

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

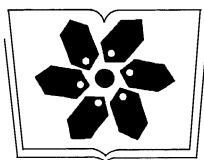
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第8期 Vol.33 No.8 **2013**

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 33 卷 第 8 期 2013 年 4 月 (半月刊)

目次

城市生态系统研究专题

- 城市生态系统:演变、服务与评价——“城市生态系统研究”专题序言 王效科 (2321)
- 城市生态景观建设的指导原则和评价指标 孙然好,陈爱莲,李 芬,等 (2322)
- 城市绿色空间格局的定量化方法研究进展 陶 宇,李 锋,王如松,等 (2330)
- 城市土地利用变化对生态系统服务的影响——以淮北市为例 赵 丹,李 锋,王如松 (2343)
- 基于市政综合监管信息的城市生态系统复杂性分析 董仁才,苟亚青,刘 昕 (2350)
- 原位生物技术对城市重污染河道底泥的治理效果 柳 敏,王如松,蒋 莹,等 (2358)
- 北京城区道路沉积物污染特性 任玉芬,王效科,欧阳志云,等 (2365)
- 绿地格局对城市地表热环境的调节功能 陈爱莲,孙然好,陈利顶 (2372)
- 北京城区气传花粉季节分布特征 孟 龄,王效科,欧阳志云,等 (2381)

个体与基础生态

- 三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响 徐 翠,张林波,杜加强,等 (2388)
- 土壤砷植物暴露途径的土壤因子模拟 线 郁,王美娥,陈卫平 (2400)
- 不同寄主植物对马铃薯甲虫的引诱作用 李 超,程登发,郭文超,等 (2410)
- 蒙古栎、白桦根系分解及养分动态 靳贝贝,国庆喜 (2416)
- 干旱和坡向互作对栓皮栎和侧柏生长的影响 王 林,冯锦霞,王双霞,等 (2425)
- 不同郁闭度下胸高直径对杉木冠幅特征因子的影响 符利勇,孙 华,张会儒,等 (2434)
- 驯化温度与急性变温对南方鲢幼鱼皮肤呼吸代谢的影响 鲜雪梅,曹振东,付世建 (2444)

种群、群落和生态系统

- 五鹿山国家级自然保护区物种多样性海拔格局 何艳华,闫 明,张钦弟,等 (2452)
- 玉龙雪山白水 1 号冰川退缩迹地的植被演替 常 丽,何元庆,杨太保,等 (2463)
- 五花米草海向入侵对土壤有机碳组分、来源和分布的影响 王 刚,杨文斌,王国祥,等 (2474)
- 南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响 何友均,梁星云,覃 林,等 (2484)
- 入侵植物黄顶菊生长、再生能力对模拟天敌危害的响应 王楠楠,皇甫超河,李玉浸,等 (2496)
- 小兴安岭白桦次生林叶面积指数的估测 刘志理,金光泽 (2505)
- 草地植物群落最优分类数的确定——以黄河三角洲为例 袁 秀,马克明,王 德 (2514)
- 多毛类底栖动物在莱州湾生态环境评价中的应用 张 莹,李少文,吕振波,等 (2522)
- 马尾松人工林火烧迹地不同恢复阶段中小型土壤节肢动物多样性 杨大星,杨茂发,徐 进,等 (2531)

景观、区域和全球生态

- 极端干旱区大气边界层厚度时间演变及其与地表能量平衡的关系 张 杰,张 强,唐从国 (2545)

基于多源遥感数据的景观格局及预测研究..... 赵永华,贾 夏,刘建朝,等 (2556)

城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应.....

..... 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,等 (2565)

资源与产业生态

碳汇目标下农户森林经营最优决策及碳汇供给能力——基于浙江和江西两省调查.....

..... 朱 臻,沈月琴,吴伟光,等 (2577)

基于 GIS 的缓坡烟田土壤养分空间变异研究..... 刘国顺,常 栋,叶协锋,等 (2586)

春玉米最大叶面积指数的确定方法及其应用..... 麻雪艳,周广胜 (2596)

城乡与社会生态

广州市常见行道树种叶片表面形态与滞尘能力 刘 璐,管东生,陈永勤 (2604)

研究简报

桔梗种子萌发对低温、干旱及互作胁迫的响应..... 刘自刚,沈 冰,张 雁 (2615)

基质养分对寄生植物南方菟丝子生长的影响 张 静,李钧敏,闫 明 (2623)

学术信息与动态

人类活动对森林林冠的影响——第六届国际林冠学大会述评..... 宋 亮,刘文耀 (2632)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-04



封面图说: 互花米草近景——互花米草是多年生高大禾本科植物,植株健壮而挺拔,平均株高约 1.5m,最高可达 3.5m,茎秆直径可达 1cm 以上。原产于大西洋沿岸,是一种适应海滩潮间带生长的耐盐、耐淹植物。我国于 1979 年开始引入,原意主要是用于保滩护堤、促淤造陆和改良土壤等。但是,近年来,互花米草迅速扩散,在一些区域里,已经完全郁闭,形成了单优种群,严重排挤了本土物种的生长,并且还在以指数增长的速度逐年增加,对海岸湿地土著物种和迁徙鸟类造成的危害日益严重,已经列为必须严格控制的有害外来入侵物种。

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

DOI: 10.5846/stxb201201140080

刘自刚, 沈冰, 张雁. 桔梗种子萌发对低温、干旱及互作胁迫的响应. 生态学报, 2013, 33(8): 2615-2622.

Liu Z G, Shen B, Zhang Y. Morphological responses to temperature, drought stress and their interaction during seed germination of *Platycodon grandiflorum*. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(8): 2615-2622.

