

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第15期 Vol.33 No.15 **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 15 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 红树林生态系统遥感监测研究进展..... 孙永光,赵冬至,郭文永,等 (4523)
- 基于能值分析方法的城市代谢过程研究——理论与方法 刘耕源,杨志峰,陈 彬 (4539)
- 关于生态文明建设与评价的理论思考 赵景柱 (4552)

个体与基础生态

- 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布..... 于婷婷,徐奎栋 (4556)
- 灌河口邻近海域春季浮游植物的生态分布及其营养盐限制..... 方 涛,贺心然,冯志华,等 (4567)
- 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性..... 黄凯旋,张云,欧林坚,等 (4575)
- 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长和根系伤流量的影响..... 梁晓琴,刘 建,丁文娟,等 (4583)
- 有机酸类化感物质对甜瓜的化感效应..... 张志忠,孙志浩,陈文辉,等 (4591)
- 稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与甲烷排放的关联性..... 吴家梅,纪雄辉,霍莲杰,等 (4599)
- 双氰胺单次配施和连续配施的土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化..... 王煌平,张 青,翁伯琦,等 (4608)
- 不同类型土壤中分枝杆菌噬菌体分离率的比较..... 徐凤宇,苏胜兵,马红霞,等 (4616)
- 模拟酸雨对小麦产量及籽粒蛋白质和淀粉含量及组分的影响 卞雅姣,黄 洁,孙其松,等 (4623)
- 麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法 李兵兵,魏小红,徐 严 (4631)
- 4 种金色叶树木对 SO_2 胁迫的生理响应 种培芳,苏世平 (4639)
- 硫丹及其主要代谢产物对紫色土中酶活性的影响..... 熊佰炼,张进忠,代 娟,等 (4649)

种群、群落和生态系统

- 群落水平食物网能流季节演替特征..... 徐 军,周 琼,温周瑞,等 (4658)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群数量动态特征..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (4665)
- 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征..... 朱秋莲,邢肖毅,张 宏,等 (4674)
- 青藏高原高寒草甸退化与人工恢复过程中植物群落的繁殖适应对策..... 李媛媛,董世魁,朱 磊,等 (4683)
- 杉木人工林土壤质量演变过程中土壤微生物群落结构变化..... 刘 丽,徐明恺,汪思龙,等 (4692)
- 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响 赵 曼,郭线茹,李为争,等 (4707)
- 伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下植被特征的影响..... 卢训令,丁圣彦,游 莉,等 (4715)
- 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落的影响 刘 伟,门丽娜,刘新民 (4724)
- 铜和营养缺失对海州香薷两个种群生长、耐性及矿质营养吸收的差异影响 柯文山,陈世俭,熊治廷,等 (4737)
- 新疆喀纳斯国家自然保护区植被叶面积指数观测与遥感估算..... 咎 梅,李登秋,居为民,等 (4744)

景观、区域和全球生态

基于 LUCC 的生态系统服务空间化研究——以张掖市甘州区为例 梁友嘉,徐中民,钟方雷,等 (4758)

人工管理和自然驱动下盐城海滨湿地互花米草沼泽演变及空间差异 张华兵,刘红玉,侯明行 (4767)

基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价 尚 文,杨永兴,韩大勇 (4776)

基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价..... 南 颖,吉 喆,冯恒栋,等 (4790)

呼中林区森林景观的历史变域模拟及评价..... 吴志丰,李月辉,布仁仓,等 (4799)

降水时间对内蒙古温带草原地上净初级生产力的影响..... 郭 群,胡中民,李轩然,等 (4808)

研究简报

我国中东部不同气候带成熟林凋落物生产和分解及其与环境因子的关系.....

..... 王健健,王永吉,来利明,等 (4818)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说:石质山区的退耕还林——桂西北地区是我国喀斯特集中分布的地区之一,这里的石漠化不仅造成土地退化、土壤资源逐步消失、干旱缺水和土地生产力下降,而且还导致生态系统退化和植被消亡。桂西北严重的地质生态环境问题,威胁着当地居民的基本生存,严重制约了当地社会经济的发展。增加植被覆盖是防治石漠化的重要举措。随着国家退耕还林、生态移民等治理措施的实施,区域植被碳密度显著增加,生态环境有所好转。图为喀斯特地区农民见缝插针用来耕种的鸡窝地(指小、碎、分散的土地),已经退耕还林了。

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/stxb201204300622

李兵兵, 魏小红, 徐严. 麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法. 生态学报, 2013, 33(15): 4631-4638.

Li B B, Wei X H, Xu Y. The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4631-4638.

麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法

李兵兵¹, 魏小红^{1,*}, 徐 严^{1,2}

(1. 甘肃农业大学生命科学技术学院, 兰州 730070; 2. 郴州市农业科学研究所, 郴州 423042)

摘要:通过对干燥贮藏后熟麻花秦艽种子透水性和粗提物活性的测定以及采用高锰酸钾、赤霉素、青霉素、硫酸、流水浸泡方法进行发芽试验,探讨了种子休眠机理和破除休眠的技术。结果表明:麻花秦艽种子吸水过程符合 Logistic 曲线,其种皮对种子吸水无阻碍作用;硫酸和高锰酸钾处理极显著提高了麻花秦艽种子的发芽率($P<0.01$),说明种皮机械障碍是种子萌发的因素之一。种子粗提物在浓度为 0.02—0.2 g/mL 时具有很强的抑制活性,均对小麦、白菜和麻花秦艽种子萌发和生长产生抑制作用以及流水浸泡可以提高麻花秦艽种子发芽率,表明种子内源抑制物是影响其休眠的另一因素。不同处理均打破了种子休眠,显著提高了种子发芽率,其中 1.5% 高锰酸钾浸泡 10 min 光照培养下种子发芽率及发芽势、发芽指数和活力指数均显著高于其他处理($P<0.05$)。相比对照,1.5% 高锰酸钾处理的种子发芽率极显著提高 106.9%。经 1.5% 高锰酸钾浸泡 10 min 的麻花秦艽种子粗提物对白菜种子萌发的抑制作用低于未处理,以浓度为 0.02—0.04 g/mL 时抑制显著,说明高锰酸钾可减弱麻花秦艽种子内源抑制物的活性。综上所述,麻花秦艽种子的休眠属综合休眠。

