

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

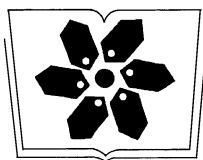
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第8期 Vol.32 No.8 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 8 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目次

东北地区 5 种阔叶树苗木对火烧的生理响应	王 荣, 胡海清	(2303)
梭梭木虱发生规律及其影响因素	李粉莲, 吴雪海, 王佩玲, 等	(2311)
基于遥感降尺度估算中国森林生物量的空间分布	刘双娜, 周 涛, 舒 阳, 等	(2320)
流域景观格局与河流水质的多变量相关分析	赵 鹏, 夏北成, 秦建桥, 等	(2331)
内蒙古达赉湖地区赤狐生境选择及生境景观特征分析	张洪海, 李成涛, 窦华山, 等	(2342)
雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价	徐梦珍, 王兆印, 潘保柱, 等	(2351)
用组合模型综合比较的方法分析气候变化对朱鹮潜在生境的影响	翟天庆, 李欣海	(2361)
2010 年牧区 2 代草地螟成虫迁飞的虫源分析	张 丽, 张云慧, 曾 娟, 等	(2371)
基于细胞色素 b 基因的中国岩羊不同地理种群遗传差异分析	李楠楠, 刘振生, 王正寰, 等	(2381)
喀斯特峰丛洼地不同退耕还林还草模式的土壤微生物特性	鹿士杨, 彭晚霞, 宋同清, 等	(2390)
永定河沿河沙地杨树人工林生态系统呼吸特征	方显瑞, 张志强, 查同刚, 等	(2400)
基于湿地植物光谱的水体总氮估测	刘 克, 赵文吉, 郭逍宇, 等	(2410)
背瘤丽蚌 F 型线粒体基因组全序列分析	陈 玲, 汪桂玲, 李家乐	(2420)
流域“源-汇”景观格局变化及其对磷污染负荷的影响——以天津于桥水库流域为例	李崇巍, 胡 婕, 王 飒, 等	(2430)
线虫群落对抚顺煤矸石山周边土壤可溶性盐污染的响应	张伟东, 吕 莹, 肖 莹, 等	(2439)
地上竞争对林下红松生物量分配的影响	汪金松, 范秀华, 范 娟, 等	(2447)
湿地松和马尾松人工林土壤甲烷代谢微生物群落的结构特征	王 芸, 郑 华, 陈法霖, 等	(2458)
马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值对气象因子的响应	卢钰茜, 王振兴, 郑怀舟, 等	(2466)
沙坡头人工植被演替过程的土壤呼吸特征	高艳红, 刘立超, 贾荣亮, 等	(2474)
豫西刺槐能源林的热值动态	谭晓红, 刘诗琦, 马履一, 等	(2483)
铁皮石斛种子的室内共生萌发	吴慧凤, 宋希强, 刘红霞	(2491)
红光与远红光比值对温室切花菊形态指标、叶面积及干物质分配的影响	杨再强, 张继波, 李永秀, 等	(2498)
扑草净对远志幼苗根系活力及氧化胁迫的影响	温银元, 郭平毅, 尹美强, 等	(2506)
地表臭氧浓度增加和 UV-B 辐射增强及其复合处理对大豆光合特性的影响	郑有飞, 徐卫民, 吴荣军, 等	(2515)
AMF 对喀斯特土壤枯落物分解和对宿主植物的养分传递	何跃军, 钟章成, 董 鸣	(2525)
传统豆酱发酵过程中细菌多样性动态	葛菁萍, 柴洋洋, 陈 丽, 等	(2532)
定位施肥对紫色菜园土磷素状况的影响	孙倩倩, 王正银, 赵 欢, 等	(2539)
基于生态需水保障的农业生态补偿标准	庞爱萍, 孙 涛	(2550)
保障粮食安全造成的生态价值损失评估模型及应用	芦蔚叶, 姜志德, 张应龙, 等	(2561)
专论与综述		
疏浚泥用于滨海湿地生态工程现状及在我国应用潜力	黄华梅, 高 杨, 王银霞, 等	(2571)
问题讨论		
厌氧氨氧化菌群体感应系统研究	丁 爽, 郑 平, 张 萌, 等	(2581)
基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价	帅 红, 李景保, 夏北成, 等	(2588)
研究简报		
黄土高原不同树种枯落叶混合分解效应	刘增文, 杜良贞, 张晓曦, 等	(2596)
不同经营类型毛竹林土壤活性有机碳的差异	马少杰, 李正才, 王 斌, 等	(2603)
干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响	欧立军, 陈 波, 邹学校	(2612)
硅和干旱胁迫对水稻叶片光合特性和矿质养分吸收的影响	陈 伟, 蔡昆争, 陈基宁	(2620)



封面图说: 红树林粗大的气生根——红树林是热带、亚热带海湾及河口泥滩上特有的常绿灌木或乔木群落。由于海水环境条件特殊,红树林植物具有一系列特殊的生态和生理特征。其中之一就是气根,红树从根部长出许多指状的气生根露出海滩地面,以便在退潮时甚至潮水淹没时用以通气,故称呼吸根。在中国,红树林主要分布在海南、广西、广东和福建省沿海,它一般分布于高潮线与低潮线之间的潮间带,往往潮差越大,红树的呼吸根就长得越高越粗大。

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

DOI: 10.5846/stxb201103120305

欧立军, 陈波, 邹学校. 干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响. 生态学报, 2012, 32(8): 2612-2619.

Ou L J, Chen B, Zou X X. Effects of drought stress on photosynthesis and associated physiological characters of pepper. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(8): 2612-2619.

