

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第33卷 第23期 Vol.33 No.23 **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 23 期 2013 年 12 月 (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 基于树干液流技术的北京市刺槐冠层吸收臭氧特征研究..... 王 华, 欧阳志云, 任玉芬, 等 (7323)
- 三疣梭子蟹增殖过程对野生种群的遗传影响——以海州湾为例..... 董志国, 李晓英, 张庆起, 等 (7332)
- 土壤盐分对三角叶滨藜抗旱性能的影响..... 谭永芹, 柏新富, 侯玉平, 等 (7340)
- 南美斑潜蝇为害对黄瓜体内 4 种防御酶活性的影响..... 孙兴华, 周晓榕, 庞保平, 等 (7348)

### 个体与基础生态

- 模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物养分输入量的早期影响..... 肖银龙, 涂利华, 胡庭兴, 等 (7355)
- 茎瘤芥不同生长期植株营养特性及其与产量的关系..... 赵 欢, 李会合, 吕慧峰, 等 (7364)
- 雷竹覆盖物分解速率及其硅含量的变化..... 黄张婷, 张 艳, 宋照亮, 等 (7373)
- 渍水对油菜苗期生长及生理特性的影响..... 张树杰, 廖 星, 胡小加, 等 (7382)
- 广西扶绥黑叶猴的主要食源植物及其粗蛋白含量..... 李友邦, 丁 平, 黄乘明, 等 (7390)
- 氮素营养水平对膜下滴灌玉米穗位叶光合及氮代谢酶活性的影响..... 谷 岩, 胡文河, 徐百军, 等 (7399)
- PFOS 对斑马鱼胚胎及仔鱼的生态毒理效应 ..... 夏继刚, 牛翠娟, 孙麓垠 (7408)
- 浒苔干粉提取对东海原甲藻和中肋骨条藻的克生作用..... 韩秀荣, 高 嵩, 侯俊妮, 等 (7417)
- 基于柑橘木虱 CO I 基因的捕食性天敌捕食作用评估 ..... 孟 翔, 欧阳革成, Xia Yulu, 等 (7430)
- 健康和虫害的红松挥发物对赤松梢斑螟及其寄生蜂寄主选择行为的影响.....  
..... 王 琪, 严善春, 严俊鑫, 等 (7437)

### 种群、群落和生态系统

- 小麦蚕豆间作对蚕豆根际微生物群落功能多样性的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系.....  
..... 董 艳, 董 坤, 汤 利, 等 (7445)
- 喀斯特峰丛洼地不同生态系统的土壤肥力变化特征..... 于 扬, 杜 虎, 宋同清, 等 (7455)
- 黄土高原人工苜蓿草地固碳效应评估..... 李文静, 王 振, 韩清芳, 等 (7467)

### 景观、区域和全球生态

- 粉垄耕作对黄淮海北部土壤水分及其利用效率的影响..... 李轶冰, 逢焕成, 杨 雪, 等 (7478)
- 三峡库区典型农林流域景观格局对径流和泥沙输出的影响..... 黄志霖, 田耀武, 肖文发, 等 (7487)
- 基于 BP 神经网络与 ETM+ 遥感数据的盐城滨海自然湿地覆被分类..... 肖锦成, 欧维新, 符海月 (7496)
- 寒温带针叶林土壤 CH<sub>4</sub> 吸收对模拟大气氮沉降增加的初期响应..... 高文龙, 程淑兰, 方华军, 等 (7505)
- 寒温带针叶林土壤呼吸作用的时空特征..... 贾丙瑞, 周广胜, 蒋延玲, 等 (7516)

黄土高原小麦田土壤呼吸季节和年际变化..... 周小平,王效科,张红星,等 (7525)  
不同排放源周边大气环境中 NH<sub>3</sub>浓度动态..... 刘杰云,况福虹,唐傲寒,等 (7537)  
施加秸秆和蚯蚓活动对麦田 N<sub>2</sub>O 排放的影响 ..... 罗天相,胡 锋,李辉信 (7545)

### 资源与产业生态

基于水声学方法的天目湖鱼类资源捕捞与放流的生态监测..... 孙明波,谷孝鸿,曾庆飞,等 (7553)  
应用支持向量机评价太湖富营养化状态..... 张成成,沈爱春,张晓晴,等 (7563)

### 研究简报

亚热带 4 种森林凋落物量及其动态特征 ..... 徐旺明,闫文德,李洁冰,等 (7570)  
青蒿素对蔬菜种子发芽和幼苗生长的化感效应 ..... 白 祯,黄 玥,黄建国 (7576)  
NO 参与 AM 真菌与烟草共生过程 ..... 王 玮,赵方贵,侯丽霞,等 (7583)  
基于核密度估计的动物生境适宜度制图方法..... 张桂铭,朱阿兴,杨胜天,等 (7590)  
施氮方式对转基因棉花 Bt 蛋白含量及产量的影响 ..... 马宗斌,刘桂珍,严根土,等 (7601)

### 学术信息与动态

未来地球——全球可持续性研究计划..... 刘源鑫,赵文武 (7610)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 292 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 33 \* 2013-12



**封面图说:** 兴安落叶松林景观——中国的寒温带针叶林属于东西伯利亚森林向南的延伸部分,它是大兴安岭北部一带的地带性植被类型,一般可分为落叶针叶林和常绿针叶林两类。兴安落叶松林景观地下部分为棕色森林土,中上部为灰化棕色针叶林土,均呈酸性反应。随着全球气候持续变暖,寒温带针叶林生态系统潜在的巨大碳库将可能成为大气 CO<sub>2</sub> 的重要来源,研究表明,温度是寒温带针叶林生态系统土壤呼吸作用的主要调控因子,对温度的敏感性随纬度升高而增加,根系和凋落物与土壤呼吸作用表现出相似的空间变异性。

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/stxb201208221188

白祯, 黄玥, 黄建国. 青蒿素对蔬菜种子发芽和幼苗生长的化感效应. 生态学报, 2013, 33(23): 7576-7582.

Bai Z, Huang Y, Huang J G. Allelopathic effects of artemisinin on seed germination and seedling growth of vegetables. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(23): 7576-7582.