关键词:麻花秦艽种子; 休眠; 萌发; 内源抑制物

The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking

LI Bingbing¹, WEI Xiaohong^{1,*}, XU Yan^{1,2}

1 College of Life Sciences and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2 Chenzhou Institute of Agricultural Science, Chenzhou 423042, China

Abstract: The experiment was conducted to investigate the dormancy mechanism of *Gentiana straminea* Maxim. seeds, which were dry stored for after-ripening, and techniques for breaking the seeds dormancy by measuring seeds water absorption and the activity of seeds crude extract as well as by conducting seeds germination trials after soaking the seeds in solutions of potassium permanganate, gibberellic acid, penicillin, sulfuric acid, and flowing water. Additional purpose of the present study was to find the right way to break the dormancy and to improve the germination rate of the *G. Maxim.* seeds in order to provide a theoretical basis for their artificially domesticated cultivation consequently enable the plant to be better and easily used in gardening. The results showed that changes of water absorption of *G. Maxim.* seeds to soaking duration were in line with the Logistic curve, which included sharp soaking, stable soaking and saturated soaking stages, and the seed capsule was unimpeded to water absorption. Treatments of soaking the seeds by 1 mol/L sulfuric acid and 1.5% potassium permanganate remarkably improved the germination rate, germination potential, germination index, and vigor index ($P<0.01$), which suggests that the seed capsule barrier was one of factors of the seed dormancy. The crude extract of seeds had a strong inhibitory activity at concentrations of 0.02 to 0.2 g/mL and could inhibit germination and growth of wheat, cabbage and *G. Maxim.* seeds. With the increase of the concentrations of seeds crude extract, more

基金项目: 澳大利亚援助局资助项目(072-036007)

收稿日期: 2012-04-30; 修订日期: 2013-01-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: weixh@gsau.edu.cn

effective inhibition of the seeds germination and growth rates were observed. The inhibitory activity in seeds crude extract treatment with the maximum concentration was considerably higher than the control. Soaking the seeds by flowing water could also improve germination rate of *G. Maxim.* seeds, which suggests that the intrinsic inhibitors was another cause of the seed dormancy. All different treatments significantly improved germination profiles of *G. Maxim.* seeds. Germination rate, germination potential, germination index, and vigor index of seeds soaked in 1.5% potassium permanganate solution for 10 min were significantly higher than the other treatments ($P < 0.05$). The germination rate of the seeds treated with 1.5% potassium permanganate solution reached up to 90%, which increased 45%, 20% and 106.9% as compared to that of the seeds treated with flowing water, 500 mg/L penicillin, and the control treatment, respectively; and increased about 10% and 8% compared with 1 mol/L sulfuric acid and 500 mg/L gibberellic acid treatments, respectively. As compared to the control, the germination potential, germination index, and vigor index of seeds soaked in 1.5% potassium permanganate solution increased 521.43%, 266.71%, 709.66%. Inhibitory activity of crude extracts of *G. Maxim.* seeds after soaking 10 min in potassium permanganate solution on germination of cabbage seeds was lower than the unhandled seeds, especially significantly lower at concentrations of 0.02 to 0.04 g/mL, and soaking 24 h in 500 mg/L gibberellic acid solution was higher at high concentrations of 0.08 to 0.16 g/mL, which indicates that potassium permanganate treatment could weaken the activity of intrinsic inhibitors of the seeds. In summary, the main causes of *G. Maxim.* seeds dormancy belong to the combinational dormancy, *i. e.* the seed capsule mechanical barrier and intrinsic inhibitors, and soaking the seeds by 1.5% potassium permanganate solution is suggested before planting or nursery.

Key Words: *Gentiana straminea* Maxim. seeds; dormancy; germination; intrinsic inhibitors

种子休眠是植物适应环境的繁殖策略之一,但往往给实际生产中带来不便。因此,研究生产中如何破除种子休眠,具有重要的理论和现实意义。近年来,国内外对打破种子休眠和提高种子发芽率的方法已有大量报到,如变温和冷湿层积等因素有利于打破苔草(*Carex*)种子的休眠^[1];利用外源赤霉素处理拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)种子及赤霉素结合机械处理宫灯百合(*Sandersonia aurantiaca*)种子均能提高种子的发芽率^[2-3];郑蔚虹等^[4]通过采用青霉素、过氧化氢和高锰酸钾浸种沙棘(*Hippophae rhamnoides*)种子,结果显示3%过氧化氢、250 mg/L青霉素和0.15%高锰酸钾浸种能够显著提高种子的活力,促进种子萌发及幼苗生长;于晓等^[5]认为延长储藏时间和划破种皮均能显著提高盐生草(*Halogeton glomeratus*)种子的萌发率。另外,有关植物种子休眠原因也有大量报道,如Pérez-García等^[6]对半日花(*Helianthemum soongoricum*)种子进行不同的处理,结果表明人工去种皮的种子发芽率最高,种皮不透性是造成其休眠的主要原因。王艳华等^[7]研究了大山樱(*Prunus sargentii*)种子种胚、内种皮和外种皮浸提液对白菜籽萌发的影响,结果表明内源抑制物是大山樱种子休眠的因素之一。Debeaujon等^[8]指出,胚的生理休眠主要是抑制剂如脱落酸(abscisic acid, ABA)浓度过高,而促进剂如赤霉素(gibberellin acid, GA)等浓度过低所致。杨期和等^[9]论述了胚休眠可以是形态的、生理的或二者兼而有之。