干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响

欧立军^{1,2,3,4}, 陈 波¹, 邹学校^{3,*}

(1. 怀化学院生命科学系, 怀化 418008; 2. 民族药用植物资源研究与利用湖南省重点实验室, 怀化 418008
3. 湖南省蔬菜研究所, 长沙 410125; 4. 湘西药用植物与民族植物学湖南省高校重点实验室, 怀化 418008)

摘要: 采用盆栽实验研究了干旱对 5 个栽培种 *Capsicum annuum* L. (CA), *Capsicum baccatum* L. (CB), *Capsicum chinense* Jacquin. (CC), *Capsicum frutescens* L. (CF) *Capsicum pubescens* Ruiz & Pavon (CP) 和 1 个野生种 *Capsicum baccatum* var. *baccatum* (CBY) 的光合作用及相关生理特性的影响。结果发现, 干旱条件下辣椒的光合色素下降幅度不大, 复水后光合速率恢复较快, 非光化学淬灭参数和保护酶活性大幅度上升, 气孔导度和蒸腾速率显著下降, WUE 和 qN 明显上升, 这表明辣椒对干旱有较强的适应力; 同时发现不同栽培种间的抗旱能力存在一定的差异, CB 的光合色素、光合速率和气孔导度下降幅度最小, 非光化学淬灭参数和水分利用率上升幅度最大, 这表明 CB 比其他栽培种的抗旱能力强; 研究同时发现, 野生种 *Capsicum baccatum* var. *baccatum* (CBY) 的耐旱能力比 5 个栽培种都强。研究结果表明, 辣椒育种应加强栽培种间以及栽培种与野生种之间的基因交流, 达到提高产量和品种的抗逆能力的目的。

关键词: 辣椒; 干旱逆境; 光合特性

Effects of drought stress on photosynthesis and associated physiological characters of pepper

OU Lijun^{1,2,3,4}, CHEN Bo¹, ZOU Xuexiao^{3,*}

1 Department of Life Sciences, Huaihua University, Huaihua 418008, China

2 Key Laboratory of Hunan Province for Study and Utilization of Ethnic Medicinal Plant Resources, Huaihua 418008, China

3 Vegetable Institution of Hunan Academy of Agricultural Science, Changsha 410125, China

4 Key Laboratory of Hunan Higher Education for Hunan-western Medicinal Plant and Ethnobotany, Huaihua 418008, China

Abstract: Increased human activities have had a significant impact on the global climate. Abnormal changes, such as drought stress caused by long-term un-rain, can affect plant growth and development. Pepper (*Solanaceae*), originally planted in tropical areas of South America, not only has medicinal value it has the highest vitamin C content of all vegetables. The International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR) has classified pepper species into five species: *Capsicum annuum* L. (CA), *Capsicum baccatum* L. (CB), *Capsicum chinense* Jacquin. (CC), *Capsicum frutescens* L. (CF), *Capsicum pubescens* Ruiz and Pavon (CP). CA is the most differentiated, widely cultivated species being the focus of pepper breeding worldwide. Screening of resistant germplasms is one of the most important measures against abnormal climate changes. Pot experiments were employed to determine the photosynthetic response and associated physiological characters, such as superoxide dismutase (SOD) and glutathione reductase (GR) activities, root activity and adventitious root number, of five domesticated and one wild pepper species (*C. baccatum* var. *baccatum* (CBY)) to drought stress. The photosynthetic pigment content decreased the net photosynthetic rate (P_N) of all tested peppers continued to decline on

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金资助(CARS-25-A-8); 湖南省重点学科建设项目资助

收稿日期: 2011-03-12; 修订日期: 2011-10-31

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

the first day of regular irrigation, then started to increase on the second day, and almost recovered to normal levels by the seventh day. Non-photochemical quenching (qN), water use efficiency (WUE), and root activity had increased dramatically, the SOD and GR activities of all the pepper species first increased, being highest on day 4, and subsequently decreased. The number of adventitious roots slightly increased in all peppers, suggesting that pepper has a stronger resistance to drought stress. The results also show that changes in the above parameters vary in different species. CB had smaller decreases in photosynthetic pigment content, P_N , and stomatal conductance (g_s), and greater increases in qN , WUE , SOD and GR activities and root activity, indicating that CB has the strongest resistance to drought stress. CC and CF showed bigger decreases in photosynthetic pigment content, P_N , and g_s , with smaller increases in qN , WUE , SOD, and GR activities and root activity, indicating they have weaker drought stress resistance. In addition, the wild pepper, *C. baccatum* var. *baccatum* (CBY), had the smallest decrease in photosynthetic pigment content, P_N , and g_s , with the greatest increases in qN , WUE , SOD, and GR activities, and root activity. This indicates that CBY has better resistance to adverse environments than all tested species, which is perhaps caused by the loss of stress resistance genes during the process of domestication. Our study found that, of the species tested, the ability to resist drought stress is strongest in wild pepper CBY. Of the five species tested, CB had the highest photosynthetic rate and strongest drought resistance capability. In conclusion, we suggest that crossbreeding of domestic and wild pepper species be considered for commercial breeding. Such a measure will not only expand the genetic pool, increasing genetic distance and eventually increasing production; it will also to introduce elite stress tolerance genes improving each species' ability to resist adverse environments.

