9.33 ± 1.33
5/25	8.00 ± 2.31 *	—	0.00 ± 0.00

* 表示在相同温度下,光照 0h 的萌发率与 24h 或与 14h 萌发率在 $P = 0.05$ 水平上差异显著

范围是 0.50—2.00cm,而且随着沙埋深度的增加极显著下降($P < 0.01$);在 1.00—2.00cm 范围内,出苗率很低,小于 5.00%;在 0.50—1.00cm,出苗率较高,大于 10.00%。而且 0.5cm 与 1.00cm 深度的出苗率没有差异,但是,在 0.50cm 深度的出苗率大于 1.00cm 深度的出苗率,达到 $(16.80 \pm 2.85)\%$,所以,碟果虫实的最佳沙埋深度是 0.50cm(图 3)。

2.6 连续黑暗的变温条件下 GA3 对种子萌发的影响

在连续黑暗的变温条件下,当种子在萌发过程中使用蒸馏水作为湿润剂时,种子的萌发率小于 30%,而使用 1.0g/L 的 GA3 作为湿润剂时,种子的萌发率显著增加,达到 100%(表 2);可见,在碟果虫实种子萌发过程中,使用 1.0g/LGA3 作为湿润剂可以显著地提高其种子的萌发率。在荒漠区的 1 年生植物在桌子萌发时都或多或少的存在休眠现象,碟果虫实也不例外。主要原因在于碟果虫实种子萌发的最佳条件是连续黑暗的变温(表 1),在此条件下种子萌发率较低;种子活力实验证明进行试验的种子是全部具有生命力,这说明碟果虫实的种子萌发存在休眠现象;通过该实验证明:在碟果虫实种子站萌发过程中,以 1.0g/L 的 GA3 作为湿润剂,可以有效打破其种子的休眠。

2.7 种子 GA3 处理后沙埋深度碟果虫实种子出苗的影响

由图 4 可知:当种子进行蒸馏水处理后,种子的出苗率随着沙埋深度的增加而显著下降,最佳的沙埋深度是 0.5cm,能够出苗的范围 0.5—2.0cm;当种子进行 1.0g/LGA3 处理后,种子的出苗率随着沙埋深度的增加先升高后下降,最佳的沙埋深度是 0.1cm,能够出苗的范围 0.5—2.0cm;同时,对种子进行 GA3 处理后,在每一个沙埋深度下的出苗率显著高于种子进行蒸馏水处理,出苗率由 $(16.80 \pm 2.85)\%$ 增加到 $(44.80 \pm 4.05)\%$ 之间,沙埋深度不同,增加量不同,在 1.0—1.5cm 的沙埋深度范围内,增加量较大,可见对种子进行 GA3 处理后,碟果虫实出苗率增加的程度与沙埋深度有关,最佳深度为 1.0cm。

3 讨论

3.1 适宜环境条件下的种子萌发对策

由图 1、图 2、图 3 和表 1 可以看出:碟果虫实种子即使在最适宜的条件下,种子的萌发率超不过 28.00%,出苗率超不过 16.80%,尽管本文没有涉及到降水,但是沙埋实验是在保证水分的条件下进行的,可见,碟果虫实种子萌发率很低;种子活力测定的结果表明:种子的活力为 100.00%。种子通过 GA3 处理,萌发率和出苗率都显著提高(表 2,图 4)所以,碟果虫实种子萌发存在休眠现象,而且对种子进行 GA3 处理是打破其种子

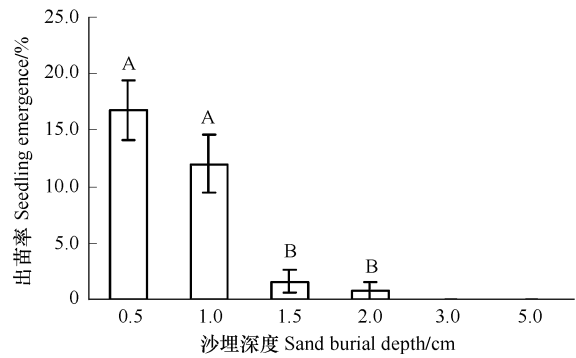


图 3 沙埋深度对种子出苗率的影响

Fig. 3 Effect of sand burial depths on seedling emergence

图中不同大写字母表示各处理间差异极显著($P < 0.01$),相同字母表示各处理间差异不显著($P > 0.05$)