秦艽是我国三级重点保护野生药材之一,有大叶秦艽(*Gentiana macrophylla* Pall.)、麻花秦艽(*G. straminea* Maxim.)、粗茎秦艽(*G. crassicaulis* Duthie ex Burk.)和小秦艽(*G. dahurica* Fisch.)等。秦艽种子因存在休眠问题、发芽速率慢、出苗不齐整以及当年种子发芽率仅为20%左右,给秦艽的大规模生产栽培带来极大不便。关于提高秦艽种子发芽的相关研究已有报道,如刘丽莎等^[10]和滕红梅等^[11]利用赤霉素浸泡秦艽种子,20℃培养后均极大提高了种子发芽率,但秦艽种子休眠原因和破除休眠方法的研究鲜有报道。本文选用麻花秦艽种子作为研究材料,深入系统地探讨其休眠机制和打破休眠的方法,为人工驯化和大规模生产栽培提供理论和技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为麻花秦艽种子。2010年11月采集于甘肃省陇西市首阳镇,通风后熟干燥贮藏。种子呈圆

形、椭圆形, 表皮呈红褐色, 净度分析后过 40 目筛, 取饱满、均匀一致的颗粒。

1.2 试验设计与测定方法

1.2.1 麻花秦艽种子透水性

取 2 g 种子, 分别在天平(1/10000)上精确称量后放入 50 mL 烧杯中, 于蒸馏水中 20 ℃ 恒温浸泡, 每隔 2 h 取出种子, 擦干后准确称重, 直至 36 h 结束。计算种子吸水率, 重复 3 次:

$$\text{种子吸水率}(\%) = [(\text{吸水后种子质量} - \text{吸水前种子质量}) / \text{吸水前种子质量}] \times 100$$

1.2.2 麻花秦艽种子粗提物的制备及活性测定

(1) 种子粗提物制备 采用浸提法, 参考赵敏等^[12]的方法。称取麻花秦艽种子 20 g 在研钵中研碎, 加 3 倍体积水, 置于 56 ℃ 下浸提 24 h。过滤后残渣再浸提 2 次, 每次浸提 12 h, 合并 3 次浸提液, 56 ℃ 下浓缩成 100 mL, 即浓度为 0.2 g/mL 粗提物溶液。

(2) 粗提物对小麦生长的影响 参考赵敏等^[12]的方法, 设置粗提物浓度为 0 (对照)、0.08、0.12 和 0.16 g/mL, 于有双层滤纸的培养皿中加入 6 mL 的粗提物溶液, (28±1) ℃ 培养皿($d=90$ mm) 黑暗中培养。24 h 后统计和计算处理组发芽率、地上部分和地下部分的长度以及叶绿素含量分别为对照的百分率。叶绿素的含量测定参照邹琦的方法^[13]。

(3) 粗提物对白菜萌发的影响 参考赵敏等^[12]的方法, 设置浓度为 0 (对照)、0.02、0.04、0.08、0.12 和 0.16 g/mL, 加入 6 mL 的粗提物溶液, (24±1) ℃ 培养皿黑暗中培养, 保持培养皿湿润, 24 h 测定发芽率, 48 h 测量根长, 并计算内源抑制物活性:

$$\text{抑制活性} = 1 - \text{处理组发芽率(根长)} / \text{对照发芽率(根长)} \times 100\%$$

(4) 粗提物对自身种子萌发的影响 麻花秦艽种子用 10% 氯化汞溶液消毒 5 min, 于蒸馏水中浸泡 24 h 后置于双层滤纸的培养皿中, 每培养皿 50 粒(随机选取), 每处理 4 个重复, 20 ℃ 恒温黑暗培养。设置粗提物浓度为 0.05、0.1、0.15 和 0.2 g/mL, 向培养皿中加入不同浓度 6 mL 的粗提物溶液, 称重法保持培养皿湿润, 培养 14 d 后结束种子萌发试验, 统计种子发芽率, 测量根长。以上所有实验重复 3 次。

1.2.3 破除麻花秦艽种子休眠的方法

将消毒的麻花秦艽种子在蒸馏水中浸泡 24 h 后, 作如下处理: ①对照处理; ②20 ℃ 流水浸泡 24 h; ③500 mg/L 赤霉素(GA_3)和青霉素(penicillin, 医用注射)溶液浸泡 24 h; ④高锰酸钾(KMnO_4)溶液, 浓度为 1.5% 浸泡 10 min; ⑤1 mol/L 硫酸(H_2SO_4)浸泡 40 min。浸泡完成倒去溶液, 用蒸馏水冲洗, 置于双层滤纸的培养皿中, 每个培养皿 50 粒(随机选取), 每处理重复 4 次, 同一时间段培养。培养箱中 20 ℃ 恒温培养, 其中 KMnO_4 处理为光照培养, 其它处理为黑暗培养。保持培养皿湿润, 每天进行观测, 第 8 天测定发芽势(GP), 第 14 天统计发芽率(GR)、发芽指数(GI)和活力指数(VI), 测量根长。

$$\text{发芽势}(\%) = (\text{第 8 天发芽数} / \text{供试种子总数}) \times 100$$

$$\text{发芽率}(\%) = (\text{第 14 天发芽数} / \text{供试种子总数}) \times 100$$

$$\text{发芽指数} = \sum G_t / D_t$$

其中, G_t 为发芽后第 t 日的发芽数, D_t 为 G_t 对应的发芽天数。

$$\text{活力指数} = \text{发芽指数} \times \text{根长}$$

1.2.4 抑制物清除

各取 20 g 麻花秦艽种子, 消毒, 40 mL 蒸馏水中浸泡 24 h 后, 作如下处理: 40 mL 500 mg/L 赤霉素浸泡 24 h、40 mL 1.5% 高锰酸钾浸泡 10 min 和不做任何处理。处理完成后参照 1.2.2 制备种子粗提物及其活性测定。设置粗提物的浓度为 0 (对照)、0.02、0.04、0.08、0.12 和 0.16 g/mL, 用白菜作生物测定, 24 h 后测定发芽率, 计算处理组发芽率为对照发芽率的百分率。

1.3 数据分析

采用 SPSS 18.0 和 Excel 2003 软件进行数据分析和图表绘制, 用 Duncan 法对上述指标进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 麻花秦艽种子的透水性