Key Words: pepper; drought stress; photosynthetic characteristics

世界水资源的不足和时空分布的不均是限制植物生长发育的重要因子,对农作物造成很大的损失。干旱胁迫可破坏植物体内的水分代谢,引起细胞失水,导致植物体形态、生理生化发生重大变化。抗旱性是植物对干旱环境条件的一种适应性生理反应,与体内水分代谢、物质代谢有重大关系^[1-2]。因此研究作物对于干旱胁迫的响应及适应机制,是对作物进行合理调控、实现农业节水的前提,在选育品种等方面具有重要意义。光合作用是植物最基本的生命活动,是对于干旱胁迫最敏感的生理过程之一,植物在干旱逆境下会出现光合速率下降的现象^[3-6],同时会产生一系列的适应性反应如诱导 SOD、POD、CAT 等保护酶活性的增加而提高其抗旱性^[7]。随着胁迫时间的延长,叶片叶绿素降解加剧,活性氧和膜脂过氧化产物含量明显增加^[8-9]。干旱逆境下的植物响应已经成为逆境研究的热点之一,在一些植物中得到了研究^[10-11]。辣椒为 1 年或多年生草本植物,茄科辣椒属,原产于中南美洲热带地区,是一种大众化蔬菜,辣椒中维生素 C 的含量在蔬菜中居第一位。国际植物遗传资源委员会 (IBPGR) 确定辣椒有 *Capsicum annuum* L., *Capsicum baccatum* L., *Capsicum chinense* Jacquin., *Capsicum frutescens* L. 和 *Capsicum pubescens* Ruiz 和 Pavon 等 5 个栽培种,其中 *Capsicum annuum* L. 是主要的栽培种,辣椒育种主要围绕 *Capsicum annuum* L. 展开^[12],但 *Capsicum annuum* L. 遗传基础较为狭窄^[13],极大的制约了辣椒产量和质量的提高。同时辣椒育种主要以杂交为主,杂交辣椒的亲本几乎都是 *Capsicum annuum* L. 栽培种,因此不育系与不育系之间以及父本与父本之间遗传背景差异过小,从而影响到杂交辣椒的单产一直徘徊不前。干旱条件下,*Capsicum annuum* L. 栽培种光合速率的下降,且光合参数、叶绿素荧光参数、叶片气孔特征以及叶绿体超微结构的变化与品种的抗性密切相关^[14-15],且同一植物的不同品种间存在抗逆能力的差异^[16-17],因此研究不同栽培种对于干旱的抗性能力对其的开发利用具有重要的意义。本文以辣椒的 5 个栽培种和 1 个野生种为材料,研究干旱条件下的光合特性及其他部分生理特性的变化,探讨不同栽培种的耐干旱的能力差异,为筛选强抗逆材料和进行栽培种间杂交育种以提高辣椒产量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

辣椒的 5 个栽培种: *Capsicum annuum* L.、*Capsicum baccatum* L.、*Capsicum chinense* Jacquin.、*Capsicum*

frutescens L. 和 *Capsicum pubescens* Ruiz & Pavon 等 5 个栽培种, 分别简称为 CA、CB、CC、CF 和 CP, 以及 *Capsicum baccatum* L. 的野生种 *Capsicum baccatum* var. *baccatum* (简称为 CBY)。

1.2 方法

1.2.1 干旱处理

4—5 月, 5 个栽培种和 1 个野生种于苗期选择生长一致的植株各 1 株移栽于直径 1 m 的圆形大盆, 平均分布, 每盆用土 57.50 kg, 施尿素 100 g, 过磷酸钙 1.10 kg, 硫酸钾 70 g, 猪粪 1.70 kg, 置怀化学学院种质资源圃, 常规水肥管理。每批做 3 次重复, 连续 3 批。7—8 月, 辣椒开花期, 选择晴天无云的天气停止供水, 第 2 天材料开始出现萎焉现象, 第 5 天严重萎焉(其中 CC 萎焉症状特别明显, 继续处理则不能恢复正常), 此时所有材料恢复供水, 7 d 后大部分材料恢复正常, 处理期间天气温度为 $(36 \pm 2)^\circ\text{C}$, 无降水和气温下降等异常变化。以处理 0d 材料作为对照。连续观察 3a。

1.2.2 色素含量的测定

测定采用 Arnon^[18]的方法, 并按 Lichtenthaler^[19]法进行修正。取处理前和处理 5d 后的新鲜叶片 0.2 g, 用 95% 的乙醇提取色素, 定容至 25 mL, 用 7230G 型分光光度计测定 665, 649 nm 和 470 nm 的光吸收值, 每个样品重复 3 次, 取其平均值。

1.2.3 气体交换参数的测定

采用 LI-6400 便携式光合作用系统(美国 LI-COR 公司生产), 在 9:00—11:00 测定倒 3 叶在光强 $1000 \mu\text{mol photons} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 下瞬时光合速率(P_N)、气孔导度(g_s)和蒸腾速率(E)等叶片气体交换参数, 并计算水分利用效率 WUE (P_N/E), 测量时的空气温度为 $(35 \pm 0.5)^\circ\text{C}$, 叶面温度为 $(36 \pm 0.5)^\circ\text{C}$, 每个材料测量 3—5 个叶片, 取其平均值。

1.2.4 叶绿素荧光的测定

参考 Li 等^[20]的方法, 采用 LI-6400 便携式光合作用系统(美国 LI-COR 公司生产)光合仪测定自然光下的叶绿素荧光。叶片首先暗适应 20 min, 然后光适应 1 h 后进行荧光测定。

1.2.5 酶活性和根系指标测定

SOD(超氧化物歧化酶)含量测定采用四氮唑蓝(NBT)光化还原法^[21], 谷胱甘肽还原酶(GR)活性测定参考 Knrözer 等^[22]的方法。采用 TTC 还原法测定根系活力^[23], 不定根数量采取直接测量法。

1.2.6 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 13.0 统计分析软件进行数据分析及差异显著性检验(注明显著性水平), 下降或增加幅度% = (逆境后的平均数值 - 正常平均数值) / 正常平均数值 $\times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 光合色素含量比较

干旱条件下, 栽培种的光合色素都呈下降趋势。5 个栽培种中, CF 栽培种的下降幅度较大, CB 栽培种下降幅度相对较小, 野生种(CBY)的下降比例显著低于 5 个栽培种(Chl a、Chl b 和 Cx. c 分别下降 6.09%、1.89 和 19.04)(表 1)。总体认为, 辣椒的光合色素下降幅度不大。

2.2 光合速率比较

正常供水条件下, 栽培种的光合速率差异不明显, CF 最大, 达到 $21.77 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 其次是 CA ($17.73 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), 最小为 CP ($15.78 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), CBY 野生种仅仅低于 CF, 高于其他 4 个栽培种。干旱处理第 1 天, 光合速率变化不大, 第 2 天开始出现明显下降, 以后随处理时间的增长而继续降低。逆境 5 天后, CA 栽培种的光合速率最低 ($2.11 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), 下降幅度最大, CB 的光合速率相对较高, 野生种 CBY 的光合速率显著高于栽培种。恢复供水 7 d 后, 所有材料的光合速率达到处理前的水平(图 1)。