桔梗种子萌发对低温、干旱及互作胁迫的响应

刘自刚^{1,2}, 沈冰^{1,*}, 张雁^{1,3}

(1. 西安理工大学西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 西安 710048;

2. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室甘肃农业大学, 兰州 730070;

3. 商洛学院城乡发展与管理工程系, 商洛 726000)

摘要:以药用植物桔梗种子为材料,研究了低温、干旱及其互作对种子萌发和幼苗生长的影响,旨在探索在春寒干旱条件下其种子萌发对策及生态适应性,为桔梗野生种群恢复及人工栽培群体构建提供依据。结果表明,温度、干旱及其互作对桔梗种子萌发和幼苗生长均有显著影响。0—10% PEG 水分条件下,在变温 10/20℃ 及恒温 15—25℃ 下桔梗种子能够良好萌发(10% PEG、20℃ 除外),而 15% PEG 可显著抑制萌发。低温(10℃)下种子萌发始时间延迟,发芽率降低。随干旱胁迫程度的增加,10℃ 发芽率呈先升后降趋势,而其它温度下,发芽率和发芽指数均呈下降趋势。随温度的降低,幼苗根长、茎长及鲜重均呈下降趋势,且幼根生长对温度变化更为敏感。

关键词:桔梗;温度;干旱胁迫;种子萌发

Morphological responses to temperature, drought stress and their interaction during seed germination of *Platycodon grandiflorum*

LIU Zigang^{1,2}, SHEN Bing^{1,*}, ZHANG Yan^{1,3}

1 Northwest Key Laboratory of Water Resource and Environment Ecology, Ministry of Education, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China

2 Key Laboratory of Arid Land Crop Science in Gansu Province; Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

3 Department of Urban and Rural Development & Management Engineering, Shangluo University, Shangluo 726000, China

Abstract: Controlled experiments were conducted to investigate the effect of temperature, drought and their interaction on seeds germination and seedling growth, aiming to understand how they adapt to the seasonally drought and cold in spring at seed germination stage, for giving base to population resume and cultivation of *Platycodon*. The results of a two-way ANOVA showed that temperature, drought and their interaction significantly affected the seed germination and seedling growth. Seed germination was optimal at the fluctuating night/day temperature regime of 10/20℃ and constant temperature range from 15℃ to 25℃ in the concentration of 0—10% PEG (except for the concentration of 10% PEG at 20℃), with more than 62.7% of seeds germinated, while seed germination percentage was significantly decreased by the concentration of 15% PEG. Seed germination was significantly inhibited and their initiatory time was delayed at 10℃, germination percentage was increased and then decreased with the increasing of drought stress, while both germination percentage and vigor index all declined at other temperatures. Root length, shoot length and fresh weight were declined with the decreasing of temperature, and root was more sensitive than shoot to changes of temperature.

Key Words: *Platycodon grandiflorum*; temperature stress; drought stress; seed germination

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(50939004);国家自然科学基金资助项目(51109176)

收稿日期:2012-01-10; 修订日期:2012-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shenbing@xaut.edu.cn

桔梗(*Platycodon grandiflorum*(Jacq.) A. DC)属于桔梗科、桔梗属,是一种药用、食用、观赏兼用型多年生双子叶草本植物^[1]。桔梗主要分布在我国各省、俄罗斯远东地区、朝鲜半岛及日本列岛等地^[2]。近年来,桔梗抗衰老、抑癌、杀虫杀菌和气味掩饰剂等功效相继被发现,使社会对桔梗原材料的需求迅速增加。我国由于长期的过量开采利用导致野生桔梗生境出现片断化破碎,其群体规模迅速萎缩,这不仅影响了生态系统的种类组成、数量结构、生态过程以及非生物因素,同时也对物种群体遗传结构和生物多样性程度产生了复杂的影响。严一宇等对我国长白山区野生桔梗资源调查结果表明,该地区桔梗野生资源正面临濒危灭绝的威胁^[2];据在陕南商洛境内秦岭山区 12 个点的调查结果显示,仅 3 个点有野生桔梗零星分布,秦岭野生桔梗种群已处于濒危状态中,桔梗野生资源保护和种群生态恢复已迫在眉睫。另外,在桔梗人工栽培中,常由于种子出苗率较低(仅 1% 左右)造成缺苗断垄,难以构建足够的栽培群体而给药材种植带来严重损失。

在自然生境中桔梗主要以种子为材料繁殖后代种群^[3],桔梗成株对贫瘠等不良环境具有较强耐性,也是一种较耐干旱的中生植物,种子萌发和幼苗生长阶段是种群数量恢复和栽培群体构建的关键时期^[4],但桔梗种子较为细小,千粒重平均约为 1.0g^[5],其对水分、温度等环境因子的变化较为敏感。桔梗土壤种子库通常分布在 2cm 左右的土壤表层,由于春季多风、温度回升快、降雨也逐渐增多,很容易导致表层土壤种子处于干湿交替的环境之中,使种子萌发阶段遭受干旱胁迫干扰,影响其种群更新过程和群体规模维系;人工栽培中水分限制也是产量形成的主要限制因素之一^[6]。温度在决定种子萌发中起双重作用,即直接影响种子萌发或通过间接调节休眠影响种子萌发。在实验室条件下温度对萌发作用效应不仅具有在人工栽培生产中的指导性,同时也具重要的生态指示性^[3]。因此,研究干旱、温度及其双重胁迫对桔梗种子萌发和幼苗生长的影响具有重要的生物学和生态学意义。

目前对桔梗种子的研究主要集中在种子成熟、休眠、贮藏方法等方面。刘自刚等对桔梗成熟过程中种子活力变化和生理动态进行了研究^[6];严一宇等分析了桔梗种子质量与出苗间关系^[7];赵敏等发现内源抑制物质是引起桔梗休眠的主要原因^[8];刘自刚对桔梗种子休眠破除方法进行了研究,结果表明 0.5% KNO_3 和 250 mg/L GA_3 浸种 24h 可明显促进种子萌发^[9];郭巧生等筛选了桔梗种子发芽的最佳培养条件^[10]。而关于干旱、温度及其双重胁迫对桔梗种子萌发和幼苗期的影响尚未见报道,因此,本研究探讨了桔梗种子萌发和幼苗生长对干旱、温度及其双重胁迫的响应机制,旨在为桔梗野生种群的恢复及人工栽培群体的构建提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试桔梗种子为 2009 年 10 月采自陕西香菊制药有限公司商洛植物药园 2 年生栽培群体,选取深黑色大小基本一致的饱满种子为实验材料;供实验用的桔梗幼苗,由种子萌发培养得到。