表 2 连续黑暗的变温条件下 GA3 对种子萌发的影响(平均值 $\pm$ SE)

Table 2 Effects of GA3 on seed germination under alternative temperature in continuous dark

温度 Temperature/ $^{\circ}\text{C}$	种子萌发率 germination rate/%	
	蒸馏水 Distilled water	赤霉素 GA3 Gibberellin-3
15/25	28.00 ± 2.31	$100.00 \pm 0.00^{**}$
10/30	20.00 ± 2.31	$100.00 \pm 0.00^{**}$
15/35	21.33 ± 1.33	$100.00 \pm 0.00^{**}$

* * 表示在相同温度下种子进行蒸馏水与 GA3 处理后萌发率在 0.01 水平上差异显著

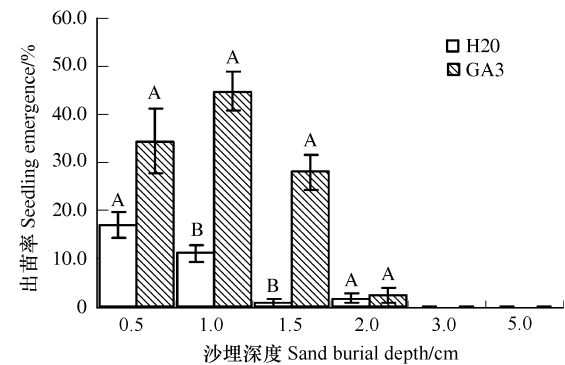


图 4 种子 GA3 处理后沙埋深度对碟果虫实种子出苗率的影响

Fig. 4 Effect of sand burial depths on seedling emergence after seed treated by GA3

图中不同大写字母表示各处理间差异极显著($P < 0.01$),相同字母表示各处理间差异不显著($P > 0.05$)

休眠的一种有效的途径,但是具体的休眠机制有待进一步研究。Cohen^[27]认为,种子内在的休眠机制是抵御环境不稳定性的一种有益策略,即使在生长季节适宜的环境条件下,碟果虫实也只有部分种子萌发,大部分种子在土壤中储藏很长时间慢慢萌发,因为荒漠地区环境具有不可预测性,不能保证有足够的降雨使植物完成生活史,因此,碟果虫实种子休眠机制可以有效地降低种子同时萌发后而幼苗由于缺乏连续降水而导致的大量死亡的危险,有利于种群的繁衍和继续。

3.2 温度、光照和沙埋对种子萌发的影响

温度强烈影响种子的发芽率和萌发速率,适宜的温度促进种子的萌发和幼苗的生长。植物种不同,种子最适萌发温度不同^[28],即使同一种植物,由于产地不同而最适萌发温度也不同。产于高纬度的马尾松(*Pinus massoniana*)种子在较低的温度下(19—23℃)有较高的发芽率,而产于低纬度的马尾松在较高温度(28—30℃)下发芽率较高^[29]。同为梭梭(*Halaxylon ammodendron*),采收于内蒙古吉兰泰地区的种子最适萌发温度为25℃,甚至在60℃条件下发芽率高达64.2%^[30],而采收于中国科学院吐鲁番沙漠植物园的种子最适萌发温度为10℃^[31]。

生长在民勤地区流动沙丘,半流动沙丘和干燥的丘间低地的1年生植物碟果虫实由于长期忍受高温,强光照和沙埋危害,在种子萌发方面形成了一些自身的特点。如表1所示,种子萌发的恒定温度范围较窄,为15—30℃;在该范围内,种子萌发率随着温度的升高先增加后下降;泡泡刺的种子萌发也是如此,先随着温度的上升而增加,在25℃时达到最大值,高于25℃后,萌发率逐渐降低^[32]。这一点与碟果虫实生物学特性相一致;通过观测,在民勤地区碟果虫实于每年的5月份开始萌发出苗,此时民勤地区多年的地表平均温度为22℃,接近20℃。在每年的11—4月份地表平均温度低于10℃,不利于种子的萌发,种子以土壤种子库的形式越冬,有利于种群的发展;在5—10月份,地表温度在15—30℃,民勤地区的降水主要集中在7、8、9月份,有利于种子的萌发和出苗,说明该阶段是碟果虫实种子萌发,幼苗生长和开花结果的关键时期,而此时的地表土壤温度将会影响碟果虫实种子萌发的数量,进而对种群动态格局起到调节作用。