图 1 表明 20 ℃时麻花秦艽种子的吸水率随浸种时间的延长呈抛物线型变化,由其可知种子 20 ℃时吸水过程符合 Logistic 曲线方程。利用 Logistic 曲线方程直线化拟合结果及估算的各参数见图 2 和表 1,吸水率对应浸种时间的 Logistic 直线化方程为 $y'=0.8827-0.4034x$ ($R^2=0.9777, P<0.01$)。可知,20 ℃时 2 g 麻花秦艽种子浸水后立即吸胀,浸种 2.19 h 吸水速度最快,为急剧吸水期;浸种 5.45 h 后吸胀高峰结束,进入稳定吸水期;至浸种 8.13 h 后吸胀结束为吸水饱和期,最大速率为 28.72 g/h。表明麻花秦艽种子透水性良好,种胚能快速吸收足够的水分。因此,推断种皮透性水不是引起麻花秦艽种子休眠的原因。

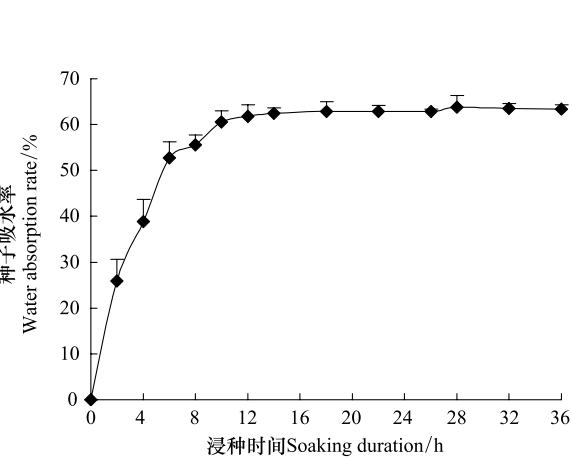


图 1 20 ℃麻花秦艽种子吸水率随浸泡时间的变化
Fig.1 Changes of water absorption of *G. straminea* Maxim. seed to soaking time under 20 ℃

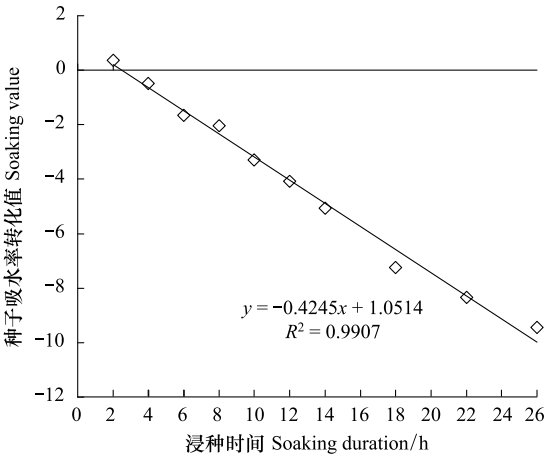


图 2 20 ℃下麻花秦艽种子吸水率与浸种时间配合 Logistic 方程直线化拟合结果 ($n=11\times 3$)
Fig.2 Linear response of water absorption of *G. straminea* Maxim. seed to soaking time based on Logistic equation under 20 ℃

表 1 麻花秦艽种子吸水率与浸种时间配合 Logistic 方程估计的参数

Table 1 The estimated parameters based on Logistic equation fitting soaking rate with soaking duration in <i>G. straminea</i> Maxim	
与浸种时间配合的 Logistic 方程估计的各参数 The parameters estimated by Logistic equation combined with soaking time	吸水率/% Water absorption rate
高峰起始 Maximum starting time(t_1)	0.00
高峰结束时间 Maximum finishing time(t_2)	5.45
终期 Ferminating time(t_3)	13.58
最大速率到达时间 The time of maximum rate(T_M)	2.19
始增期持续天数 The start duration(T_1)	0.00
快增期持续天数 The fast increase duration(T_2)	5.45
稳增期持续天数 The stable increase duration(T_3)	8.13
最大速率 Maximum rate(V_{max})	28.72

2.2 麻花秦艽种子粗提物的生物活性研究

2.2.1 种子粗提物对小麦生长的影响

粗提物对小麦种子的发芽率及地上部分和地下部分的生长均有明显的抑制作用,且随着其浓度增大,抑制作用显著增强(表 2)。粗提物浓度为 0.16 g/mL 时,小麦种子发芽率、地上部分和地下部分的长度分别较 0.08 g/mL 极显著降低 37.61%、30.09% 和 42.67% ($P<0.01$),其中对小麦地下部分生长抑制作用最强,说明麻花秦艽种子中可能存在内源抑制物,对小麦种子萌发及幼苗生长有明显抑制作用。但不同浓度粗提物作用下小麦叶绿素含量为对照组的百分率之间差异不显著,说明粗提物虽然对小麦幼苗生长产生抑制,但未干扰

叶绿素合成。

2.2.2 种子粗提物对白菜萌发的影响

随着粗提物浓度的增大,内源抑制物的活性则越大,对白菜种子发芽率和根的抑制作用越强,表明粗提物对白菜种子的萌发有明显的抑制作用(图3)。当浓度为0.02 g/mL时,抑制活性最低;当浓度达0.16 g/mL时,抑制活性最强,后者较前者对发芽率和根长的抑制活性分别极显著提高342.13%、66.14%。进一步说明了麻花秦艽种子存在影响种子萌发的内源抑制物。

表2 麻花秦艽种子粗提物对小麦种子萌发和幼苗的影响

Table 2 Effect of crude extract from *G. straminea* Maxim. seeds on germination and seedling of wheat

粗提物浓度 Crude extract concentration/(g/mL)	处理组发芽率与 对照比值 GR/(CK/%)	处理组地上部分长度为 对照组的百分率 Length of shoots/(CK/%)	处理组地下部分长度为 对照组的百分率 Underground parts/(CK/%)	处理组叶绿素含量为 对照组的百分率 Concent of chlorophyll/(CK/%)
0	100±0.00aA	100.00±0.00aA	100.00±0.00aA	100.00±0.00bA
0.08	83.68±8.69bB	91.66±5.80aAB	84.64±2.51bB	113.31±9.44abA
0.12	66.83±8.09cC	81.88±5.75bB	65.10±3.29cC	133.38±1.19abA
0.16	52.21±4.70dC	64.08±4.61cC	48.52±4.73dD	125.21±6.97aA