干旱条件下, 栽培种的蒸腾速率和气孔导度的下降幅度都较大, 分别约为 90% 和 60%, 不同栽培种的下降幅度存在差异, CB 的下降幅度为最小, 而野生种 CBY 的下降幅度则显著小于栽培种; 水分利用率都不同程

度的上升,其中栽培种 CB 和 CP 上升幅度较大,野生种 CBY 上升比率最高(表 2)。

表 1 干旱条件下,光合色素含量的比较

Table 1 Photosynthetic pigment content in different pepper species. Chl-chlorophyll. capital letter or lowercase mean significance at 0.01 and 0.05 levels, respectively

	色素含量 Pigment content/(mg/g 干重)								
	叶绿素 a Chl a			叶绿素 b Chl b			类胡萝卜素 Car		
	CK	D5	下降量/%	CK	D5	下降量/%	CK	D5	下降量/%
CA	9.83±0.58 ^{Bb}	8.95±0.89 ^{Ba}	8.95 ^{Ba}	4.28±0.12 ^{Bb}	3.95±0.32 ^{Ba}	7.71 ^{Ca}	1.51±0.11 ^{Aa}	0.94±0.07 ^{Aa}	37.74 ^{Aa}
CB	9.31±0.42 ^{Bb}	8.48±0.41 ^{Bb}	8.91 ^{Ba}	4.45±0.21 ^{Bb}	4.21±0.24 ^{Ba}	5.39 ^{Da}	1.19±0.23 ^{Bb}	0.85±0.08 ^{Ba}	28.57 ^{Ca}
CBY	9.51±0.35 ^{Bb}	8.93±0.23 ^{Ba}	6.09 ^{Cb}	4.23±0.42 ^{Bb}	4.15±0.14 ^{Ba}	1.89 ^{Eb}	1.28±0.24 ^{Bb}	1.05±0.10 ^{Aa}	19.04 ^{Cb}
CC	8.05±0.78 ^{Cb}	7.28±0.74 ^{Cb}	9.56 ^{Ba}	3.59±0.25 ^{Cb}	3.27±0.25 ^{Cb}	8.91 ^{Ba}	1.09±0.10 ^{Cb}	0.71±0.03 ^{Cb}	34.86 ^{Ba}
CF	11.15±1.00 ^{Aa}	9.95±1.00 ^{Aa}	10.76 ^{Aa}	5.35±0.53 ^{Aa}	4.95±0.36 ^{Aa}	7.47 ^{Ca}	1.06±0.08 ^{Cb}	0.81±0.05 ^{Bb}	23.58 ^{Ca}
CP	7.92±0.74 ^{Cb}	7.09±0.45 ^{Cb}	10.47 ^{Aa}	3.87±0.14 ^{Cb}	3.49±0.11 ^{Cb}	9.81 ^{Aa}	1.12±0.14 ^{Cb}	0.75±0.01 ^{Cb}	33.03 ^{Ba}

CK 为对照,指正常水条件,D5 为干旱处理 5 d

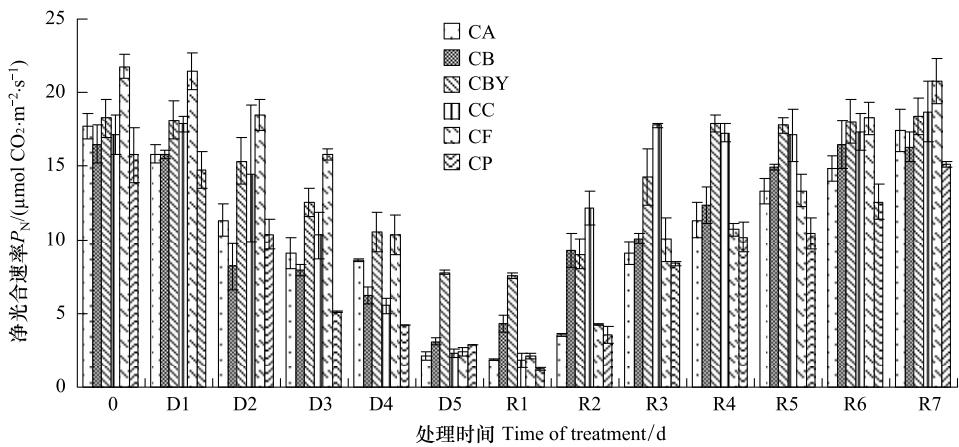


图 1 逆境条件下及恢复后光合速率的比较

Fig. 1 Net photosynthetic rate (P_N) at $1\,000\,\mu\text{mol}\,\text{m}^{-2}\,\text{s}^{-1}$ of different pepper species

0—D5 干旱处理天数,R1—R7 处理完后恢复天数

表 2 干旱条件下的蒸腾速率、气孔导度和水分利用率比较

Table 2 Transpiration rate (E), Stomatal conductance (g_s) and Water use efficiency (WUE) of different pepper species. capital letter or lowercase mean significance at 0.01 and 0.05 levels, respectively