在自然条件下,昼夜存在变温,而且变温更有利于某些种子的萌发。例如,无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*)、虎尾草(*Chloris virgata*)等种子在变温条件下萌发更好^[33-35]。这一点与本文得出的结论一致;碟果虫实在光照0h的变温条件下,除了在5/25℃外,其他3个温度下萌发率都高于恒温下的萌发率(表1)。关于变温能促进种子萌发的原因,一方面认为变温能促进酶的活性,有利于促进储藏物质转化,促进种皮发生机械变化而利于透气和透水,从而促进萌发^[28]。另一方面,在荒漠生态系统中,土壤表层温度变化较为剧烈,对于荒漠地区1年生植物来说,由于种子较小,能够萌发出苗的种子主要分布于0—5cm的土壤表层;种子如果要想在瞬息万变的自然生境中萌发,最容易满足的温度条件是变温,不是恒温;表层土壤温度受外界环境条件的变化的影响较为敏感,如图3、图4所示,碟果虫实种子萌发出苗的适宜沙埋深度为0—2cm的沙土表层,容易满足碟果虫实种子萌发对变温的要求;而且在变温条件下更接近自然条件下的温度,所以更利于碟果虫实种子的萌发。由此可见,碟果虫实种子萌发和出苗对温度和变温的响应,也可能是碟果虫实定居对沙土温度变化适应的一个方面。

由于植物所处的生境和自身生物学特性的差异,不同植物种子萌发对光的要求不同,在干旱的荒漠环境中,种子萌发受光照调节的现象非常普遍,大致可以归结为3种类型^[36]:(1)种子在黑暗和光照条件下都能很好的萌发;例如,画眉草属植物 *Eragrostis poaeoides*。(2)种子萌发需要严格的光照;蒿属植物 *Artimisia monosperma*。(3)种子萌发随着光的减少而增加^[37-38],例如,蒺藜科的 *Calligonum comosum*。碟果虫实种子是一种需暗型种子(表1),这种种子萌发对光的响应可能是适应沙埋生境的一种方式,因为在民勤地区的流动沙丘,半流动沙丘和丘间低地,种子在11月份散播到翌年4月份种子萌发之前经常遭受大风的袭击,而受沙埋的危害,影响种子萌发时的光照条件,所以,在长期的适应沙埋过程中,碟果虫实种子形成了需暗的萌发特性。

在沙漠生态系统中,沙埋造成种子在空间上重新分布,影响种子周围的水、热、光、气环境。荒漠植物的种

子萌发对水分的要求不是很高,但是浅沙埋对光和温度的调控作用可能影响种子的萌发^[39]。碟果虫实种子萌发对光照的响应就可以证实了沙埋对光的调节;在荒漠地区,地表温度受外界环境条件变化的影响较大,随着沙埋深度的增加,这种影响作用越来越弱,这足以证实沙埋对土壤温度的调节作用,因此,沙埋主要通过影响荒漠植物种子萌发的温度和光照来间接地影响荒漠植物的出苗。一般情况下,对于需暗种子来说,发芽率和出苗率随着沙埋深度的增加先增加后降低^[27],可是对于碟果虫实种子来说,却是随着沙埋深度的增加而降低(图3),而且适宜的沙埋深度0.5—2.0cm,最佳的沙埋深度为0.5cm;这可能受以下四个原因影响,第一,碟果虫实种子萌发较适宜的温度范围较窄,而且变温更利于其种子的萌发,土壤温度的变化是随着土壤深度的增加越来越弱,越靠近地面温度变化越剧烈,越容易满足其种子萌发的适宜的变温范围;第二,越靠近地面种子萌发后越容易出苗,随着沙埋深度的增加,种子出苗的能力逐步下降;第三,尽管荒漠区1年生植物种子萌发对水分的要求不高,但是对水分的需求比较敏感,在沙土的表层即使连续干旱,表层土壤在每天早晨经常受到露水湿润,随着沙埋深度的增加这种作用减弱。第四,碟果虫实的千粒重较小,仅为 $(1.72 \pm 0.02) \text{g}$,不可能从较深的土层萌发出苗。碟果虫实种子出苗对沙埋的响应是对沙漠生境中温度、光照、水分和风的综合适宜。