1.2 方法

选取桔梗优质种子用 0.4% 的 KMnO_4 溶液表面消毒,蒸馏水冲干净,培养皿垫双层湿润滤纸作为发芽床。根据预实验结果(对照发芽率为 94.8%,10% PEG-6000 处理的桔梗种子发芽率为 53.6%,已接近抗旱半致死浓度;15% PEG-6000 处理的发芽率为 13.4%,已接近抗旱极限浓度),模拟干旱胁迫设 3 个不同浓度为 5%、10%、15% 的聚乙二醇溶液(PEG-6000),将供试种子分别放入加有等量上述 3 种 PEG 溶液和蒸馏水(对照)的发芽床中,每皿 100 粒,准确称重后,放入分别在培养箱 10℃、15℃、20℃、25℃、10/20℃(据 4 月中旬当地平均最高、最低温设定)12h 光/12h 暗培养,变温培养采用低温 12h(暗),高温 12h(光)进行处理,以后每日观察统计种子萌发情况,并称重法根据实际情况添加蒸馏水至原始重量,每处理重复 3 次。胚根与种子等长为种子发芽标准,发芽结束后计算发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数,测定胚根和胚芽长度,并称幼苗鲜重、幼苗干重。相关指标计算公式如下:(1)种子活力指标:种子发芽率($\%$)= $n/N \times 100\%$;发芽指数(GJ)= $\sum Gt/Dt$;活力指数(VI)=发芽指数(GJ) $\times S$,式中, n 为发芽终期全部正常发芽的种子数, N 为供试种子总数; Gt 为 t 日发芽数, Dt 为相应的天数。 S 为平均胚根鲜重。(2)胚根和胚芽平均长度:在种子萌发后 10d,每一重复各取 10 株测定其胚根和胚芽长度,并计算平均值。同时,称幼苗鲜重、幼苗干重。

1.2.3 数据处理

利用 SPSS 软件对实验数据进行统计分析。不同萌发温度和干旱胁迫条件下桔梗种子发芽率、发芽势、发芽指数等指标采用双因子方差分析(Two-way ANOVA),不同处理间差异显著性 Duncan 多重比较来检验。

2 结果分析

2.1 干旱、温度对桔梗种子发芽起始时间的影响

图 1、表 1 所示,在适温条件(20—25℃)下桔梗种子萌发起动较快,低温显著延迟萌发起始时间。在 25℃ 条件下培养 6d,桔梗种子即可开始萌发,但温度降低到 10℃ 时,培养 18d 以上种子才可萌发,其萌发起时间延迟了 3 倍以上。

在不同培养温度条件下,干旱程度变化对桔梗种子萌发起始时间的影响效应有所不同,即低温条件(10—15℃)下培养,随干旱胁迫程度增加种子萌发起始时间明显延迟;而在适温(20—25℃)下,干旱胁迫对起始时间无明显影响。

2.2 干旱、温度对桔梗种子萌发进程的影响

不同温度下培养的桔梗种子萌发进程变化趋势基本相同,即随着培养时间的延长,种子萌发率均逐渐上升;在同一温度条件下整个种子萌发过程中,随干旱胁迫程度增加,种子萌发率基本呈降低趋势(图 1)。