	蒸腾速率 $E/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$			气孔导度 $g_s/(\text{mol}(\text{H}_2\text{O})\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$			水分利用率 WUE/%		
	CK	D5	下降量/%	CK	D5	下降量/%	CK	D5	下降量/%
CA	3.26±0.45 ^{Cb}	0.28±0.09 ^{Dc}	91.4 ^{1Aa}	0.47±0.08 ^{Bb}	0.18±0.03 ^{Cb}	61.70 ^{Ba}	5.44±0.75 ^{Bb}	7.54±0.14 ^{Cb}	38.60 ^{Cc}
CB	3.79±0.26 ^{Ba}	0.42±0.11 ^{Bc}	88.91 ^{Aa}	0.43±0.08 ^{Bb}	0.17±0.02 ^{Cb}	60.46 ^{Ba}	4.35±0.68 ^{Cc}	7.38±0.36 ^{Cb}	69.65 ^{Bb}
CBY	3.15±0.18 ^{Cb}	0.77±0.23 ^{Aa}	66.98 ^{Bb}	0.44±0.04 ^{Bb}	0.23±0.01 ^{Aa}	47.72 ^{Cb}	5.79±0.39 ^{Bb}	10.13±0.41 ^{Aa}	74.95 ^{Aa}
CC	3.36±0.49 ^{Cb}	0.37±0.08 ^{Cc}	88.98 ^{Aa}	0.43±0.08 ^{Bb}	0.15±0.03 ^{Dc}	65.11 ^{Aa}	5.11±0.71 ^{Bb}	6.24±0.33 ^{Dc}	22.11 ^{Dc}
CF	3.21±0.47 ^{Cb}	0.29±0.08 ^{Dc}	90.96 ^{Aa}	0.55±0.02 ^{Aa}	0.21±0.05 ^{Ba}	61.81 ^{Ba}	6.78±1.21 ^{Aa}	8.34±0.18 ^{Bb}	23.00 ^{Dc}
CP	4.05±0.58 ^{Aa}	0.44±0.10 ^{Bb}	89.13 ^{Aa}	0.34±0.02 ^{Cb}	0.12±0.03 ^{Dc}	64.70 ^{Aa}	3.89±0.55 ^{Dc}	6.55±0.13 ^{Dc}	68.38 ^{Bb}

CK 为对照,指正常水条件,D5 为干旱处理 5d

2.3 叶绿素荧光参数比较

对叶绿素荧光的分析表明,干旱对 PS II 产生显著影响,PS II 最大光化学量子产量(F_v/F_m)和光化学猝灭系数(qP)显著下降;非光化学猝灭系数(qN)则上升,说明干旱胁迫下 PS II 吸收的不能用于光化学反应的过剩光能,则通过非辐射热耗散的形式加以消耗。CC 和 CF 栽培种的 F_v/F_m 和 qP 下降幅度相对较大,野生种

CBY 则下降相对较小;CF 栽培种的 qN 上升幅度较大,CB 栽培种的则较小,野生种 CBY 的上升幅度显著小于所有栽培种(表 3)。

表 3 叶绿素荧光参数比较

Table 3 Chlorophyll fluorescence kinetics of different pepper species. "capital letter or lowercase mean significance at 0. 01and 0. 05 levels, respectively

	最大光化学量子产量 F_v/F_m			光化学淬灭 qP			非光化学淬灭 qN		
	CK	D5	下降量/%	CK	D5	下降量/%	CK	D5	下降量/%
CA	0. 824±0. 03 ^{Aa}	0. 657±0. 01 ^{Ba}	20. 26 ^{Ba}	0. 607±0. 01 ^{Cb}	0. 387±0. 01 ^{Cb}	36. 24 ^{Ba}	0. 601±0. 002 ^{Bb}	0. 694±0. 002 ^{Cb}	15. 47 ^{Ba}
CB	0. 817±0. 05 ^{Ba}	0. 642±0. 01 ^{Ba}	21. 41 ^{Ba}	0. 525±0. 02 ^{Dc}	0. 341±0. 01 ^{Db}	35. 04 ^{Ba}	0. 664±0. 002 ^{Aa}	0. 748±0. 002 ^{Bb}	12. 65 ^{Cb}
CBY	0. 828±0. 02 ^{Aa}	0. 695±0. 01 ^{Aa}	16. 06 ^{Cb}	0. 634±0. 01 ^{Bb}	0. 452±0. 01 ^{Aa}	28. 70 ^{Cb}	0. 575±0. 002 ^{Cb}	0. 602±0. 002 ^{Ec}	4. 69 ^{Dc}
CC	0. 804±0. 03 ^{Cb}	0. 592±0. 01 ^{Db}	26. 36 ^{Aa}	0. 574±0. 01 ^{Cb}	0. 341±0. 01 ^{Db}	40. 59 ^{Aa}	0. 625±0. 004 ^{Bb}	0. 714±0. 002 ^{Cb}	14. 24 ^{Ba}
CF	0. 834±0. 06 ^{Aa}	0. 626±0. 01 ^{Cb}	24. 94 ^{Aa}	0. 652±0. 02 ^{Aa}	0. 415±0. 01 ^{Ba}	36. 34 ^{Ba}	0. 554±0. 002 ^{Db}	0. 651±0. 002 ^{Dc}	17. 50 ^{Aa}
CP	0. 801±0. 04 ^{Cb}	0. 636±0. 01 ^{Ba}	20. 59 ^{Ba}	0. 511±0. 01 ^{Dc}	0. 318±0. 01 ^{Ec}	37. 76 ^{Ba}	0. 677±0. 002 ^{Aa}	0. 788±0. 002 ^{Aa}	16. 39 ^{Aa}

CK 为对照,指正常水条件,D5 为干旱处理 5d

2.4 酶活性比较

干旱处理前期,SOD 和 GR 活性均有一定程度的提高,第 3 天达到最大,后期则下降,处理第 5 天活性低于处理前水平(图 2)。不同栽培种的 SOD 和 GR 活性上升和下降幅度存在一定差异,CB 和 CP 的酶活性相对较高。CBY 的酶活性与栽培种相比,活性更高。