3.3 种子萌发策略及其对环境的适应性

荒漠地区1年生植物种子萌发策略是对不确定环境的一种重要的适应机制,从本文的研究结果来看,即使在保证水分的适宜沙埋深度,温度和光照条件下,大部分碟果虫实种子仍然处于休眠状态。关于1年生植物种子萌发对不可预测的沙漠生态环境的适应机制,目前研究认为有两种形式,其一,某些1年生植物通过迅速萌发的对策有效地提高植物在恶劣环境的竞争优势;其二,某些1年生植物通过推迟萌发(包括种子休眠机制)来应付环境的不稳定性^[40],一般情况下,1年生植物推迟萌发的方式有两种:一种是通过整个生长季节里种子萌发时间的变化来提高幼苗在更适宜的环境条件下出现和生存的机会,从而优化植物对环境的长期适应性^[41];另一种是推迟萌发时间超过一个生长季,使土壤种子库中的种子具有一定高度年龄结构^[42]。

从碟果虫实种子萌发的结果来看,碟果虫实种子无论在光照0h恒温条件下,还是在光照0h的变温条件下的萌发率,或者是在野外沙埋实验条件下出苗率都很低,而且种子的活力为100%,这说明即使在适宜的环境条件下,碟果虫实种子只有小部分萌发,大部分种子处于休眠状态;在野外沙埋实验过程中发现,在播种后的20d内碟果虫实的出苗率就能达到最大值,可见其种子萌发迅速,所以,碟果虫实种子的萌发具有迅速萌发和推迟萌发两种萌发策略;没有萌发的具有活力的种子以土壤种子库的形式存在于土壤中,形成持久性土壤种子库,每次在适宜的条件下,只有小部分种子萌发,在土壤种子库中形成了复杂的种子年龄结构。从碟果虫实种子萌发结果来看,其萌发策略以后一种推迟萌发的类型为主。Grime^[43]对英国谢菲尔德(Sheffield)地区多种植物的生存对策进行比较研究,发现小粒、近圆球形的种子容易形成持久性土壤种子库;碟果虫实的研究表明:种子的千粒重为1.72g,形状为蝶形;画眉草种子的千粒重为0.0463g,形状为近圆球形,形成持久性土壤种子库。而碟果虫实与画眉草相比,为大粒种子,形状非球形,这一点与Grime的研究结论不符。至于原因有待进一步研究。荒漠地区的特点是降雨具有不可预测性,而1年生植物碟果虫实群落的生活史过程中强烈依赖降水,碟果虫实对不可预测的降水具有很高的利用率,为典型的夏雨性1年生植物,但是也只是很少的一部分种子萌发,完成生活史;所以,即使在极度干旱的条件下,也能保证碟果虫实种群的持续,只是在极端干旱的年份,出苗率更低而已;这将对维持群落的多样性和生态系统稳定性方面发挥重要作用。

References:

- [1] Liu Y X. Flora of Desert from China. Beijing: Science Press, 1985;1:407-409.
- [2] Liu Z M, Jiang D M, Gao H Y, Ch X L. Relationships between plant life history strategies and disturbance. Chinese Journal of Applied Ecology. 2003,14(3):418-422.
- [3] Tevis L Jr. Germination and growth ephemerals induced by sprinkling a sandy desert. Ecology, 1958,39: 681-688.
- [4] Xing F, Guo J X, Wang Y H. Seed germination characteristics and regeneration mechanism of *Stellera chamaejasme* population. Chinese Journal of