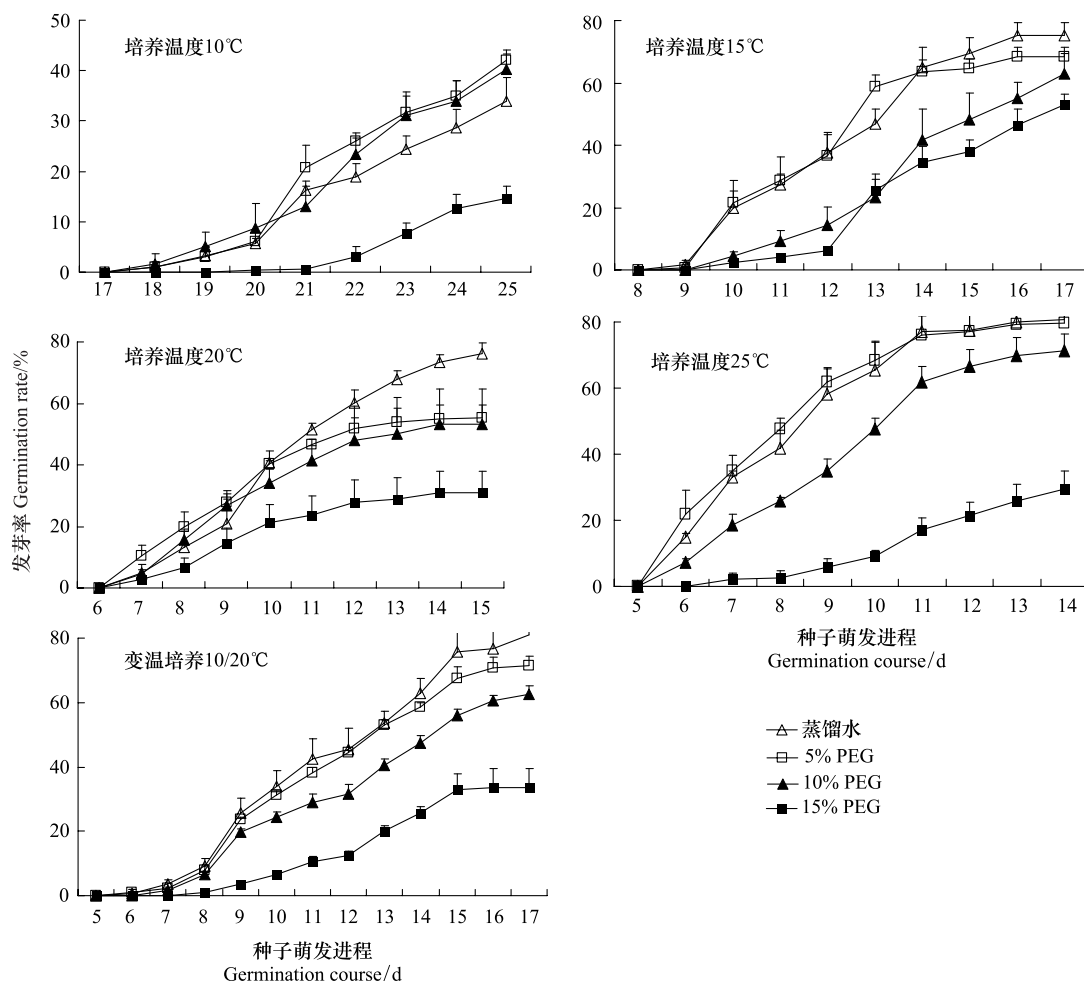


图 1 温度对不同基因型桔梗种子萌发进程的影响

Fig. 1 Effects of culture temperature and drought stress on seed germination course of *Platycodon*

2.3 干旱、温度对桔梗种子萌发的影响

发芽率反映了种子在适宜条件下的萌发能力,发芽指数是种子活力水平的综合体现^[11-12]。在 15—25℃

及变温条件下,随着干旱胁迫程度的增加,桔梗种子发芽率、发芽势和发芽指数均呈逐渐下降趋势;而在 10℃ 条件下,上述 3 项指标却均有先升后降的趋势,即 0—5% PEG 范围增加干旱胁迫程度,上述各种子萌发指标均有所升高并达到最大值,之后干旱胁迫程度的再增加,种子的萌发逐渐被抑制。5% PEG 处理的发芽率、发芽势和发芽指数与对照(0% PEG)均在同一水平,表明轻度干旱胁迫对桔梗种子萌发无显著影响(表 1)。低温(10℃)可显著抑制桔梗种子的萌发,培养温度的增加后,种子萌发各指标均明显升高。

在 15—25℃ 温度范围内及变温 10/20℃ 条件下对照种子均有较高的发芽率,不同温度间虽略有变化,但未达显著差异水平,种子均可正常萌发,综合考虑发芽势和发芽指数 2 项指标,认为桔梗种子萌发的最适温度为 20—25℃。方差分析结果显示,温度、干旱互作对桔梗种子萌发的具有显著影响(表 2)。

表 1 低温、干旱及其互作对桔梗种子萌发的影响

Table 1 Effects of culture temperature, drought stress and their interaction on seed germination of *Platycodon*

指标 Indicators	PEG 浓度/% PEG concentration	培养温度 Culture temperature/℃				
		10	15	20	25	10/20
萌发起始时间	0	18.3 b	8.3 cd	7.0 f	6.0 g	6.7 fg
Initiatory time of seed germination	5	18.3 b	8.7 cd	7.0 f	6.0 g	6.7 fg
	10	18.3 b	9.0 c	7.0 f	6.0 g	7.3 ef
	15	21.0 a	9.0 c	7.0 f	6.0 g	8.0 de
发芽率/%	0	34.0 g	75.3 abc	76.3 ab	80.7 a	81.0 a
Germination percentage	5	42.0 fg	68.3 abc	65.3 abc	79.7 a	71.3 abc
	10	40.3 fg	63.0 bcd	53.3 de	71.3 abc	62.7 cd
	15	14.7 i	53.0 de	31.0 g	29.3 gh	33.7 g
发芽势/%	0	16.3 de	20.0 cd	40.7 a	33.0 b	21.7 cd
Germination vigor	5	20.7 cd	21.7 cd	40.3 a	35.0 ab	23.7 c
	10	13.0 e	4.3 f	34.0 ab	18.7 cde	19.7 cde
	15	0.7 f	2.3 f	21.3 cd	2.3 f	3.7 f
发芽指数 Vigor index	0	1.55 jk	6.79 cde	7.46 bc	10.05 a	7.05 bcd
	5	1.92 j	6.38 cde	6.07 def	10.32 a	6.60 cde
	10	1.84 jk	5.02 fg	5.61 ef	8.06 b	5.57 ef
	15	0.63 jk	4.15 gh	3.23 hi	2.73 ij	2.75 ij

表中不同字母表示处理间存在 0.05 水平差异显著

表 2 温度、干旱双因素方差分析 F 值

Table 2 F values of temperature and drought stress with Two-way ANOVA

变异来源 Source of variation	发芽率 Germination percentage	发芽势 Germination vigor	发芽指数 Germination index	根长 Root length	茎长 Shoot length	根长/茎长 Root/shoot rate	鲜重 Fresh weight	干重 Dry weight
温度 Culture temperature	11.3	20.5	14.9	33.3	10.7	14.3	18.8	8.9
干旱 Drought stress	19.2	34.3	11.1	9.6	4.3	2.1	7.3	2.6
温度×干旱互作 Temperature× Drought stress	2.0	3.3	8.4	4.1	6.0	4.9	4.9	8.8

表中数据为双因素分析的 F 值,显著水平均为 $P<0.001$

2.4 干旱、温度对桔梗幼苗生长的影响

表 3 显示,在同一干旱胁迫条件下,桔梗幼苗根长随着培养温度升高呈上升趋势,且幼根的生长呈“快-慢-快”的 S 型曲线型变化规律,即 10℃ 根长较短,生长明显被抑制,之后随培养温度升高根生长迅速加快,15—20℃ 温度范围根长增加较为平缓,之后生长又显著加快并达到最高值。低温(10℃)也显著抑制茎的生长,培养温度升高后茎生长显著加快,但在 15—25℃ 范围增加温度,对茎生长无显著影响(除蒸馏水 15℃ 培养);变温 10/20℃ 培养的幼苗根长、茎长与 20℃ 恒温培养基本在同一水平,表明变温的作用效应基本取决于

上限温度。总体上看,10—20℃范围内的温度变化对根/茎影响较小,25℃根/茎显著升高,且根/茎的升高主要是由于根在此温度下的快速伸长引起的。25℃下幼苗鲜重和干重较其它温度均明显增大。