## 青蒿素对蔬菜种子发芽和幼苗生长的化感效应

白 祯, 黄 玥, 黄建国\*

(西南大学资源环境学院, 北碚 400716)

**摘要:** 试验以菜豆、豇豆、大白菜和小白菜为对象, 用不同浓度的青蒿素浸种, 研究了黄花蒿产生的化感物质——青蒿素对蔬菜种子发芽及幼苗生长的影响。结果表明, 青蒿素对蔬菜种子发芽和幼苗生长的化感作用表现出浓度效应和品种差异, 即浓度越高, 抑制作用愈强, 尤以豇豆种子发芽率和小白菜生长的表现最为明显, 前者的发芽率可降低 75.00%, 后者的苗高降幅高达 88.37%, 且胚根停止生长。青蒿素抑制同季和后季作物的种子发芽和幼苗生长, 有利于扩大黄花蒿的生存空间, 增强生存竞争优势。在黄花蒿-蔬菜种植体系中, 选择抗化感作用较强的大白菜和菜豆可提高土地利用率和整体生产水平。用青蒿素浸种后, 蔬菜幼苗的根系活力降低, 菜豆和豇豆叶绿素含量提高, 而大、小白菜降低, 均可视为妨碍生长的生理原因。此外, 青蒿素浸种还提高蔬菜种子可溶性糖和游离氨基酸含量, 推测青蒿素对种子水解酶活性的影响较小, 但抑制合成酶催化的生化反应, 导致代谢紊乱, 抑制幼苗生长。

**关键词:** 黄花蒿; 青蒿素; 蔬菜; 化感作用

## Allelopathic effects of artemisinin on seed germination and seedling growth of vegetables

BAI Zhen, HUANG Yue, HUANG Jianguo\*

College of Resources and Environment, Southwest University, Beibei, Chongqing 400716, China

**Abstract:** Artemisinin, being extracted from *Artemisia annua* L., is recommended as a firstly used drug to treat malaria by World Health Organization (WHO). During the growth and development of *Artemisia annua* L. in the field, a large amount of this anti-malarial compound could be released into soil ecosystems by rain leaching, root exudation and plant residues whereby to inhibit plant growth around *Artemisia annua* L. and microbial reproduction in soils. China is rich in cultivar resources of *Artemisia annua* L. and produces almost 90% of total artemisinin in the world. This medical plant is commercially grown in Three Gorges areas. *Phaseolus vulgaris* and *Vigna sinensis* are grown simultaneously with this medical plant and *Brassica pikenensis* and *Brassica chinensis* after *Artemisia annua* L. Scientist reported previously the growth inhibition of several vegetables after growing *Artemisia annua* L. in this areas. Therefore, allelopathic effects of artemisinin on seed germination and seedling growth of this four vegetables were studied in the present experiment. 20 healthy vegetable seeds were germinated in artemisinin solutions with variable concentrations (0, 6, 12, 24 and 48 mg/L) at 25°C for 10 days. Germination rate, embryo activities and chlorophyll in leaves were then measured. In order to know the metabolisms in seeds under artemisinin treatments, seed respiration, free amino acids and soluble sugars in seeds were also analyzed at 48th hour after soaking the seeds in artemisinin solutions. The results showed that the allelopathic effects on seed germination and seedling growth varied with artemisinin concentrations and vegetable species. The high artemisinin

基金项目: 国家科技部“973”支撑资助项目(2013CB127405); 中央高校基本科研业务费专项资金 XDKJ 资助项目(2010D002)

收稿日期: 2012-08-22; 修订日期: 2013-03-21

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huang99@swu.edu.cn

concentrations led to the strong allelopathic effects, particularly on the seed germination of *Vigna sinensis* and the seedling growth of *Brassica chinensis*. The germination rate of *Vigna sinensis* and seedling height of *Brassica chinensis* were decreased by 75.00% and 88.37%, respectively. Embryo roots of *Brassica chinensis* ceased growing in high concentration of artemisinin. This growth inhibition on other plants could benefit the existence competition and enlarge the living space of *artemisia annua* L. In cultivation systems of *artemisia annua* L. and vegetables, to grow vegetables such as *Phaseolus vulgaris* and *Brassica pikenensis* with relatively strong abilities of anti-allelopathy could increase both land use efficiencies and crop yields in the whole systems. In addition, artemisinin reduced both the root activities of the four vegetables and chlorophyll in the seedling leaves of *Brassica pikenensis* and *Brassica chinensis* but increased that in *Phaseolus vulgaris* and *Vigna sinensis*. These phenomena could be considered as a physiological reason for growth retards. Simultaneously, soluble sugars and free amino acids in seeds increased significantly under artemisinin treatment. It suggests that artemisinin changed the hydrolysis reactions little if any but inhibited synthase activities in the seeds during germination, whereby to interference the metabolisms and to retard seedling growth. Further studies are necessary to detect artemisinin concentrations in the field and to understand the allelopathic effects of this anti-malarial compound on these vegetable yields.

**Key Words:** *Artemisia annua* L.; artemisinin; vegetable; allelopathy

黄花蒿又名青蒿(*Artemisia annua* L.),为菊科1年生草本植物,已入药2000多年,具有清热解毒的功效,是中医常用中草药之一。20世纪70年代,我国科学家从黄花蒿中分离出青蒿素,黄花蒿成为提取青蒿素的唯一原料药材<sup>[1]</sup>。目前,全世界有40%左右的人口受到疟疾威胁<sup>[2]</sup>,青蒿素是世界卫生组织(WHO)推荐治疗疟疾的首选药物。