数据为平均值±标准差; 同列不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$), 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

2.2.3 种子粗提物对种子自身萌发的影响

粗提物对自身种子的萌发和幼苗有着明显的抑制作用(表3)。随着粗提物浓度的增大,发芽率和根长与对照相比,其比率(%)均有所降低。当浓度为0.05 g/mL时其发芽率与根长为对照的百分率最大,较0.2 g/mL浓度的发芽率和根长为对照的百分率极显著降低,分别降低47.70%和61.11%。发芽率为对照的百分率随浓度的增大而递减,而粗提物浓度为0.15 g/mL时,根长为对照的百分率最低为52.94%。更进一步说明麻花秦艽种子存在内源抑制物。

2.3 不同处理对麻花秦艽种子萌发的影响

采用1.5%高锰酸钾和500 mg/L赤霉素等处理对麻花秦艽种子破除休眠进行试验,结果表明,适宜的处理对麻花秦艽种子萌发有促进作用,均可打破麻花秦艽种子的休眠(表4),处理种子最早在第5天发芽,比对照提前2 d。1.5%高锰酸钾处理发芽率最高,达90%,与流水浸泡、500 mg/L青霉素和对照比差异极显著,分别提高45.16%、20%和106.90%;比1 mol/L硫酸处理,发芽率显著提高9.76%($P<0.05$);但与500 mg/L赤霉素处理比较,发芽率仅提高了7.78%,差异不显著。

由表4可知,1.5%高锰酸钾处理麻花秦艽种子发芽势较流水浸种、500 mg/L青霉素和对照极显著提高435.29%、121.95%和521.43%,较1 mol/L硫酸和500 mg/L赤霉素显著提高24.08%、35.82%;发芽指数较流水浸种、500 mg/L青霉素和对照极显著提高158.00%、78.10%、和266.71%,较1 mol/L硫酸和500 mg/L赤霉素显著提高24.04%、19.94%;活力指数较流水浸种、500 mg/L青霉素、对照、1 mol/L硫酸和500 mg/L赤霉素均分别极显著提高364.33%、251.00%、709.66%、111.76%、85.11%。发芽活力可以反映种子萌发动力,发芽指数和发芽势均可揭示种子萌发的速度和整齐度。因此,1.5%高锰酸钾光照培养发芽质量最佳。

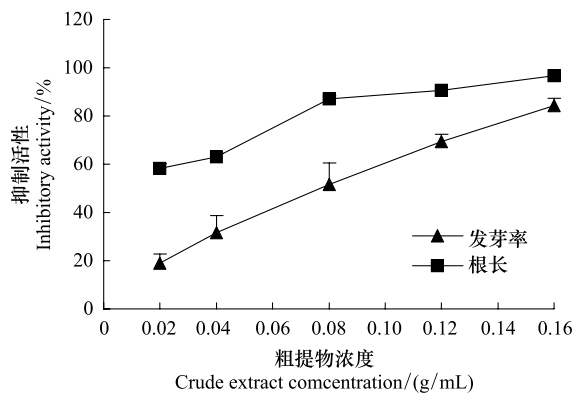


图3 麻花秦艽种子粗提物对白菜萌发和根长的影响

Fig.3 Effect of crude extract from *G. straminea* Maxim. seeds on germination and radicle growth of cabbage

表 3 麻花秦艽种子粗提物对麻花秦艽种子发芽的影响

Table 3 Effects of crude extracts from *G. straminea* Maxim. seeds on germination of *G. straminea* Maxim.

	粗提物浓度 Crude extract concentration/(g/mL)				
	0	0.05	0.1	0.15	0.2
处理组发芽率为对照百分率 <i>GR</i> /(CK/%)	100±0.00aA	78.21±1.77bB	68.11±1.31cC	57.15±0.74dD	52.95±0.78eE
处理组根长为对照百分率 Radicile length/(CK/%)	100±0.00aA	88.45±10.38abAB	79.08±7.36bB	52.94±5.09cC	54.90±8.49cC

同行不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$),不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)

表 4 不同处理麻花秦艽种子的发芽特性

Table 4 Germinative characteristics of *G. straminea* Maxim. seeds under different treatment

处理 Treatment	发芽开始天数 Days beginning/d	发芽势 <i>GP</i> /%	发芽率 <i>GR</i> /%	发芽指数 <i>GI</i>	活力指数 <i>VI</i>
CK	7	7.00±2.58dC	43.50±1.91eD	7.12±0.93dD	2.38±0.28cD
1.5% KMnO_4	5	45.50±11.12aA	90.00±4.32aA	26.11±3.63aA	19.27±2.39aA
流水浸种 Flowing water	7	8.50±1.00dC	62.00±4.16dC	10.12±0.39dD	4.15±0.27bcdCD
1 mol/L H_2SO_4	6	36.67±4.16abA	82.00±6.93bAB	21.05±1.09bB	9.10±0.27bB
500 mg/L 赤霉素 (GA_3)	5	33.50±8.70bAB	83.50±5.51abAB	21.77±3.02bAB	10.41±2.11bB
500 mg/L 青霉素 Penicillin	5	20.50±6.61cBC	75.00±3.46cB	14.66±1.20cC	5.49±0.46cC

同列不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$),不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)

2.4 高锰酸钾和赤霉素处理后麻花秦艽种子内源抑制物的变化

采用高锰酸钾和赤霉素处理的麻花秦艽种子制备的粗提物,对白菜种子进行生物活性分析,图 4 显示,该粗提物依然对白菜种子萌发及幼苗生长具有抑制作用,且随着浓度的增大,抑制作用也随之增强。经高锰酸钾处理的不同浓度粗提物培养的白菜种子,其发芽率为对照发芽率的百分率均高于未处理,说明高锰酸钾处理的种子其粗提物抑制作用均低于未处理,尤其浓度为 0.02 g/mL 时,其发芽率与对照发芽率比值较未处理显著提高了 26.33%。当浓度为 0.08—0.16 g/mL 时,经赤霉素处理的种子其粗提物抑制作用明显强于未处理种子;当浓度为 0.02—0.04 g/mL 时,抑制作用显著低于未处理,说明赤霉素处理可能导致种子内源抑制物的增加。浓度为 0.02 g/mL 的赤霉素处理的种子粗提物培养的白菜种子,其发芽率为对照发芽率的百分率较未处理显著提高了 18.40%,这可能是粗提物浓度较低,而赤霉素促进了白菜种子的萌发。因此,高锰酸钾处理减弱了麻花秦艽种子内源抑制物的活性。