从表3中还可以看出,在同一温度条件下,随干旱胁迫程度的增加桔梗幼苗根长和茎长均呈下降趋势,总体上看,但5%和10% PEG处理与对照变化不显著,而15% PEG下根长、茎长均明显缩短,表明重度干旱胁迫对桔梗幼苗生长有明显抑制作用,但轻度和中等胁迫对幼苗生长影响甚微。重度干旱胁迫下(15% PEG)幼苗鲜重和干重与对照相比均明显下降,轻度(5% PEG)、中度(10% PEG)胁迫下,10—25℃的恒温条件下幼苗干重均比对照略有升高,而10/20℃变温下幼苗干重略有下降,但干重的升降与对照间均无显著差异(除25℃、5% PEG处理)。方差分析结果显示,温度、干旱互作对桔梗幼苗生长各项指标均有显著影响,其中对幼苗干重的影响最为明显(表2)。

表3 低温、干旱及其互作对桔梗幼苗生长的影响

Table 3 Effects of culture temperature, drought stress and their interaction on seeding growth of three variety of *Platycodon*

指标 Indicators	PEG 浓度/% PEG concentration	培养温度 Culture temperature/℃				
		10	15	20	25	10/20
根长 Root length/mm	0	3.25 g	14.72 bc	16.57 b	21.73 a	9.90 def
	5	3.67 g	11.43 d	12.85 cd	21.73 a	10.50 de
	10	3.40 g	10.98 de	12.37 cd	20.03 a	9.62 def
	15	1.29 g	7.93 ef	7.92 ef	10.60 de	7.30 f
茎长 Shoot length/mm	0	2.48 h	11.05 a	5.85 defg	7.38 bcd	6.63 bede
	5	2.59 h	7.60 bc	6.77 bede	6.75 bede	8.02 b
	10	2.24 h	6.18 cdefg	6.88 bcd	6.48 bedef	5.23 efg
	15	2.00 h	4.78 g	4.92 fg	4.73 g	4.72 g
根长/茎长 Root/shoot rate	0	1.31 d	1.34 d	2.82 a	3.02 a	1.53 cd
	5	1.41 cd	1.52 cd	1.91 bc	3.23 a	1.33 d
	10	1.51 cd	1.78 bcd	1.80 bcd	3.09 a	1.83 bcd
	15	0.64 e	1.68 cd	1.59 cd	2.26 b	1.55 cd
鲜重 Fresh weight/g	0	0.091 hi	0.246 c	0.257 c	0.418 ab	0.172 def
	5	0.090 hi	0.176 def	0.217 cde	0.452 a	0.176 def
	10	0.096 ghi	0.148 efgh	0.225 cd	0.381 b	0.125 fgh
	15	0.039 i	0.126 fgh	0.126 fgh	0.163 defg	0.092 hi
干重 Dry weight/g	0	0.028 cdefg	0.021 gh	0.031 cdef	0.051 b	0.025 efg
	5	0.030 cdef	0.023 fgh	0.033 cd	0.064 a	0.024 efg
	10	0.035 c	0.026 defg	0.032 cde	0.056 b	0.023 fg
	15	0.015 h	0.027 cdefg	0.026 defg	0.027 cdefg	0.023 fgh

3 讨论

温度是影响种子萌发的重要因子之一^[13-14],对种子吸水、萌动、胚根、胚芽伸长至幼苗的形成整个过程均有重要作用^[15-18]。温度在决定种子萌发中可能起双重作用,即直接影响种子萌发或通过间接调节种子休眠影响种子萌发^[19]。温度对桔梗种子萌发有显著影响,郭巧生等研究表明桔梗种子在25—30℃下均有较高的发芽率^[10];15—25℃下不同基因型桔梗种子均可良好萌发,其发芽率在同一显著水平;而30℃下发芽率均明显下降,且下降幅度与种子基因型有关,与25℃下相比,赤峰桔梗、柞水野生桔梗种子发芽率下降31.6%以上,而商州桔梗仅下降10.2%。结果表明,低温(10℃)条件下桔梗种子萌发被显著抑制,之后随温度增加,种子萌发开始明显加快,在25℃和10/20℃变温条件下发芽率达到最高。这种种子萌发机制确保了大部分种子在适合的季节萌发,因而增大了幼苗的存活机会。种子在萌发过程中进行着活跃的代谢反应^[20-22],在一定温度范围内,随温度的升高种子萌发进程加快,但过低的温度会使膜的透性、膜结合蛋白及其他相关酶系活性降低^[23-24],从而造成种子萌发启动延迟和幼苗生长延缓。桔梗种子细小,能供给种子萌发和胚根、胚芽伸长的

贮藏物质数量十分有限,在种子萌发阶段如遇低温侵袭使出苗时间延长,由于基础生命代谢消耗可能造成贮藏物在幼苗出土前提早枯竭。种子萌发的适宜温度与植物进化的原生境有密切关系,在我国陕西秦岭山区桔梗种子萌发出苗时间一般在4月中下旬,此时气温回升很快,白天很容易达到25℃左右,桔梗种子通过吸收土壤水分迅速启动萌发机制,快速动员种子贮存物质,通过转化、运输和分配等代谢活动完成种子萌发和幼苗形态构建阶段,使桔梗种子在较短的时间内快速通过定植的这一关键期,从而大大降低了种子萌发和幼苗生长这一环境敏感期可能遭遇极端气候侵袭的几率。