黄花蒿在生长过程中,通过根系分泌、降雨淋溶和枯枝落叶等多种途径向土壤释放化感物质——青蒿素。Karina等<sup>[3]</sup>报道,在种植黄花蒿的北欧土壤中,青蒿素平均含量为11.7 mg/kg;种植黄花蒿之后,肯尼亚土壤中青蒿素含量高达25 mg/kg<sup>[4]</sup>;土壤溶液中青蒿素浓度可能是风干土壤的5倍以上<sup>[5]</sup>。研究表明,青蒿素及其前体可调节植物生长发育<sup>[6]</sup>,抑制多种杂草的根芽和地上部生长<sup>[7-8]</sup>。当土壤中的青蒿素浓度达到6—24 mg/kg时,抑制小麦、玉米、莴苣、萝卜、油菜、甘蓝等多种作物的种子发芽和幼苗生长<sup>[9-11]</sup>。在重庆市黄花蒿种植区,后茬作物小麦、油菜、青菜也有明显的减产现象<sup>[12-13]</sup>。在土壤和水中,当青蒿素的浓度达到12 mg/kg时,对蚯蚓和绿藻产生毒害作用<sup>[14]</sup>,导致土壤肥力和水体生产力降低。因此,集约化种植黄花蒿之后,存在于土壤和水中青蒿素可能具有广泛的生态危害<sup>[8,14-15]</sup>。

植物释放的化感物质对周围其它植物产生有利或有害作用,使之处于生存竞争的优势地位,有利于扩大自己的生存空间和种群数量<sup>[16]</sup>。研究化感作用可了解生态系统中植物群落的发生、发展和演替规律,调控植物的种群结构和生长发育,减轻化感危害<sup>[17]</sup>。我国黄花蒿种质资源丰富,种植面积和产量占全世界的90%以上。重庆市是我国黄花蒿的主产区,种植面积和产量约占全国的80%<sup>[14]</sup>。菜豆、豇豆、大白菜和小白菜是当地的主要蔬菜,前两者与黄花蒿同季节,后两者是黄花蒿的后季节蔬菜,均不同程度地表现出生长抑制和减产现象。为了弄清黄花蒿对蔬菜生产的化感机理,减轻化感危害,提高土地整体生产水平,论文作者以上述四种蔬菜为对象,研究了青蒿素对种子萌发和幼苗生长的影响。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

供试蔬菜分别为菜豆(*Phaseolus vulgaris* L.)、豇豆(*Vigna sinensis* L.)、大白菜(*Brassica pikenensis*)和小白菜(*Brassica chinensis*),品种依次为芸丰623、之豇19、华良早五号和四季快熟25d,购于重庆市北碚区种子门市部。供试青蒿素购于酉阳富民青蒿科技有限公司,纯度98.7%。

### 1.2 试验方法

取健康、饱满、均匀一致的供试蔬菜种子用0.5% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消毒10 min,无菌水洗净。配制0、6、12、24、

48 mg/L的青蒿素溶液。考虑到配制高浓度的青蒿素母液需要少量的乙醇助溶,故不含青蒿素的溶液包括纯水(对照 1)和 0.01%乙醇溶液(对照 2,相当于青蒿素母液稀释后的最大乙醇浓度)。然后,在 25 °C 的条件下,分别用不同浓度的青蒿素溶液浸种至露白,取菜豆和豇豆各 20 粒种子,均匀置于底部垫有双层滤纸的塑料圆盘中(直径×深度=15 cm×3 cm),以消毒清洁的石英砂覆盖;大、小白菜则各取 50 粒种子均匀置于底部垫有一层滤纸、直径为 9 cm 的培养皿中。在 25 °C 培养箱中用无菌水保持湿润,发芽至 10d 备测有关项目。

### 1.3 测定项目与方法

以芽长超过种子长度的 1/2 为标准,计算发芽率,并测定苗高和胚根长度。然后,取幼苗根系测定其活力,幼苗叶片测定叶绿素含量。为了解发芽过程中,种子的碳氮代谢状况,在浸种后 48 h,分别测定种子的呼吸强度,游离氨基酸和可溶性糖含量。

用 TD-HX01 呼吸作用测定仪测定种子呼吸强度,TTC 法测定根系活力;乙醇-丙酮混合提取分光光度法测定叶绿素,茚三酮比色法测定游离氨基酸,蒽酮-硫酸法测定可溶性糖含量。

### 1.4 数据处理方法

利用 Excel 进行基本数据计算,DPS6.5 软件进行统计分析,LSI 多重比较法进行差异显著性检验,显著水平为  $P = 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 青蒿素对蔬菜种子发芽性状的影响

表 1 可见,0.01%的乙醇溶液浸种对蔬菜种子的发芽性状,如发芽率、苗高和胚根长度均无显著影响。但

表 1 青蒿素对菜豆和豇豆种子发芽性状的影响

Table 1 Effect of artemisinin on seed germination characters of *Phaseolus vulgaris* L and *Vigna sinensis* L

品 种 Species	青蒿素浓度/(mg/L) Artemisinin	发芽率/% germination rate	苗高/cm Seedling height	胚根长度/cm Embryo Root length
菜豆 <i>Phaseolus vulgaris</i>	0(纯水)	86.00 a	16.31 a	12.39 a
	0(0.01%乙醇)	76.00 a	15.77 a	12.19 a
	6	63.00 b	13.77 b	9.88 b
	12	50.00 c	12.93 b	7.97 c
	24	45.00 c	9.50 c	6.52 d
	48	36.00 d	8.60 c	4.10 e
豇豆 <i>Vigna sinensis</i>	0(纯水)	80.00 a	6.69 a	1.35 a
	0(0.01%乙醇)	70.00 a	6.02 a	1.22 a
	6	50.00 b	4.57 b	1.03 ab
	12	41.00 bc	3.20 c	0.92 b
	24	31.00 cd	3.15 c	0.77 b
	48	20.00 d	2.59 c	0.70 b
大白菜 <i>Brassica pikenensis</i>	0(纯水)	76.00 a	1.16 a	4.49 a
	0(0.01%乙醇)	75.00 a	1.08 a	4.31 a
	6	62.50 b	0.73 b	3.98 ab
	12	46.50 c	0.61 b	2.60 c
	24	34.50 d	0.72 b	1.90 d
	48	21.50 e	0.43 c	0.70 f
小白菜 <i>Brassica chinensis</i>	0(纯水)	85.50 a	2.58 a	4.00 a
	0(0.01%乙醇)	83.00 a	2.68 a	3.90 a
	6	70.50 b	2.14 b	4.00 a
	12	64.00 b	1.24 c	1.00 b
	24	57.00 bc	0.22 d	0.00 c
	48	51.90 c	0.30 d	0.00 c