3 讨论

3.1 影响麻花秦艽种子休眠的主要因素

本试验供试种子为当年采收,干燥贮藏后熟,于 2011 年 3 月份实验。本研究中,1)20 ℃ 时麻花秦艽种子浸种 2.19 h 后吸水速率最大为 62.84%,8.13 h 后吸水饱和,其吸水过程所表现的 3 个阶段,符合种子的吸水规律,说明麻花秦艽种皮对种子吸水无阻碍作用。秦艽喜生长在雨水充足,气候冷凉,光照充足的高山地区,20 ℃ 是秦艽种子最适发芽温度^[10-11],此时麻花秦艽呈现的无阻碍吸水是环境选择的结果。2)经 1.5% 高锰酸钾和 1 mol/L 硫酸处理腐蚀的麻花秦艽种子均打破了休眠,发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数各指标均

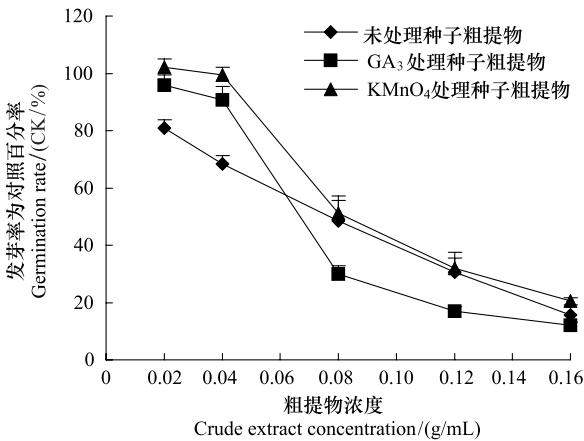


图 4 不同处理的麻花秦艽种子粗提物对白菜萌发的影响
Fig. 4 Effect of crude extract from *G. straminea* Maxim. seeds of different treatment on germination of cabbage

极显著高于对照,表明麻花秦艽种皮存在着机械障碍,这与溪荪(*Iris sanguinea*)^[14]的研究结果相似。3) 流水浸泡可提高麻花秦艽种子的发芽率,说明种子内可能含有萌发抑制物,这与赵敏等^[12]报道膜荚黄芪 [*Astragalus membranaceus*(Fisch.) Bunge] 温水浸种的结果相似;同样其种子粗提物对小麦和白菜萌发和生长具有明显的抑制作用,也说明麻花秦艽种子内含萌发抑制物;另外,这些粗提物对麻花秦艽种子自身萌发也产生了较强的抑制作用,更证明了这一点。正如 Debeaujon 等^[8]指出,胚的生理休眠主要是因为抑制剂的浓度过高,而促进剂浓度过低所致。赵敏等^[12]对膜荚黄芪 [*Astragalus membranaceus*(Fisch.) Bunge] 内源抑制物的研究表明膜荚黄芪存在内源抑制物。Amritphale 等^[15]指出,葫芦科(*Cucurbitaceae*)种子外胚乳中存在的抑制物质 ABA 能够通过抑制 β -1,3-葡聚糖酶的表达影响外胚乳中内含物的代谢,从而抑制珠孔端胚乳的降解与破裂,延缓种子的萌发。喻梅等^[16]研究野生鸭儿芹(*Cryptotaenia japonica*)种子休眠及破除方法,研究结果表明内源抑制物是种子休眠的原因之一,清水浸种和低温冷藏共同处理可有效解除其休眠。可知,已经完成后熟的麻花秦艽种子的休眠属于综合休眠(combination dormancy, PY+PD)^[17],即种皮机械障碍和内源抑制物是影响麻花秦艽种子休眠的主要因素。种子休眠是调节萌发最佳时间和空间分布的一个方法,具有极其重要的生态学意义^[9],例如时间分布是通过扩大萌发时期来实现的,如滕红梅等试验结果显示秦艽种子 80 多天后仍有发芽^[11],有利于种的生活和传播。在不同生境中,及不同空间上也有差异,如低温打破种子休眠则在气候温暖的地区很难萌发,而且光敏性强的种子,在阳光照射不到的地方不足以解除休眠。而秦艽生长在海拔较高地区,喜冷凉气候。因此,麻花秦艽种子的综合休眠是生态环境选择的生存方式,可使之与外界环境相适应。

3.2 破除麻花秦艽种子休眠的处理

种子休眠是植物对外界自然环境的一种适应性行为,能够防止种子在不适宜的环境中萌发。但在生产上需要种子快速、整齐的发芽,来满足生产的实际需要。一些研究表明,高锰酸钾、赤霉素、青霉素、硫酸处理均可以打破种子休眠^[4,18-21],促进种子萌发。高锰酸钾和硫酸处理可以腐蚀和氧化种皮,也可以氧化种皮中含有的可以抑制种子萌发的物质,同时又打破了胚发育时种皮的机械阻力,增加透水性、透气性,从而打破种子休眠^[4,18]。赤霉素增强了 α -淀粉酶的 mRNA 转录,导致 α -淀粉酶^[19]合成增加,加强了种子有氧呼吸,加大胚的生长速度,提高了种子的发芽率。青霉素亦有诱导植物 α -淀粉酶形成和促进生长等作用,类似于生长素、赤霉素和细胞分裂素^[20-21]。麻花秦艽种子采摘后需通风后熟处理 5—7 d,干燥贮藏,自然条件下虽种子生活力高达 94.3%,但发芽率仅为 20%,可知种子处于休眠状态。根据前期的一些实验与结果(高锰酸钾、硫酸等不同浓度,光照或黑暗培养的实验),本研究采用 1.5% 高锰酸钾(光照)、500 mg/L 赤霉素、500 mg/L 青霉素、1 mol/L 硫酸溶液和流水浸种处理麻花秦艽种子,达到了打破种子休眠的目的,缩短发芽时间和提高发芽效果。高锰酸钾是一种强氧化剂,解除了麻花秦艽种子的种皮障碍,并为种子萌发提供氧元素和微量元素锰(Mn),极大地加强了种子破皮后的呼吸和营养作用;光照下能够诱导种子内部细胞分裂素(cytokinin, CTK)含量的增加,从而使 CTK 能够拮抗种子内源抑制物如脱落酸的作用。高锰酸钾可以清除麻花秦艽种子的内源抑制物,因此,在播种或育苗前可用 1.5% 高锰酸钾处理 10 min 自然光下破皮萌发。