不同器官之间生物量分配与植物的干旱适应能力密切相关^[25-26],在土壤水分缺乏时,植株地上与地下部分生物量的合理分配及生长布局有利于增加植物水分利用率及干旱适应能力^[27-28]。一般地,在干旱胁迫下通过增大地下部分比例来增强植物对土壤深层水分的吸收能力,尽可能满足旱生条件下植物对水分的生理生态需求以缓解水分缺乏对机体产生的不利影响^[29]。但是,干旱胁迫下植物的各器官生长特征在不同物种之间存在较大的差异,如沙地柏(*Sabina vulgaris*)^[30]实生苗幼根对土壤水分变化的敏感性高于幼茎,即随干旱加深其地下部分生长量所占比例明显下降。而华荠苎(*Moslach inensis*)^[31]根、茎生长量比例与水分胁迫程度有关,中等干旱胁迫下(60%相对含水量)根生长量比例最大,茎叶生长量最小。本试验研究结果显示,轻度、中度干旱胁迫(5%—10% PEG)对桔梗幼苗根茎伸长影响均较小。种子萌发和幼苗生长阶段是植物在特定生境定植建群的关键时期,为适应可能遇到的逆境胁迫所采取种子萌发和幼苗形态建成策略是植物与其生境协同进化的结果。在野生状态下,桔梗种子萌发及幼苗形成时间一般在4—5月份,由于降水的年分布不均一造成我国多数北方地区春季容易遭遇干旱侵袭,在长期这种季节性干旱胁迫压力作用下,桔梗种子萌发和幼苗形态建成逐渐进化出了较为完善的应对机制,使大部分种子在遭遇一定强度干旱胁迫时仍能顺利萌发,并完成幼苗形态建成,这一机制对桔梗种群更新过程及群体规模稳定具有十分重要的生态意义。

另外,15% PEG使桔梗幼苗根茎的伸长均被抑制,且根/茎比明显降低,幼根所占比例显著下降,而且较高的温度还可加重这种趋势。桔梗种子库通常分布在2cm左右的土壤表层,由于春季多风、温度回升快、很容易导致表层土壤种子处于水分匮乏环境之中,使种子萌发阶段遭受干旱胁迫干扰,而桔梗种子遇到较强干旱胁迫时即表现为发芽率降低,胚根生长显著被抑制而伸长缓慢,幼根不能迅速深入深层土壤吸收水分,更加重了由于水分匮乏对机体造成的损伤,造成幼苗生长困难,这就可以解释春季如遇晴天干旱气候桔梗幼苗大量枯死的原因。

References:

- [1] Liu Z G, Hu T M, Yang Y L, She X P, Wang Y L, Xue F L, Liu F X. Pollen Germination and Growth of *Platycodon grandiflorum* (Jacq.) A. DC. *Bulletin of Botanical Research*. 2011, 31(3): 271-276.
- [2] Yu Y B, Yan Y Z, Xuan CH J, Wu S Q, Wu J R. Investigation on Resources Status of Wild *Platycodon grandiflorus* in Changbai Mountain Area. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(32): 15848-15850.
- [3] Winkler E, Fischer M. The role of Vegetative spread and seed dispersal for optimal life histories of clonal plants: A simulation study. *Evolutionary Ecology*, 2002, 15: 218-301.
- [4] Zhu Z C, Zhang Q L, Xiao D R. Seed production of *Spartina alterniflora* and its response of germination to temperature at Chongming Dongtan, Shanghai. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(6): 1574-1581.
- [5] Liu Z G, Hu T M, Yang Y L. Ripening physiological characteristics on seeds of *Platycodon grandiflorus*. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2009, 40(2): 300-303.
- [6] Ramoliya P J, Patel H M, Pandey A N. Effect of salinisation of soil on growth and macro- and micro-nutrient accumulation in seedlings of *Acacia catechu* (Mimosaceae). *Annals of Applied Biology*, 2004, 144: 321-332.
- [7] Yan Y Z, Wu J R. Effect of *Platycodon grandiflorum* seed quality on germination, seedling, and seedling quality. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2007, 38(11): 1726-1729.
- [8] Zhao M, Xu Z H F, Wang R H, Zhang W. Preliminary Study on the Characteristics of Inner Inhibitory Substances for *Platycodon grandiflorum* Seed. *Journal of northeast forestry university*, 2000, 28(1): 51-54.
- [9] Liu Z G. Studies on Seed Dormancy Breaking of *Platycodon*. Seed, 2009, 28(1): 72-74.