- Applied Ecology, 2003, 14(11): 1851-1854.
- [5] Zeng Y J, Wang Y R, Sha R, Tian X M. Response of seed germination of three xeromorphic shrubs to drought stress. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 18(3): 983-956.
- [6] Evenari M, Gutterman Y. Observation on the secondary succession of three plant communities in the Negev desert, Israel. I. *Atramisietum herbae albae* // Jacques R, ed. Hommage au Prof. P. Chouard. Etudes de Biologie Vegetale. Paris: CNRS Gif sur Yvette, 1976: 57-86.
- [7] Loria M, Noy-Meir I. Dynamics of some annual populations in the losses plain. Israel Journal of Botany. 1979/1980, 28: 211-225.
- [8] Roberts E H. Temperature and seed germination // Long S P, Woodward F I, eds. Plant and Temperature Symposia of the Society of Experimental Biology. Cambridge: Company of Biologists, 1988, 109-132.
- [9] Pons T L. Seed Responses to Light. Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities. 2nd Edition. New York: CABI, 2000: 237-260.
- [10] Bewley J D, Black M. Physiology and Biochemistry of Seeds. Berlin: Springer, 1982, 2: 258-3374.
- [11] Koller D. Germination-regulating mechanisms in desert seeds III. *Calligonum comosum* L. Ecology, 1956, 37: 430-433.
- [12] Heydecker W, Higgins J, Gulliver R L. Accelerated germination by osmotic seed treatment. Nature, 1973, 246: 42-44.
- [13] Osborne D J, Sharon R, Ben-Ishai R. DNA integrity and repair. Israel Journal of Botany, 1980/1981, 29: 259-272.
- [14] Ellner S. Germination dimorphisms and parent offspring conflict in seed germination. Journal of Theoretical Biology, 1986, 123(2): 173-185.
- [15] Klinkhamer P G L, de Jong T J, Metz J A J, Val J. Life history tactics of annual organisms: other joint effect of dispersal and delayed germination. Theoretical Population Biology, 1987, 32(1): 127-156.
- [16] Cohen D. Optimizing reproduction in a randomly varying environment. Journal of Theoretical Biology, 1966, 123(1): 119-129.
- [17] Ellner S. ESS germination strategies in a randomly varying environment I. Logistic-type model. Theoretical Population Biology, 1985, 28(1): 50-79.
- [18] Ellner S. ESS germination strategies in a randomly varying environment II. reciprocal yield law model. Theoretical Population Biology, 1985, 28(1): 80-115.
- [19] Nilsson P, Fagerström T, Tuomi J, Åström M. Does dormancy benefit the mother plant by reducing sib competition, Evolutionary Ecology, 1994, 8: 422-430.
- [20] Ellner S. Competition and dormancy: A reanalysis and review. American Naturalist, 1987, 130: 798-803.
- [21] Kobayashi Y, Yamamura N. Evolution of Seed Dormancy by Sib Competition: Effect of dispersal and inbreeding. Journal of Theoretical Biology, 2000, 202(1): 11-24.
- [22] Grime J P, Mason G, Curtis A V, Rodman J, Band S R, Mowforth M A G, Neal A M, Shaw S. A comparative study of germination characteristics in local flora. Journal of Ecology, 1981, 69: 1017-1059.
- [23] Gutterman Y, Evenari M. The influences of amounts and distribution of irrigation during the hot and dry season on emergence and survival of some desert winter annual plants in the Negev Desert. Israel Journal of Plant Science, 1994, 42: 1-14.
- [24] Juhren M, Went F W, Philipps E. Ecology of desert plants. IV. Combined field and laboratory work on germination of annuals in the Joshua Tree National Monument, California. Ecology, 1956, 37: 318-330.
- [25] Mott J J. Factors affecting seed germination in three annual species from an arid region of western Australia. Journal of Ecology, 1974, 62: 699-709.
- [26] Gutterman Y, Evenari M. The influence of amounts and distribution of irrigation during the hot and dry season on emergence and survival of some desert winter annual plants in the Negev Desert of Israel. Israel Journal of Plant Science, 1994, 42: 125-134.
- [27] Cohen D. Optimizing reproduction in a randomly varying environment. Journal of Theoretical Biology, 1996, 182: 119-129.
- [28] Yu X J, Shi S L, Long R J, Wang F, Chen B J. Search progress on effects of ecological environment on seed germination. Prataculture Science, 2005, 23(10): 44-49.
- [29] Zheng G H, Shi Z L, Zhao T F. Practical Seed Physiology. Beijing: Agricultural Press, 1990: 91-135.
- [30] Zhang S X, Zou S Y, Yang M X. Study on germination characteristics of *Haloxylon ammodendron*. Journal of Inner Mongolian Forestry College, 1985, 17(2): 56-63.
- [31] Huang Z Y, Zhang X S, Yitzchak Gutterman Zheng G H. Effects of light, temperature and salinity on the seed germination of *Haloxylon ammodendron*. Acta Phytophysiological Sinica, 2001, 27(3): 275-280.
- [32] Li Q Y, Wan H Y. Effects of temperature and substrate type on seed germination of *Nitraria sphaerocarpa*. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(5): 723-728.
- [33] Yu X J, Wang Y R, Zeng Y J, Su D. Effects of temperature and osmotic potential on seed germination of *Cleistogenes songorica* and *Plantago lessingii*. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(5): 883-887.
- [34] Ajmal Kan M, Ungar I A. Seed germination and dormancy *Polygonum aviculare* L., as influenced by salinity, temperature and gibberellin acid. Seed Science and Technology, 1998, 26: 107-117.