References:

- [1] Kettenring K M, Galatowitsch S M. Temperature requirements for dormancy break and seed germination vary greatly among 14 wetland *Carex* species. *Aquatic Botany*, 2007, 87(3): 209-220.
- [2] Karssen C M, Lacka E. A revision of the hormone balance theory of seed dormancy; studies on gibberellin and/or abscisic acid deficient mutants of *Arabidopsis thaliana* // Bopp M. *Plant Growth Substances* 1985. Berlin: Springer-Verlag, 1986:315-323.
- [3] Zhou X Y, David W F, Ed R M. Seed dormancy of *Sandersonia aurantiaca* broken by interaction of GA₃ and mechanical treatment. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, 12(5):70-76.
- [4] Zheng W H, Leng J M. Effect on germination of seed and growth of seedling by Penicillin, Hydrogen Peroxide and Potassium Permanganate to *Hippophae rhamnoides*. *Seed*, 2003, 22(6):21-22, 29-29.
- [5] Yu X, Yan C, Wei Y. Germination of dimorphism seeds in *Halogeton glomeratus* (*Chenopodiaceae*). *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3):

1616-1621.

- [6] Pérez-García F, González-Benito M E. Seed germination of five *Helianthemum* species: effect of temperature and pre sowing treatments. *Journal of Arid Environments*, 2006, 65(4):688-693.
- [7] Wang Y H, Gao S M, Li F L, Zhao W, Lu L. Discussion of dormancy mechanism of *Prunus sargentill* seeds. *Seed*, 2005, 24(5):12-16.
- [8] Debeaujon I, Koornneef M. Gibberellin requirement for *Arabidopsis* seed germination is determined both by testa characteristics and embryonic abscisic acid. *Plant Physiology*, 2000, 122(2):415-424.
- [9] Yang Q H, Ye W H, Song S Q, Yin S H. Summarization on causes of seed dormancy and dormancy polymorphism. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2003, 23(5):837-843.
- [10] Liu L S, Ji K P. Germination characters of seed of *Gentiana macrophylla*. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2002, 33(3):269-271.
- [11] Teng H M, Cao X L, Wan Z Z. Effects of different culture conditions and pretreatments on the seed germination of *Gentiana macrophylla* Pall. *Seed*, 2008, 27(11):87-88,91.
- [12] Zhao M, Wan Y. Elementary studies on intrinsic inhibitor that retards germination of seed of *Astragalus membranaceus*. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2001, 32(7):643-646.
- [13] Zou Q. *Experiment Guide of Plant Physiological*. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [14] Eunju L, Jeachul K. Improvement of Seed Germination in Native *Iris Sanguinea* Donn ex Hom. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 2002, 20(4):345-351.
- [15] Amritphale D, Yoneyama K, Takeuchi Y, Ramakrishna P, Kusumoto D. The modulating effect of the perisperm-endosperm envelope on ABA-inhibition of seed germination in cucumber. *Journal of Experimental Botany*, 2005, 56(418):2173-2181.
- [16] Yu M, Zhou S B, Wu X Y, Wang J, Chang L L, Wang J M. Dormancy break approaches and property of dormant seeds of wild *Cryptotaenia japonica*. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(4):1347-135.
- [17] Baskin C, Baskin J M. *Determining Dormancy-Breaking and Germination Requirements from the Fewest Seeds*. Washington: Island Press, 2004, 162-179.
- [18] Cheng G Y, Tang X J, Gao H B, Shen X H. Dormancy mechanism and relieving techniques of seeds of *Taxus cuspidata* Sieb. et Zucc. *Journal of Beijing Forestry University*, 2004, 26(1):5-9.
- [19] Yu L, Wan Y R, Zhang J H, Sun J H, Dong Q. Studies on dormancy characteristics of *Cleistogenes songorica* and *Plantago lessingii* seed and some methods for breaking it. *Acta Prataculturae Sinica*, 2004, 13(6):45-49.
- [20] Zhu J H, Fu X H. Effect of penicillin on seed germination and seedling growth of several crops. *Plant Physiology Communications*, 1995, 31(5):344-346.
- [21] Li H H, Pan R C. Role of penicillin in higher plant. *Plant Physiology Communications*, 1987, 23(5):1-6.

参考文献:

- [3] 邹琇莹, Fountain D W, Morgan E R. 赤霉素及机械处理的相互作用对破除 *Sandersonia aurantiaca* 种子休眠的研究. *草业学报*, 2003, 12(5):70-76.
- [4] 郑蔚虹, 冷建梅. 青霉素、过氧化氢和高锰酸钾浸种对沙棘种子萌发及幼苗生长的影响. *种子*, 2003, 22(6):21-22, 29-29.
- [5] 于晓, 严成, 魏岩. 盐生草 (*Halogeton glomeratus*) 二型种子的休眠与萌发. *生态学报*, 2009, 29(3):1616-1621.
- [7] 王艳华, 高述民, 李凤兰, 赵伟, 孙玉红, 路莲. 大山樱种子休眠机理的探讨. *种子*, 2005, 24(5):12-16.
- [9] 杨期和, 叶万辉, 宋松泉, 殷寿华. 植物种子休眠的原因及休眠的多形性. *西北植物学报*, 2003, 23(5):837-843.
- [10] 刘丽沙, 姬可平. 秦艽种子发芽特性的研究. *中草药*, 2002, 33(3):269-271.
- [11] 滕红梅, 曹晓燕, 王喆之. 不同培养条件及预处理对秦艽种子萌发的影响. *种子*, 2008, 27(11):87-88, 91.
- [12] 赵敏, 王炎. 膜荚黄芪种子萌发抑制物质特性的初步研究. *中草药*, 2001, 32(7):643-646.
- [13] 邹琦. *植物生理学实验指导*. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 喻梅, 周守标, 吴晓艳, 汪劼, 常琳琳, 王继明. 野生鸭儿芹种子休眠特性及破除方法. *生态学报*, 2012, 32(4):1347-1354.
- [18] 程广有, 唐晓杰, 高红兵, 沈熙环. 东北红豆杉种子休眠机理与解除技术探讨. *北京林业大学学报*, 2004, 26(1):5-9.
- [19] 鱼小军, 王彦荣, 张健全, 孙建华, 董强. 无芒隐子草和条叶车前种子破除休眠研究. *草业学报*, 2004, 13(06):45-49.
- [20] 朱建华, 富新华. 青霉素对几种作物种子发芽率和幼苗生长的影响. *植物生理学通讯*, 1995, 31(5):344-346.
- [21] 李海杭, 潘瑞炽. 青霉素在高等植物中的作用. *植物生理学通讯*, 1987, 23(5):1-6.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 15 Aug. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review on the application of remote sensing in mangrove ecosystem monitoring SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, GUO Wenyong, et al (4523)
- Urban metabolism process based on emergy synthesis: Theory and method LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (4539)
- Theoretical considerations on ecological civilization development and assessment ZHAO Jingzhu (4552)

Autecology & Fundamentals

- Assemblage composition and distribution of meiobenthos in the Yangtze Estuary and its adjacent waters in autumn-winter season Yu Tingting, XU Kuidong (4556)
- Ecological distribution and nutrient limitation of phytoplankton in adjacent sea of Guanhe Estuary in spring FANG Tao, HE Xinran, FENG Zhihua, et al (4567)
- The distribution of urea concentrations and urease activities in the coastal waters of Hainan Island during the spring HUANG Kaixuan, ZHANG Yun, OU Linjian, et al (4575)
- Effects of simulated acid rain on growth and bleeding sap amount of root in *Quercus mongolica* LIANG Xiaoqin, LIU Jian, DING Wenjuan, et al (4583)
- Allelopathic effects of organic acid allelochemicals on melon ZHANG Zhizhong, SUN Zhihao, CHEN Wenhui, et al (4591)
- Fraction changes of oxidation organic carbon in paddy soil and its correlation with CH₄ emission fluxes WU Jiamei, JI Xionghui, HUO Lianjie, et al (4599)
- Changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables with single or multiple application of dicyandiamide WANG Huangping, ZHANG Qing, WENG Boqi, et al (4608)
- Comparison of isolation rate of mycobacteriophage in the different type soils XU Fengyu, SU Shengbing, MA Hongxia, et al (4616)
- Effects of different acidity acid rain on yield, protein and starch content and components in two wheat cultivars BIAN Yajiao, HUANG Jie, SUN Qisong, et al (4623)
- The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking LI Bingbing, WEI Xiaohong, XU Yan (4631)
- Physiological responses of four golden-leaf trees to SO₂ stress CHONG Peifang, SU Shiping (4639)
- Influence of endosulfan and its metabolites on enzyme activities in purple soil XIONG Bailian, ZHANG Jinzhong, DAI Juan, et al (4649)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal dynamics of food web energy pathways at the community-level XU Jun, ZHOU Qiong, WEN Zhourui, et al (4658)
- Population dynamics of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (4665)
- Soil ecological stoichiometry under different vegetation area on loess hilly-gully region ZHU Qiulian, XING Xiaoyi, ZHANG Hong, et al (4674)
- Adaptation strategies of reproduction of plant community in response to grassland degradation and artificial restoration LI Yuanyuan, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (4683)
- Effect of different *Cunninghamia lanceolata* plantation soil qualities on soil microbial community structure LIU Li, XU Mingkai, WANG Silong, et al (4692)
- Effects of different maize hybrids (inbreds) on the growth, development and population dynamics of *Rhopalosiphum maidis* Fitch ZHAO Man, GUO Xianru, LI Weizheng, et al (4707)
- Effects of forest canopy structure on understory vegetation characteristics of Funiu Mountain Nature Reserve LU Xunling, DING Shengyan, YOU Li, et al (4715)

- Influence of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan County, Inner Mongolia, China LIU Wei, MEN Lina, LIU Xinmin (4724)
- Cu and nutrient deficiency on different effects of growth, tolerance and mineral elements accumulation between two *Elsholtzia haichouensis* populations KE Wenshan, CHEN Shijian, XIONG Zhiting, et al (4737)
- Measurement and retrieval of leaf area index using remote sensing data in Kanas National Nature Reserve, Xinjiang ZAN Mei, LI Dengqiu, JU Weimin, et al (4744)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- An spatial ecosystem services approach based on LUCC: a case study of Ganzhou district of Zhangye City LIANG Youjia, XU Zhongmin, ZHONG Fanglei, et al (4758)
- Spatiotemporal characteristics of *Spartina alterniflora* marsh change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities ZHANG Huabing, LIU Hongyu, Hou Minghang (4767)
- Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau SHANG Wen, YANG Yongxing, HAN Dayong (4776)
- On eco-security evaluation in the Tumen River region based on RS&GIS NAN Ying, JI Zhe, FENG Hengdong, et al (4790)
- Evaluation and simulation of historical range of variability of forest landscape pattern in Huzhong area WU Zhifeng, LI Yuehui, BU Rencang, et al (4799)
- Effects of precipitation timing on aboveground net primary productivity in inner mongolia temperate steppe GUO Qun, HU Zhongmin, LI Xuanran, et al (4808)
- Research Notes**
- Litter production and decomposition of different forest ecosystems and their relations to environmental factors in different climatic zones of mid and eastern China WANG Jianjian, WANG Yongji, LAI Liming, et al (4818)

《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,探索生态学奥秘,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 赵景柱

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 15 期 (2013 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 15 (August, 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