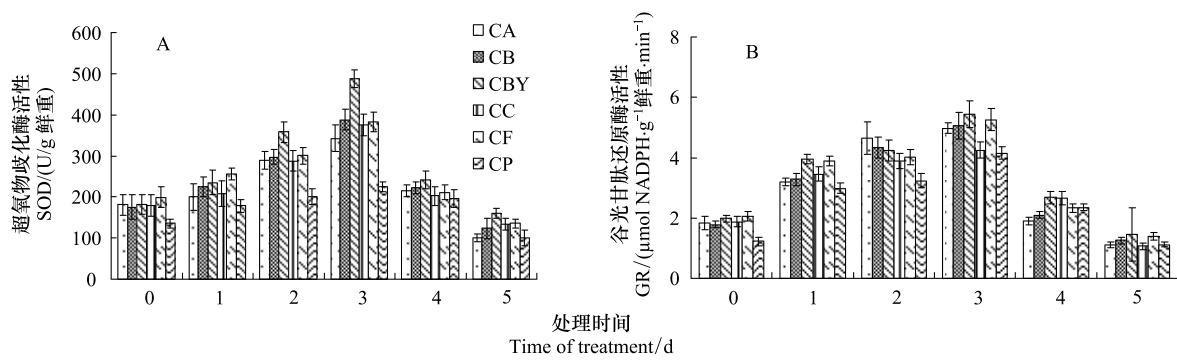


图 2 干旱逆境下,SOD 和 GR 活性比较

Fig. 2 Superoxide dismutase (SOD) and Glutathione reductase (GR) activity of different pepper species

2.5 根系活力和不定根数量比较

干旱条件下,辣椒的根系活力明显上升,但不同栽培种上升的幅度存在一定的差异,CF 栽培种的上升幅度为 12.05%,相对较小;CB 和 CP 栽培种上升幅度相对较大,野生种 CBY 的上升幅度最大(62. 11%)(表 4)。干旱逆境促进 5 个栽培种的不定根数量增加,其中 CF 栽培种的增加幅度相对较小,为 5. 36%,CB 和 CP 栽培种的增加幅度相对较大(17. 19% 和 13. 71%),但仍然低于野生种 CBY 的增加幅度,这一方面表明辣椒可以通过增加不定根数量以维持氧气的扩散和高的吸收效率,另一方面说明不同栽培种不定根发育对干旱的耐性存在差异,CB 和 CP 以及野生种相对耐旱能力较强(表 4)。

3 讨论

叶绿体是光合作用的主要场所,是对干旱逆境敏感的细胞器。叶绿体在正常情况下吸收的光能主要通过光合电子传递、叶绿素荧光和热耗散 3 种途径来消耗,这 3 种途径间存在着此消彼长的关系,因此荧光变化可以反映光合作用的情况^[24]。光合作用受到伤害的最原初部位是与 PS II 紧密联系的,干旱逆境导致叶绿体光合机构的破坏,PS II 放氧复合物的损伤,最大光化学效率(F_v/F_m)下降^[25-26]。辣椒起源于中北美洲,是较抗旱的植物。本文的研究表明,干旱逆境下辣椒栽培种的光合色素下降幅度不大,逆境处理后光合速率恢复

表 4 根活力和不定根数目比较

Table 4 Adventitious root number of different pepper species

	根系活力 Root activity/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)			不定根数目 Adventitious root number/No.		
	CK	D5	增加量/%	CK	D5	增加量/%
CA	4.36±0.35 ^{Ba}	5.68±0.11 ^{Cb}	30.27 ^{Cb}	23.23±3.21 ^{Cb}	26.23±2.25 ^{Cb}	12.91 ^{Cc}
CB	4.20±0.24 ^{Ba}	6.11±0.16 ^{Bb}	45.47 ^{Bb}	24.25±2.10 ^{Cb}	28.42±5.11 ^{Bb}	17.19 ^{Bb}
CBY	4.25±0.38 ^{Ba}	6.89±0.24 ^{Aa}	62.11 ^{Aa}	30.36±4.76 ^{Aa}	37.33±8.22 ^{Aa}	22.95 ^{Aa}
CC	4.36±0.34 ^{Ba}	5.65±0.10 ^{Cb}	29.58 ^{Cb}	27.24±4.58 ^{Ba}	29.67±4.58 ^{Bb}	8.92 ^{Dc}
CF	5.06±0.46 ^{Aa}	5.67±0.15 ^{Cb}	12.05 ^{Dc}	26.47±2.34 ^{Ba}	27.89±3.65 ^{Cb}	5.36 ^{Ec}
CP	4.02±0.35 ^{Ba}	5.89±0.23 ^{Bb}	46.51 ^{Bb}	25.87±1.25 ^{Bb}	29.42±4.77 ^{Bb}	13.72 ^{Cb}

CK 为对照,指正常水条件,D5 为干旱处理 5 d

较快,非光化学淬灭参数和保护酶活性大幅度上升等结果都表明辣椒对干旱逆境有较强的忍耐力;同时气孔导度、蒸腾速率、 F_v/F_m 和 qP 等明显下降,WUE 和 qN 则明显上升,这说明 PS II 受干旱逆境胁迫明显,此时通过减少水分散失和增加水分利用效率来避免干旱胁迫伤害,通过热耗散消耗过剩光能,避免对光合机构的破坏,这是对生存环境适应的一种保护机制。研究表明干旱胁迫光合作用下降的同时导致 Calvin 循环对还原力 NADPH 需求减少,从而引起光合电子传递链过度还原,光合电子传递受阻,导致过剩电子泄漏形成活性氧^[27],使膜系统的结构和功能受到损伤,是造成细胞伤害的重要原因之一^[28],植物体内活性氧积累的同时,内源活性氧清除酶活性也会升高^[7]。在本研究中,所有材料的 SOD 和 GR 等抗氧化酶在处理初期具有较高的活性,这表明所有材料都对干旱胁迫下自由基和膜脂质过氧化产物的积累作出了反应,但处理 3 d 后酶活性都急剧下降,这说明胁迫时间超过了植物自我适应的限度,对自由基和膜脂质过氧化产物清除能力降低,表现出严重的光氧化和伤害现象;结果同时表明,胁迫下内源活性氧清除酶活性不一定是升高,其升高与否与受胁迫的大小和时间相关,受斜坡过大和时间过长,植物的内源活性氧清除酶活性不仅不会升高,反而会下降。根系不仅是植物吸收水分和盐类的主要器官,而且是多种物质的同化、转化和合成的重要器官^[29],能最早最直接地感受到土壤水分含量的变化,从而对干旱胁迫作出迅速反应,这是植物抗旱性的基础。根系活力是根系的吸收能力、合成能力、氧化能力和还原能力的综合体现,反映根系的生长发育状况,是根系生命力的综合指标,能够从本质上反映苗木根系生长与土壤水分及其环境之间的动态关系^[30-32]。本文结果表明,在干旱胁迫过程中,辣椒须根数量和根系活力都有不同程度的增加,这说明辣椒通过增加吸水面积和能力来提高根对水分的吸收,以应对干旱逆境。