在同一列的同一品种中,有不同字母者表示差异显著( $P = 0.05$ )

是,青蒿素显著抑制蔬菜种子发芽和幼苗生长,抑制作用随浓度增大而增强。用 12 mg/L 青蒿素溶液浸种,蔬菜种子的发芽率、苗高和胚根长度分别比纯水浸种降低了 41.86%、20.72% 和 35.67% (菜豆), 48.75%、52.17% 和 31.85% (豇豆), 38.82%、47.41% 和 42.09% (大白菜), 25.15%、51.94% 和 75.00% (小白菜)。

值得注意的是,青蒿素对蔬菜种子发芽性状的影响因蔬菜品种和发芽指标不同而异。其中,豇豆种子发芽率和小白菜幼苗生长降幅最大。当青蒿素浓度为 48 mg/L 时,豇豆发芽率降低 75.00%,小白菜苗高降低 88.37%,胚根停止生长。

## 2.2 青蒿素对蔬菜幼苗叶绿素含量的影响

青蒿素对蔬菜幼苗叶绿素含量的影响因品种不同而异。菜豆和豇豆幼苗叶绿素含量随青蒿素浸种浓度的逐渐增加而提高,大、小白菜则显著降低。用 48 mg/L 青蒿素浸种,菜豆和豇豆分别比对照提高了 56.10% 和 35.58%,大、小白菜则降低了 53.97% 和 96.36% (图 1)。

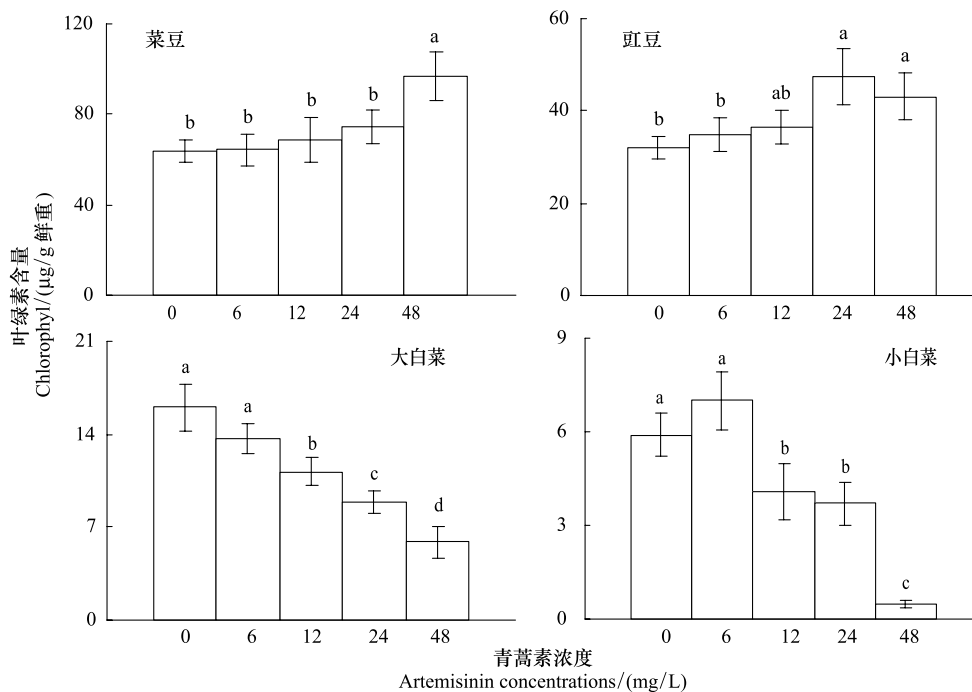


图 1 青蒿素对幼苗叶绿素含量的影响

Fig.1 Effect of artemisinin on chlorophyll contents in the leaves of young seedlings

## 2.3 青蒿素对蔬菜幼苗根系活力的影响

图 2 可见,用青蒿素浸种,随着浓度的提高,蔬菜幼苗根系活力降低,其降幅因蔬菜品种不同而异。其中,大、小白菜的降幅显著高于菜豆和豇豆。在青蒿素的浓度为 48 mg/L 时,菜豆、豇豆和大、小白菜的根系活力比对照分别降低了 7.76%、37.31%、62.62% 和 100.00%。

## 2.4 青蒿素对蔬菜种子呼吸作用的影响

图 3 可见,低浓度青蒿素刺激蔬菜种子的呼吸作用。浸种浓度为 6 mg/L,菜豆、豇豆和大、小白菜的呼吸强度分别比对照提高了 80%、50%、17.65% 和 175.0%。但是,高浓度青蒿素抑制种子呼吸。浸种浓度为 48 mg/L,它们的呼吸强度分别比对照降低了 40%、33.3%、78.5% 和 25%。

## 2.5 青蒿素对蔬菜种子可溶性糖的影响

蔬菜种子中的可溶性糖含量随青蒿素浸种浓度的提高而增加。当青蒿素浓度为 48 mg/L 时,菜豆、豇豆和大、小白菜中可溶性糖含量分别比对照提高 18.09%、43.08%、148.61% 和 53.43% (图 4)。