- [10] Guo Q SH, Zhao R M, Liu L, Wei CH L. Studies on germination characteristics of *Platycodon grandiflorum* seed. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2006,31(1):870-881.
- [11] Wang S M, Wan C G, Wang Y R. The characteristics of K^+ 、 Na^+ and free praline distribution in several drought resistant plants of the Alxa desert, China. *Journal of Arid Environments*, 2004,56:525-539
- [12] Wu Y P, Hu X W, Wang Y R. Growth, water relations, and stomatal development of *Caragana korshinskii* Kom. and *Zygophyllum xanthoxylum* (Bunge) Maxim. seedling in response to water deficits. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2009,52(2):185-193
- [13] ZHou J Y, Wang CH Y, Xu W L. Comparison Between Transgenic Soybean and Non-Transgenic Soybean in Resistance to Stresses, *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2006,22(2):26-30.
- [14] Li Y ZH, Huang J SH, ZHU J H. Effects of light and temperature on seed germination and seedling growth of *Deyeuxia angustifolia*. *Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences)*, 2007,33(2):186-190.
- [15] Sanchez-Coronado M E, Coates R, Castro-Colina L, De Buen A G, Paez-Valencia J. Improving seed germination and seedling growth of *Omphalea oleifera* (*Euphorbiaceae*) for restoration projects in tropical rain forests. *Forest Ecology and Management*, 2007,243(1):144-155
- [16] Guo W, Li B, Zhang X, Wang R. Architectural plasticity and growth responses of *Hippophae rhamnoides* and *Caragana intermedia* seedlings to simulated water stress. *Journal of Arid Environment*, 2007,69(3):385-399
- [17] Xu F, Guo W H, Xu W H, Wang R Q. Effects of light intensity on growth and photosynthesis of seedlings of *Quercus acutissima* and *Robinia pseudoacacia*. *Acta Ecologica Sinica*, 2010,30(12):3098-3107.
- [18] Feng Y, Wang Y R, H X W. Effects of soil water stress on seedling growth and water use efficiency of two desert shrubs. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(4):293-298.
- [19] Ma H Y, L, Liang ZH W. Effects of storage conditions and sowing methods on seed germination of *Leymus chinensis*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007,18(2):997-1002.
- [20] Wang J, CHen Y, Xiao ZH W, Effect of Light, Temperature and Soil Moisture on Seed Germination and Seedling Growth of *Cuminum cyminum* L. *Plant Physiology Communications*, 2006,42(6):1106-1108.
- [21] Khan M A, Gulw S. Light, salinity and temperature effects on the seed germination of *Perennial grasses*. *American Journal of Botany*, 2003,90(1):131-134.
- [22] SHi W, Xu H L, ZHao X F, Ling H B, Li Y. Physiological and biochemical responses to drought stress during seed germination of *Glycyrrhiza inflata*. *Acta Ecologica Sinica*, 2003,90(1):131-134.
- [23] Ma H Y, Liang ZH W, Kong X J, Yan CH, CHen Y. Effects of salinity, temperature and their interaction on the germination percentage and seedling growth of *Leymus chinensis*(Trin.) Tzvel. (*Poaceae*). *Acta Ecologica Sinica*, 2008,28(10):4710-4717.
- [24] Ma H Y, Liang ZH W. Effects of Different Soil pH and Soil Extracts on the Germination and Seedling Growth of *Leymus chinensis*. *Chinese Bulletin of Botany*, 2007,24(2):181-188.
- [25] Yin C Y, Wang X, Duan B L, Li C. Early growth, dry matter allocation and water use efficiency of two sympatric *Populus* species as affected by water stress. *Environmental and Experiment Botany*, 2004,53:315-322.
- [26] Li F L, Bao W K, Wu N. Morphological and physiological responses of current *sophora davidii* seedlings to drought stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2009,29(10):5406-5416.
- [27] Qiu J, Tan D T, Fan D Y. Characteristics of photosynthesis and biomass allocation of spring ephemerals in the junggar desert. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(5):883-891.
- [28] Wu F Z, Bao W K, Li F L, Wu N. Effects of drough stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings. *Environmental and Experiment Botany*, 2008,63:248-255.
- [29] Liu Y J, Liu SH Z, Ji Y F, Ma Q L, ZHANG D K, ZHANG J CH, Wei L Y. Seed germinative strategy and ecological adaptability of *Corispermum patelliforme*. *Acta Ecologica Sinica*, 2010,30(24):6910-6918.
- [30] He W M. Effects of water factor on hydraulic and growth characteristics of *sabina vulgaris* seedlings. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2001,25(1):11-16.
- [31] Guan B H, Ge Y, Fan M Y, Niu X Y, Lu Y J, CHANG J. Phenotypic plasticity of growth and morphology in *Mosla chinensis* responds to diverse relative soil water content. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(2):259-263.

参考文献:

- [1] 刘自刚,胡天明,杨亚丽,余小平,汪玉琳,薛粉丽,刘凤霞等. 桔梗花粉萌发与花粉管生长研究. *植物研究*, 2011,31(3):271-276.
- [2] 于亚彬,严一字,玄春吉,吴松权,吴基日. 长白山区野生桔梗资源现状调查. *安徽农业科学*, 2009,37(32):15848-15850.
- [4] 祝振昌,张利权,肖德荣. 上海崇明东滩互花米草种子产量及其萌发对温度的响应. *生态学报*, 2011,31(6):1574-1581.

- [5] 刘自刚, 呼天明, 杨亚丽. 桔梗种子成熟生理动态研究. 中草药, 2009, 40(2):300-303.
- [7] 严一字, 吴基日. 桔梗种子质量对发芽、出苗及苗素质的影响. 中草药, 2007, 38(11):1726-1729.
- [8] 赵敏, 徐兆飞, 王荣华, 张伟等. 桔梗种子内源抑制物质特性的初步研究. 东北林业大学学报, 2000, 28(1):51-54.
- [9] 刘自刚. 桔梗种子休眠解除方法研究. 种子, 2009, 28(1):72-74.
- [10] 郭巧生, 赵荣梅, 刘丽, 韦春兰等. 桔梗种子发芽特性的研究. 中国中药杂志, 2006, 31(1):870-881.
- [13] 周军英, 王长永, 续卫利. 温度、水分和盐度对转基因耐草甘膦大豆种子萌发和幼苗生长的影响. 生态与农村环境学报, 2006, 22(2):26-30.
- [14] 李有志, 黄继山, 朱杰辉. 光照和温度对小叶章种子萌发及其幼苗生长的影响. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2007, 33(2):186-190.
- [17] 徐飞, 郭卫华, 徐伟红, 王仁卿. 不同光环境对麻栎和刺槐幼苗生长和光合特征的影响. 生态学报, 2010, 30(12):3098-3107.
- [18] 冯燕, 王彦荣, 胡小文. 水分胁迫对两种荒漠灌木幼苗生长与水分利用效率的影响. 草业学报, 2011, 20(4):293-298.
- [19] 马红媛, 梁正伟. 不同贮藏条件和发芽方法对羊草种子萌发的影响. 应用生态学报, 2007, 18(2):997-1002.
- [20] 王进, 陈叶, 肖占文, 等. 光照、温度和土壤水分对孜然芹种子萌发和幼苗生长的影响. 植物生理学通讯, 2006, 42(6):1106-1108.
- [22] 史薇, 徐海量, 赵新风, 凌红波, 李媛. 胀果甘草种子萌发对干旱胁迫的生理响应. 生态学报, 2010, 30(8):2112-2117.
- [23] 马红媛, 梁正伟, 孔祥军, 闫超, 陈渊. 盐分、温度及其互作对羊草种子发芽率和幼苗生长的影响. 生态学报, 2008, 28(10):4710-4717.
- [24] 马红媛, 梁正伟. 不同 pH 值土壤及其浸提液对羊草种子萌发和幼苗生长的影响. 植物学通报, 2007, 24(2):181-188.
- [26] 李芳兰, 包维楷, 吴宁. 白刺花幼苗对不同强度干旱胁迫的形态与生理响应. 生态学报, 2009, 29(10):5406-5416.
- [27] 邱娟, 谈敦炎, 樊大勇. 准噶尔荒漠早春短命植物的光特性和生物量分配特点. 植物生态学报, 2007, 31(5):883-891.
- [29] 刘有军, 刘世增, 纪永富, 马全林, 张德魁, 张锦春, 魏林源. 碟果虫实种子萌发对策及生态适应性. 生态学报, 2010, 30(24):6910-6918.
- [30] 何维明. 水分因素对沙地柏实生苗水分和生长特征的影响. 植物生态学报, 2001, 25(1):11-16.
- [31] 关保华, 葛滢, 樊梅英, 牛晓音, 卢毅军, 常杰. 华茅苧响应不同土壤水分的表型可塑性. 生态学报, 2003, 23(2):259-263.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 8 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Special Topics in Urban Ecosystems