研究表明,同一植物的不同品种抗干旱逆境的能力存在较大的差异,表现在光合速率的下降幅度、水分利用率和相关酶活性上升幅度等存在差异^[33-35]。辣椒的 5 个栽培种中,CA 栽培种是分化最多、栽培最广的一个种,其他 4 个栽培种分布较窄,栽培较少。本文的研究表明,干旱胁迫下,栽培种间的叶绿素、 F_v/F_m 、 qP 、WUE、 qN 、须根数量和根系活力等指标下降或上升幅度大小不一,这说明不同栽培种对干旱胁迫适应能力存在一定的差异,CA 对干旱胁迫的抵抗能力较弱,这可能与 CA 经过人工多年栽培驯化后,对环境变化的应对能力下降有关;此外,野生型 CBY 的叶绿素、 F_v/F_m 和 qP 等下降幅度最小,WUE、 qN 、须根数量和根系活力上升幅度最大,这表明野生种耐干旱能力比栽培种强,这可能与栽培种在驯化过程中某些优秀抗逆基因丢失相关。

综上所述,不同栽培种的抗干旱能力存在一定的差异,野生种 CBY 的抗干旱能力强于所有的栽培种。本研究认为,辣椒育种时不应该仅仅局限于 CA 这个栽培种,而应该考虑利用其他栽培种和野生种资源,一方面可以扩大基因源,提高杂种优势,达到提高产量的目的;同时可引进耐逆基因,提高品种的抗逆能力。

References:

- [1] Chaves M M, Oliveira M M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany*, 2004, 55(407): 2365-2384.

- [2] Bréda N, Huc R, Granier A, Dreyer E. Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Annals of Forest Science*, 2006, 63(6): 625-644.
- [3] Flexas J, Bota J, Galmés J, Medrano H, Ribas-Carbó M. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiologia Plantarum*, 2006, 127(3): 343-352.
- [4] Gallé A, Haldimann P, Feller U. Photosynthetic performance and water relations in young pubescent oak (*Quercus pubescens*) trees during drought stress and recovery. *New Phytologist*, 2007, 174(4): 799-810.
- [5] Subrahmanyam D, Subash N, Haris A, Sikka A K. Influence of water stress on leaf photosynthetic characteristics in wheat cultivars differing in their susceptibility to drought. *Photosynthetica*, 2006, 44(1): 125-129.
- [6] Wei A L, Wang Z M, Zhai Z X, Gong Y S. Effect of soil drought on C_4 photosynthesis enzyme activities of flag leaf and ear in wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(5): 508-512.
- [7] Reddy A R, Chaitanya K V, Vivekanandan M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 2004, 161(11): 1189-1202.
- [8] Cao H, Wang X W, Han Z H, Xu X F, Wang Y Z. Relationship between changes of endopeptidases activity and active oxygen in *Malus hupehensis* leaves during senescence induced by water stress. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(2): 274-279.
- [9] Qian Y Q, Sun Z Y, Han L, Ju G S, Liu J X, Cao L. Response of reactive oxygen and its scavenging system in leaves of *Buchloe dactyloides* (Nutt.) engelm to water stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1920-1926.
- [10] Iacono F, Sommer K J. Response of electron transport rate of water stress-affected grapevines: influence of leaf age. *Vitis*, 2000, 39(4): 137-144.
- [11] Lanceras J C, Pantuwan G, Jongdee B, Toojinda T. Quantitative trait loci associated with drought tolerance at reproductive stage in rice. *Plant Physiology*, 2004, 135(1): 384-399.
- [12] Pickersgill B. Genetic resources and breeding of *Capsicum* spp.. *Euphytica*, 1997, 96(1): 129-133.
- [13] Prince J P, Lackney V K, Angeles C, Blauth J R, Kyle M M. A survey of DNA polymorphism within the genus *Capsicum* and the fingerprinting of pepper cultivars. *Genome*, 1995, 38(2): 224-231.
- [14] Hu W H, Zeng J J, Cao Y L, Xiao Y A, Duan Z H. Effects of drought stress on gas exchange and chlorophyll fluorescence characteristics in leaves of two pepper (*Capsicum annuum* L) varieties. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2008, 26(5): 156-159, 164-164.
- [15] Fu Q S, Li H L, Cui J, Zhao B, Guo Y D. Effects of water stress on photosynthesis and associated physiological characters of *Capsicum annuum* L.. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(5): 1859-1866.
- [16] Bu L D, Zhang R H, Chang Y, Xie J Q, Han M M. Response of photosynthetic characteristics to water stress of maize leaf in seeding. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(5): 1184-1191.
- [17] Lü J Y, Guo T. Effects of water stress on activities of protective enzyme and physiological characteristics in seedlings of two varieties of sweet sorghum. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 28(4): 89-93.
- [18] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Phenoloxidases in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 1949, 24(1): 1-15.
- [19] Lichtenthaler H K. Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 1987, 148: 349-382.
- [20] Li M, Yang D, Li W. Leaf gas exchange characteristics and chlorophyll fluorescence of three wetland plants in response to long-term soil flooding. *Photosynthetica*, 2007, 45(2): 222-228.
- [21] Giannopolitis C N, Ries S K. Superoxide dismutases I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 1977, 59(2): 309-314.
- [22] Knrözer O C, Durner J, Böger P. Alterations in the antioxidative system of suspension-cultured soybean cells (*Glycine max*) induced by oxidative stress. *Physiologia Plantarum*, 1996, 97(2): 388-396.
- [23] Zou Q. The Book Instruction Experiment of Plant Physiological and Biochemical. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 32-33.
- [24] Hendrickson L, Furbank R T, Chow W S. A simple alternative approach to assessing the fate of absorbed light energy using chlorophyll fluorescence. *Photosynthesis Research*, 2004, 82(1): 73-81.
- [25] Lu C M, Zhang J H. Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants. *Journal of Experimental Botany*, 1999, 50: 1199-1206.
- [26] Qing S J, Lü D G, Li Z X, Ma H Y, Liu L Z, Liu G C. Effects of water stress on respiration and other physiological metabolisms of *Cerasus sachalinensis* Kom. seedlings. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(1): 210-209.
- [27] Mittler R, Vanderauwera S, Gollery M, van Breusegem F. Reactive oxygen gene network of plants. *Trends in Plant Science*, 2004, 9(10): 490-498.
- [28] Wang A G. The oxygen metabolism of plant//Yu S W, Tang Z C, eds. *Plant Physiology and Molecular Biology*. Beijing: Chinese Scientific and Technological Press, 1998: 366-389.