## 2.6 青蒿素对蔬菜种子游离氨基酸的影响

总体上,用青蒿素浸种提高种子中游离氨基酸含量。大白菜种子中的游离氨基酸含量波动较大。用浓度

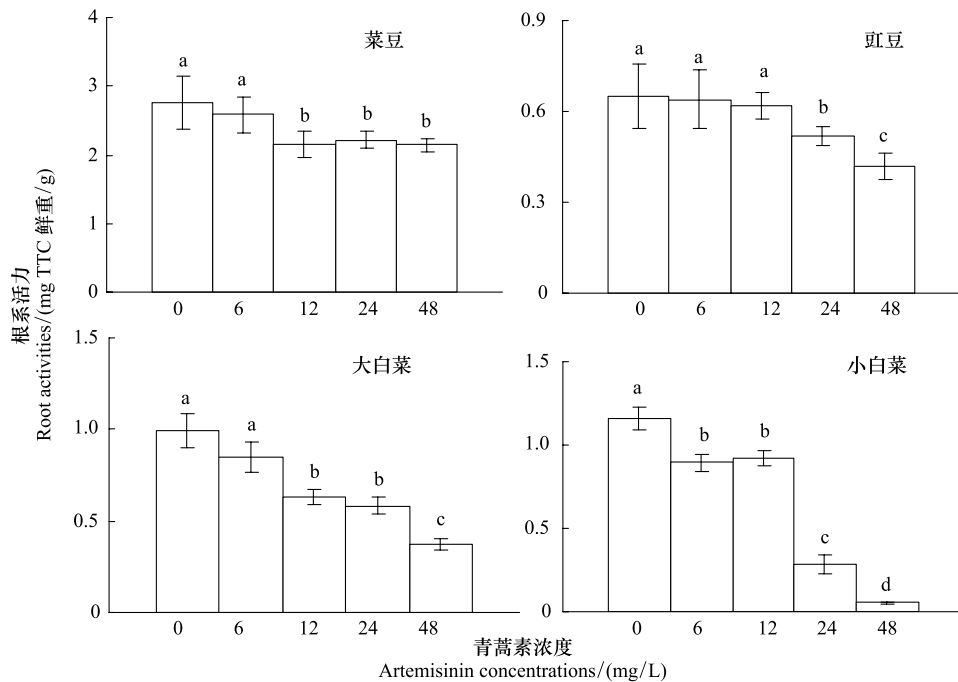


图2 青蒿素对幼苗根系活力的影响

Fig.2 Effect of artemisinin on root activities in the leaves of young seedlings

为0—12 mg/L的青蒿素浸种,小白菜种子中的游离氨基酸含量有所降低;当青蒿素的浓度为24 mg/L时,则比对照提高了45.99%。随着青蒿素浸种浓度的提高,菜豆和豇豆种子中的游离氨基酸含量持续增加,当青蒿素浓度为48 mg/L时,比对照分别提高了37.22%和39.05%(图4)。

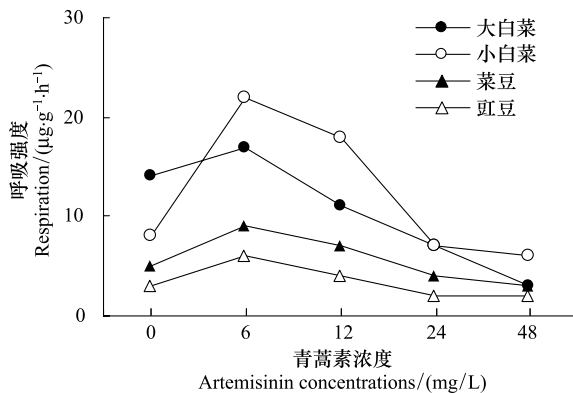


图3 青蒿素浸种对种子呼吸作用的影响

Fig.3 Effect of artemisinin on seed respiration when soaking seeds

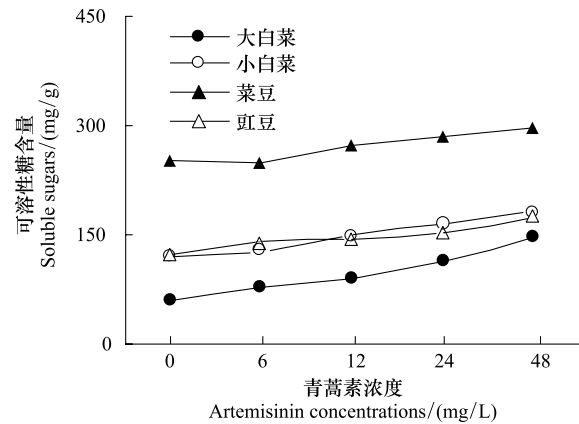


图4 青蒿素浸种对白菜种子可溶性糖的影响

Fig.4 Effect of artemisinin on soluble sugars in cabbage seeds

### 3 讨论

化感作用普遍存在于自然界中。植物利用化感作用抑制其它植物生长,使自身处于生存竞争的优势地位。番茄根系的分泌物甚至抑制自身生长<sup>[18]</sup>,胡卢巴分泌的化感物质7-羟基香豆素抑制黄瓜根细胞伸长,大葱根尖细胞的有丝分裂,致使根系的纵向生长速率降低,但促进根系的横向扩展<sup>[19-20]</sup>。青蒿素抑制同季菜豆和豇豆种子的发芽和幼苗生长,有利于扩大生存空间;对后季大、小白菜的抑制作用可减少土壤养分消耗,保证来年的养分需要和生长发育。值得注意的是,化感作用对受体作物生长的影响具有明显的浓度效应和种间差异<sup>[21-23]</sup>,青蒿素对抑制蔬菜种子发芽率和幼苗生长的化感作用均随浓度的提高而增强,其中豇豆种子发芽



率和小白菜幼苗生长对青蒿素最为敏感,类似广藿香根系分泌物对萝卜生长的影响<sup>[24]</sup>。因此,在黄花蒿—蔬菜种植系统中,选择对青蒿素相对不敏感的豇豆和大白菜,一定程度上可提高土地利用率和农业整体生产水平。

在植物体内,叶绿素含量与植物氮素营养密切相关。菜豆和豇豆幼苗叶片中叶绿素含量随青蒿素浸种浓度的增加而提高,大、小白菜则显著降低。在逆境条件下,植物生长受到抑制,植株养分含量表现出“浓缩/稀释效应”,叶绿素含量显著增加或降低<sup>[25]</sup>。因此,用青蒿素浸种,叶绿素含量的增减实际上是抑制幼苗生长的生理表现。此外,根系活力是根系代谢强度的综合反应,与养分吸收能力密切相关<sup>[26]</sup>。青蒿素导致幼苗根系活力降低,可能干扰了根系的物质能量代谢,不利于田间植株吸收土壤养分。