- [35] Gulzar S, Khan M A. Seed germination of a Halopytic grass: *Aeluropus lagopoides*. Annual of Botany, 2001, 87: 319-324.
- [36] Li X H, Li X L, Jaing D M, Liu Z M, Yu Q H. Annual plant species in arid and semi-arid desert regions. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25 (7): 851-856.
- [37] Kerena A, Evenari M. Some ecological aspects of distribution and germination of *Pancrallium maritimum* L. Israel Journal of Botany, 1974, 23: 202-215.
- [38] Koller D. Germination regulating mechanism in desert seeds III. *Calligonum comosum* L. Ecology, 1956, 37: 430-433.
- [39] Li R P, Jiang D M, Liu Z M, Li X H, Li X L, Yan Q L. Effects of sand-burying on seed germination and seedling emergence of six psammophytes species. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(10): 1865-1868.
- [40] Venable D L, Brown J S. The selective interaction of dispersal, dormancy and size as adaptations for reducing risk in variable environment. The American Naturalist, 1988, 131: 360-384.
- [41] Kevin J R, Andrew R D. Seed aging, delayed germination and reduced competitive ability in *Bromus tectorum*. Plant Ecology, 2001, 155: 237-243.
- [42] Kalisz S. Experimental determination of soil seed bank age structure in the winter annual *Callinsia verna*. Ecology, 1991, 72: 575-585.
- [43] Grime J P. Plant strategies, Vegetation Processes, Ecosystem Properties. Chichester: John Wiley & Sons, 2001.

参考文献:

- [1] 刘嫒心. 中国沙漠植物志(第一卷). 北京: 科学出版社, 1985: 407-409.
- [2] 刘志民, 蒋德明, 高红瑛, 常学礼. 植物生活史繁殖对策与干扰的关系. 应用生态学报, 2003, 14(3): 418-422.
- [4] 邢福, 郭继勋, 王艳红. 狼毒种子萌发特征和种群退化机制. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1851-1854.
- [5] 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, 18(3): 983-956.
- [28] 鱼小军, 师尚礼, 龙瑞军, 王芳, 陈本建. 生态条件对种子萌发影响研究进展. 草业科学, 2005, 23(10): 44-49.
- [29] 郑光华, 史忠礼, 赵同芳. 实用种子生理学. 北京: 农业出版社, 1990: 91-135.
- [30] 张树新, 邹受益, 杨美霞. 梭梭种子发芽特性试验研究. 内蒙古林学院学报, 1985, 17(2): 56-63.
- [31] 黄振英, 张新时, Yitzhak Gutterman, 郑光华. 光照、温度和盐分对梭梭萌发的影响. 植物生理学报, 2001, 27(3): 275-280.
- [32] 李秋艳, 方海艳. 温度和基质对泡泡刺种子萌发的影响. 生态学杂志, 2008, 27(5): 723-728.
- [33] 鱼小军, 王彦荣, 曾彦军, 苏德. 温度和水分对无芒隐子草和条叶车前种子萌发的影响. 生态学报, 2004, 24(5): 883-887.
- [36] 李雪花, 李晓兰, 蒋德明, 刘志明, 于庆和. 干旱半干旱荒漠地区一年生植物研究综述. 生态学杂志, 2006, 25(7): 851-856.
- [39] 李荣平, 蒋德明, 刘志明, 李雪花, 李晓兰, 闫巧玲. 沙埋对六种沙生植物种子萌发和幼苗出土的影响. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1865-1868.

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 30 卷 第 24 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 24 2010

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