- Guidelines and evaluation indicators of urban ecological landscape construction SUN Ranhao, CHEN Ailian, LI Fen, et al (2322)
- Research progress in the quantitative methods of urban green space patterns TAO Yu, LI Feng, WANG Rusong, et al (2330)
- Effects of land use change on ecosystem service value: a case study in Huaibei City, China ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (2343)
- Urban ecosystem complexity: an analysis based on urban municipal supervision and management information system DONG Rencai, GOU Yaqing, LIU Xin (2350)
- A case study of the effects of *in-situ* bioremediation on the release of pollutants from contaminated sediments in a typical, polluted urban river LIU Min, WANG Rusong, JIANG Ying, et al (2358)
- The pollution characteristics of Beijing urban road sediments REN Yufen, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2365)
- Effects of urban green pattern on urban surface thermal environment CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (2372)
- Seasonal dynamics of airborne pollen in Beijing Urban Area MENG Ling, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2381)

Autecology & Fundamentals

- Impact of alpine meadow degradation on soil water conservation in the source region of three rivers XU Cui, ZHANG Linbo, DU Jiaqiang, et al (2388)
- Predicting the plant exposure to soil arsenic under varying soil factors XIAN Yu, WANG Meie, CHEN Weiping (2400)
- Attraction effect of different host-plant to Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* LI Chao, CHENG Dengfa, GUO Wenchao, et al (2410)
- Root decomposition and nutrient dynamics of *Quercus mongolica* and *Betula Platyphylla* JIN Beibei, GUO Qingxi (2416)
- The interaction of drought and slope aspect on growth of *Quercus variabilis* and *Platycladus orientalis* WANG Lin, FENG Jinxia, WANG Shuangxia, et al (2425)
- Effects of diameter at breast height on crown characteristics of Chinese Fir under different canopy density conditions FU Liyong, SUN Hua, ZHANG Huiru, et al (2434)
- Effects of temperature acclimation and acute thermal change on cutaneous respiration in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*) XIAN Xuemei, CAO Zhendong, FU Shijian (2444)

Population, Community and Ecosystem

- Altitudinal pattern of plant species diversity in the Wulu Mountain Nature Reserve, Shanxi, China HE Yanhua, YAN Ming, ZHANG Qindi, et al (2452)
- Vegetation succession on Baishui No. 1 glacier foreland, Mt. Yulong CHANG Li, HE Yuanqing, YANG Taibao, et al (2463)
- The effects of *Spartina alterniflora* seaward invasion on soil organic carbon fractions, sources and distribution WANG Gang, YANG Wenbin, WANG Guoxiang, et al (2474)
- Community characteristics and soil properties of coniferous plantation forest monocultures in the early stages after close-to-nature transformation management in southern subtropical China HE Youjun, LIANG Xingyun, QIN Lin, et al (2484)
- Response of invasive plant *Flaveria bidentis* to simulated herbivory based on the growth and reproduction WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, LI Yujin, et al (2496)
- Estimation of leaf area index of secondary *Betula platyphylla* forest in Xiaoxing'an Mountains LIU Zhili, JIN Guangze (2505)
- Optimal number of herb vegetation clusters: a case study on Yellow River Delta YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (2514)
- Application of polychaete in ecological environment evaluation of Laizhou Bay ZHANG Ying, LI Shaowen, LÜ Zhenbo, et al (2522)
- Soil meso-and micro arthropod community diversity in the burned areas of *Pinus massoniana* plantation at different restoration stages YANG Daxing, YANG Maofa, XU Jin, et al (2531)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Temporal variety of boundary layer height over deep arid region and the relations with energy balance ZHANG Jie, ZHANG Qiang, TANG Congguo (2545)
- Analysis and forecast of landscape pattern in Xi'an from 2000 to 2011 ZHAO Yonghua, JIA Xia, LIU Jianchao, et al (2556)
- Spatio-temporal variation in the value of ecosystem services and its response to land use intensity in an urbanized watershed HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (2565)

Resource and Industrial Ecology

- Household optimal forest management decision and carbon supply: case from Zhejiang and Jiangxi Provinces ZHU Zhen, SHEN Yueqin, WU Weiguang, et al (2577)
- Spatial variability characteristics of soil nutrients in tobacco fields of gentle slope based on GIS LIU Guoshun, CHANG Dong, YE Xiefeng, et al (2586)
- Method of determining the maximum leaf area index of spring maize and its application MA Xueyan, ZHOU Guangsheng (2596)

Urban, Rural and Social Ecology

- Morphological structure of leaves and dust-retaining capability of common street trees in Guangzhou Municipality LIU Lu, GUAN Dongsheng, CHEN Yongqin David (2604)

Research Notes

- Morphological responses to temperature, drought stress and their interaction during seed germination of *Platycodon grandiflorum* LIU Zigang, SHEN Bing, ZHANG Yan (2615)
- Effects of nutrients on the growth of the parasitic plant *Cuscuta australis* R. Br. ZHANG Jing, LI Junmin, YAN Ming (2623)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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

本期责任副主编 吕永龙

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 33 卷 第 8 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 8 (April, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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 90.00 元