大量的研究表明,植物产生的化感物质影响受体植物体内的酶活性,干扰相应的物质能量代谢或信号转导<sup>[27]</sup>。青蒿素对蔬菜种子的呼吸作用表现出低促高抑的浓度效应,类似云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对百里香种子的影响<sup>[28]</sup>。小麦秸秆水浸提液能放出萜类化合物,低浓度促进黄瓜幼苗生长,高浓度则产生抑制作用<sup>[29]</sup>。在种子萌发过程中,胚乳中储存的淀粉和蛋白质经水解酶的作用形成低分子的糖类和氨基酸,再经合成作用构建植物体。用青蒿素浸种,蔬菜种子中的可溶性糖和游离氨基酸含量增加,但幼苗生长受到抑制,说明青蒿素对种子水解酶活性的影响不大,但抑制生物合成,导致代谢紊乱,妨碍幼苗生长甚至死亡。

总之,青蒿素抑制供试蔬菜的种子发芽、幼苗生长和根系活力,并表现出明显的浓度效应和种间差异。青蒿素可能降低种子碳氮代谢过程中合成反应,导致幼苗不能正常生长。

## References:

- [ 1 ] Lu S S, Wu L O, Yang Z Q. Progress of research on artemisinin in combination with other anti-malarial drugs. *Journal of Pathogen Biology*, 2009, 4(3): 232-235.
- [ 2 ] Yu Z, Wang B, Yang Z, Zhu L C. Progress of extraction and analytical methods of artemisinin and its analogues. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2011, 17(17): 294-297.
- [ 3 ] Jessing K K, Cedergreen N, Jensen J, Hansen H C B. Degradation and ecotoxicity of the biomedical drug artemisinin in soil. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2009, 28(4): 701-710.
- [ 4 ] Delabays N, Simonnet X, Gaudin M. The genetics of artemisinin content in *Artemisia annua* L. and the breeding of high yielding cultivars. *Current Medicinal Chemistry*, 2001, 8(15): 1795-1801.
- [ 5 ] Delabays N, Slacanian I, Bohren C. Herbicidal potential of artemisinin and allelopathic properties of *Artemisia annua* L. From the laboratory to the field. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2008, 21: 317-322.
- [ 6 ] Chen P K, Leather G R. Plant growth regulatory activities of artemisinin and its related compounds. *Journal of Chemical Ecology*, 1990, 16(6): 1867-1876.
- [ 7 ] Duke S O, Vaughn K C, Croom E M, Elsohly H N. Artemisinin, a constituent of annual wormwood (*Artemisia annua*), is a selective phytotoxin. *Weed Science*, 1992, 35(4): 499-505.
- [ 8 ] Lyden J, Teasdale J R, Chen P K. Allelopathic activity of annual wormwood (*Artemisia annua*) and the role of artemisinin. *Weed Science*, 1997, 45(6): 807-811.
- [ 9 ] Gao Z M, Li Y J, Gu W X. Preliminary studies on the allelopathic effects of *Artemisia annua*. *Journal of South China Agricultural University*, 2007, 28(1): 122-124.
- [ 10 ] Zhao H M, Yang S Y, Guo H R, Shen H M. Allelopathy of *Artemisia annua* on 4 receptor plants. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(11): 2292-2297.
- [ 11 ] He J, Wang S G, Ding W. Study on allelopathic effects of alcohol extracts from *Artemisia annua* L. *Journal of Southwest Agricultural University: Natural Science*, 2004, 26(3): 281-284, 288-288.
- [ 12 ] Guo H R, Shen H M, Yang S Y, Huang B G. Effect of extraction of *Artemisia annua* on activity of some enzymes in *Avena fava*. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2008, 2(1): 102-104.

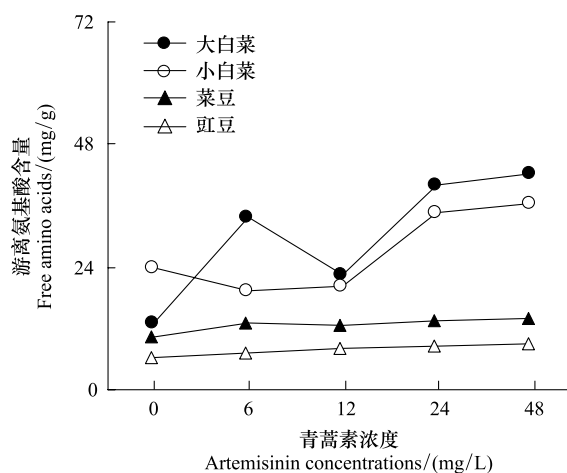


图5 青蒿素浸种对白菜种子游离氨基酸的影响

Fig.5 Effect of artemisinin on free amino acids in cabbage seeds

- [13] Mu X Q, Ma Y, Wang S, Tuo Y Q. Preliminary study of allelopathy mechanism of *Artemisia annua*. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25(5): 1025-1028.
- [14] Huang Y, Yuan L. Advances of allelopathic effect of artemisinin and related mechanisms. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2011, 39(6): 111-113.
- [15] Klayman D L. Qinghaosu (artemisinin): an antimalarial drug from China. *Science*, 1985, 228(4703): 1049-1055.
- [16] Huang Q Q, Shen Y D, Li X X, Cheng H T, Song X, Fan Z W. Research progress on the distribution and invasiveness of alien invasive plants in China. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(5): 977-985.
- [17] Gao X X, Li M, Gao Z J, Zhao Y, Zhang H J, Li Z Q, Song G C. The releasing mode of the allelochemicals in *Conyza canadensis* L. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(8): 1966-1971.
- [18] Liu Y, Jiang G Y, Jian J P, Guang J W. The study on autotoxic effect from root exudates of processing tomato. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2009, 18(4): 106-112.
- [19] Zhang Z Z, Jiang Y D, Sun Z H, Lan M F. The allelopathy of plant aqueous extract of *Oxalis corniculata* to radish and lettuce. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2012, 33(4): 704-708.
- [20] Zhang Q J, Zhagn A H, Sun J B, Zhang L X. Advances of research on allelopathic potential of terpenoids in plants. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(1): 187-193.
- [21] Yan X H, Zhang B L, Zhou B, Wang N, Yang J Q. Allelopathic activity of the extract from *Phytolacca americana*-an invasive alien plant. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2012, 28(2): 139-145.
- [22] Wang Y H, Tian M L, Jiang T T, Zhou J, Zhang J, Li W G. Allelopathy effect of seeds testa of *Paris polyphylla* Smith var. *chinensis*. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 25(1): 340-342.
- [23] Li Y B, Liu J G, Cheng X R, Zhang W, Sun Y Y. The allelopathic effects of returning cotton stalk to soil on the growth of succeeding cotton. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 4942-4948.
- [24] Li L M, Li M. Study on the allelopathy and the autotoxicity of patchouli root exudates. *Hubei Agricultural Sciences*, 2011, 50(24): 5168-5171.
- [25] Miao L H, Wang Y, Gao Y, Ji M C. The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of *Thalia dealbata* to seedling of several aquatic plants. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(14): 4488-4495.
- [26] Yang J C. Relationships of rice root morphology and physiology with the formation of grain yield and quality and the nutrient absorption and utilization. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(1): 36-46.
- [27] Chen H, Hao H R, Xiong J, Qi X H, Zhang Z Y, Lin W X. Effects of successive cropping *Rehmannia glutinosa* on rhizosphere soil microbial flora and enzyme activities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(12): 2755-2759.
- [28] Wang H, Xie Y S, Yang Y L, Chuai J F. Allelopathic effect of extracts from *Artemisia sacrorum* leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(20): 6013-6021.
- [29] Wu H Q, Dong L L, Wang Q. Allelopathy of corn and wheat straw aqueous extracts on vegetable seeds. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2009, 24(S2): 140-143.

#### 参考文献:

- [1] 卢珊珊, 吴兰鸥, 杨照青. 青蒿素类药物与其他药物配伍治疗疟疾的研究进展. *中国病原生物学杂志*, 2009, 4(3): 232-235.
- [2] 余正文, 王伯初, 杨占南, 祝连彩. 青蒿素及其类似物提取及分析方法研究进展. *中国实验方剂学杂志*, 2011, 17(17): 294-297.
- [9] 高志梅, 李拥军, 谷文祥. 青蒿化感作用的初步研究. *华南农业大学学报*, 2007, 28(1): 122-124.
- [10] 赵红梅, 杨顺义, 郭鸿儒, 沈慧敏. 黄花蒿对4种受体植物的化感作用研究. *西北植物学报*, 2007, 27(11): 2292-2297.
- [11] 何军, 王三根, 丁伟. 青蒿浸提物对小麦化感作用的初步研究. *西南农业大学学报: 自然科学版*, 2004, 26(3): 281-284, 288-288.
- [12] 郭鸿儒, 沈慧敏, 杨顺义, 黄高宝. 黄花蒿化感物质对受体燕麦化感作用机理的初步研究. *甘肃农业大学学报*, 2008, 2(1): 102-104.
- [13] 慕小倩, 马燕, 王硕, 拓亚琴. 黄花蒿化感作用机理的初步研究. *西北植物学报*, 2005, 25(5): 1025-1028.
- [14] 黄玥, 袁玲. 青蒿素的化感效应及机理研究进展. *贵州农业科学*, 2011, 39(6): 111-113.
- [16] 黄乔乔, 沈奕德, 李晓霞, 程汉亭, 宋鑫, 范志伟. 外来入侵植物在中国的分布及入侵能力研究进展. *生态环境学报*, 2012, 21(5): 977-985.
- [17] 高兴祥, 李美, 高宗军, 赵亚, 张宏军, 李志强, 宋国春. 外来入侵植物小飞蓬化感物质的释放途径. *生态学报*, 2010, 30(8): 1966-1971.
- [18] 刘易, 蒋桂英, 简健平, 关建伟. 加工番茄根系分泌物自毒效应的研究. *西北农业学报*, 2009, 18(4): 106-112.
- [19] 张志忠, 蒋云丹, 孙志浩, 蓝茂锋. 酢浆草 (*Oxalis corniculata*) 植株水浸提液对萝卜和生菜的化感效应. *热带作物学报*, 2012, 33(4): 704-708.
- [20] 张秋菊, 张爱华, 孙晶波, 张连学. 植物体中萜类物质化感作用的研究进展. *生态环境学报*, 2012, 21(1): 187-193.
- [21] 闫小红, 张蓓玲, 周兵, 王宁, 杨佳琴. 外来入侵植物美洲商陆提取物的化感活性. *生态与农村环境学报*, 2012, 28(2): 139-145.
- [22] 王跃华, 田孟良, 蒋婷婷, 周杰, 张珏, 李文光. 华重楼种子外种皮的化感作用研究. *西南农业学报*, 2012, 25(1): 340-342.
- [23] 李彦斌, 刘建国, 程相儒, 张伟, 孙艳艳. 秸秆还田对棉花生长的化感效应. *生态学报*, 2009, 29(9): 4942-4948.
- [24] 李玲梅, 李明. 广藿香根系分泌物的化感自毒作用研究. *湖北农业科学*, 2011, 50(24): 5168-5171.
- [25] 缪丽华, 王媛, 高岩, 季梦成. 再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗的化感作用. *生态学报*, 2012, 32(14): 4488-4495.
- [26] 杨建昌. 水稻根系形态生理与产量、品质形成及养分吸收利用的关系. *中国农业科学*, 2011, 44(1): 36-46.
- [27] 陈慧, 郝慧荣, 熊君, 齐晓辉, 张重义, 林文雄. 地黄连作对根际微生物区系及土壤酶活性的影响. *应用生态学报*, 2007, 18(12): 2755-2759.
- [28] 王辉, 谢永生, 杨亚利, 揣峻峰. 云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应. *生态学报*, 2011, 31(20): 6013-6021.
- [29] 吴会芹, 董林林, 王倩. 玉米、小麦秸秆水浸提液对蔬菜种子的化感作用. *华北农学报*, 2009, 24(S2): 140-143.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.23 Dec., 2013 (Semimonthly)**  
**CONTENTS**

**Frontiers and Comprehensive Review**

- Ozone uptake at the canopy level in *Robinia pseudoacacia* in Beijing based on sap flow measurements ..... WANG Hua, OUYANG Zhiyun, REN Yufen, et al (7323)
- Genetic impact of swimming crab *Portunus trituberculatus* farming on wild genetic resources in Haizhou Bay ..... DONG Zhiguo, LI Xiaoying, ZHANG Qingqi, et al (7332)
- The effect of soil salinity to improve the drought tolerance of arrowleaf saltbush ..... TAN Yongqin, BAI Xinfu, HOU Yuping, et al (7340)
- Effects of *Liriomyza huidobrensis* infestation on the activities of four defensive enzymes in the leaves of cucumber plants ..... SUN Xinghua, ZHOU Xiaorong, PANG Baoping, et al (7348)

**Autecology & Fundamentals**

- Early effects of simulated nitrogen deposition on annual nutrient input from litterfall in a *Pleioblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China ..... XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (7355)
- Relationship between nutrient characteristics and yields of tumorous stem mustard at different growth stage ..... ZHAO Huan, LI Huihe, LÜ Huifeng, et al (7364)
- Decomposition rate and silicon dynamic of mulching residue under *Phyllostachys praecox* stands ..... HUANG Zhangting, ZHANG Yan, SONG Zhaoliang, et al (7373)
- Effects of waterlogging on the growth and physiological properties of juvenile oilseed rape ..... ZHANG Shujie, LIAO Xing, HU Xiaojia, et al (7382)
- The crude protein content of main food plants of François' langur (*Trachypithecus francoisi*) in Fusui, Guangxi, China ..... LI Youbang, DING Ping, HUANG Chengming, et al (7390)
- Effects of nitrogen on photosynthetic characteristics and enzyme activity of nitrogen metabolism in maize under-mulch-drip irrigation ..... GU Yan, HU Wenhe, XU Baijun, et al (7399)
- Ecotoxicological effects of exposure to PFOS on embryo and larva of zabrafish *Danio rerio* ..... XIA Jigang, NIU Cuijuan, SUN Luyin (7408)
- Allelopathic effects of extracts from *Ulva prolifera* powders on the growth of *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* ..... HAN Xiurong, GAO Song, HOU Junni, et al (7417)
- Predation evaluation of *Diaphorina citri*'s (Homoptera: Chermidae) natural enemies using the CO I marker gene ..... MENG Xiang, OUYANG Gecheng, XIA Yulu, et al (7430)
- Effect of volatiles from healthy or worm bored Korean pine on host selective behavior of *Dioryctria sylvestrella* and its parasitoid *Macrocentrus* sp. .... WANG Qi, YAN Shanchun, YAN Junxin, et al (7437)

**Population, Community and Ecosystem**

- Relationship between rhizosphere microbial community functional diversity and faba bean fusarium wilt occurrence in wheat and faba bean intercropping system ..... DONG Yan, DONG Kun, TANG Li, et al (7445)
- Characteristics of soil fertility in different ecosystems in depressions between karst hills ..... YU Yang, DU Hu, SONG Tongqing, et al (7455)
- Evaluation on carbon sequestration effects of artificial alfalfa pastures in the Loess Plateau area ..... LI Wenjing, WANG Zhen, HAN Qingfang, et al (7467)

**Landscape, Regional and Global Ecology**

- Effects of deep vertically rotary tillage on soil water and water use efficiency in northern China's Huang-huai-hai Region ..... LI Yibing, PANG Huancheng, YANG Xue, et al (7478)

- Effects of landscape patterns on runoff and sediment export from typical agroforestry watersheds in the Three Gorges Reservoir area, China ..... HUANG Zhilin, TIAN Yaowu, XIAO Wenfa, et al (7487)
- Land cover classification of Yancheng Coastal Natural Wetlands based on BP neural network and ETM+ remote sensing data ..... XIAO Jincheng, OU Weixin, FU Haiyue (7496)
- Early responses of soil CH<sub>4</sub> uptake to increased atmospheric nitrogen deposition in a cold-temperate coniferous forest ..... GAO Wenlong, CHENG Shulan, FANG Huajun, et al (7505)
- Temporal-spatial characteristics of soil respiration in Chinese boreal forest ecosystem ..... JIA Bingrui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (7516)
- Seasonal and interannual variability in soil respiration in wheat field of the Loess Plateau, China ..... ZHOU Xiaoping, WANG Xiaoke, ZHANG Hongxing, et al (7525)
- Dynamics of atmospheric ammonia concentrations near different emission sources ..... LIU Jieyun, KUANG Fuhong, TANG Aohan, et al (7537)
- Influence of residues and earthworms application on N<sub>2</sub>O emissions of winter wheat ... LUO Tianxiang, HU Feng, LI Huixin (7545)
- Resource and Industrial Ecology**
- Ecological monitoring of the fish resources catching and stocking in Lake Tianmu basing on the hydroacoustic method ..... SUN Mingbo, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (7553)
- Application of support vector machine to evaluate the eutrophication status of Taihu Lake ..... ZHANG Chengcheng, SHEN Aichun, ZHANG Xiaoqing, et al (7563)
- Research Notes**
- Amount and dynamic characteristics of litterfall in four forest types in subtropical China ..... XU Wangming, YAN Wende, LI Jiebing, et al (7570)
- Allelopathic effects of artemisinin on seed germination and seedling growth of vegetables ..... BAI Zhen, HUANG Yue, HUANG Jianguo (7576)
- Nitric oxide participates symbiosis between am fungi and tobacco plants ..... WANG Wei, ZHAO Fanggui, HOU Lixia, et al (7583)
- Mapping wildlife habitat suitability using kernel density estimation ..... ZHANG Guiming, ZHU A'xing, YANG Shengtian, et al (7590)
- Effects of nitrogen fertilizer methods on the content of *Bacillus thuringiensis* insecticidal protein and yield of transgenic cotton ..... MA Zongbin, LIU Guizhen, YAN Gentu, et al (7601)



# 《生态学报》2014 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,280 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 王德利 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 23 期 (2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 23 (December, 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

主 编 王如松  
主 管 中国科学技术协会  
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

出 版 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂  
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

订 购 全国各地邮局  
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

广告经营 京海工商广字第 8013 号  
许 可 证

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

Editor-in-chief WANG Rusong  
Supervised by China Association for Science and Technology  
Sponsored by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel: (010)64034563  
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China  
Foreign China International Book Trading  
Corporation  
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



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