- [29] Li C S, Liu P, Cai M Z, Wang B Y, Zhang W J, Zhang X Y. Physiological response of buckwheat to acid-aluminum stress in growth. *Journal of Soil Water Conservation*, 2005, 19(3): 105-109.
- [30] Sechenbater, Wu H Y. Effect of different stress on roots activity and nitrate reductase activity in *Zea mays* L. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2001, 19(2): 67-70.
- [31] Li W R, Zhang S Q, Ding S Y, Shan L. Root morphological variation and water use in alfalfa under drought stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(19): 5140-5150.
- [32] Qu F N, Wang Y S, Zhang M, Kang L F, Yan J Y. Influence of high temperature stress on root vitality and leaf biochemical indexes of Cyclamen. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2002, 17(2): 127-1311.
- [33] Wang Z H, Guo X P, Lü S F, Li Y J, Deng X P. Effects of soil drought on starch accumulation of grain and activity of corresponding starch synthesis enzymes in different winter wheat varieties. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2011, 29(3): 67-74.
- [34] He H J, Kou S R, Wang X J. Effects of drought stress on photosynthetic characteristics and yield components of different plant types of corn. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2011, 29(3): 63-66, 74-74.
- [35] Peng S Q, Liu Y L, Xie S X. Response of water using efficiency and membrane permeability to drought stress in different varieties of *Flos lonicerae*. *Northern Horticulture*, 2011, (10): 156-158.

参考文献:

- [6] 魏爱丽, 王志敏, 翟志席, 龚元石. 土壤干旱对小麦旗叶和穗器官 C_4 光合酶活性的影响. *中国农业科学*, 2003, 36(5): 508-512.
- [8] 曹慧, 王孝威, 韩振海, 许雪峰, 王永章. 水分胁迫诱导平邑甜茶叶片衰老期间内酰胺酶与活性氧累积的关系. *中国农业科学*, 2004, 37(2): 274-279.
- [9] 钱永强, 孙振元, 韩蕾, 巨关升, 刘俊祥, 曹丽. 野牛草叶片活性氧及其清除系统对水分胁迫的响应. *生态学报*, 2010, 30(7): 1920-1926.
- [14] 胡文海, 曾建军, 曹玉林, 肖宜安, 段智辉. 干旱胁迫对两种辣椒叶片气体交换和叶绿素荧光特性的影响. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(5): 156-159, 164-164.
- [15] 付秋实, 李红岭, 崔健, 赵冰, 郭仰东. 水分胁迫对辣椒光合作用及相关生理特性的影响. *中国农业科学*, 2009, 42(5): 1859-1866.
- [16] 卜令铎, 张仁和, 常宇, 薛吉全, 韩苗苗. 苗期玉米叶片光合特性对水分胁迫的响应. *生态学报*, 2010, 30(5): 1184-1191.
- [17] 吕金印, 郭涛. 水分胁迫对不同品种甜高粱幼苗保护酶活性等生理特性的影响. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(4): 89-93.
- [23] 邹琦. 植物生理生化实验指导. 北京: 中国科学技术出版社, 1997: 32-33.
- [26] 秦嗣军, 吕德国, 李志霞, 马怀宇, 刘灵芝, 刘国成. 水分胁迫对东北山樱幼苗呼吸等生理代谢的影响. *中国农业科学*, 2011, 44(1): 201-209.
- [29] 李朝苏, 刘鹏, 蔡妙珍, 王保义, 张文君, 张晓燕. 荞麦对酸铝胁迫生理响应的研究. *水土保持学报*, 2005, 19(3): 105-109.
- [30] 斯琴巴特尔, 吴红英. 不同逆境对玉米幼苗根系活力及硝酸还原酶活性的影响. *干旱地区农业研究*, 2001, 19(2): 67-70.
- [31] 李文晓, 张岁岐, 丁圣彦, 山仑. 干旱胁迫下紫花苜蓿根系形态变化及与水分利用的关系. *生态学报*, 2010, 30(19): 5140-5150.
- [32] 曲复宁, 王云山, 张敏, 康黎芳, 闫继耀. 高温胁迫对仙客来根系活力和叶片生化指标的影响. *华北农学报*, 2002, 17(2): 127-1311.
- [33] 王征宏, 郭秀璞, 吕淑芳, 李友军, 邓西平. 土壤干旱对不同小麦品种籽粒淀粉积累和相关酶活性的影响. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(3): 67-74.
- [34] 何海军, 寇思荣, 王晓娟. 干旱胁迫对不同株型玉米光合特性及产量性状的影响. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(3): 63-66, 74-74.
- [35] 彭素琴, 刘郁林, 谢双喜. 干旱胁迫对不同金银花水分利用效率及细胞膜透性的影响. *北方园艺*, 2011, (10): 156-158.

CONTENTS

Physiological responses of five deciduous broad-leaved tree seedlings in the Northeast Area of China to burning	WANG Rong, HU Haiqing (2303)
The occurrence regularity of psyllid in <i>Haloxylon</i> spp and its influencing factors	LI Fenlian, WU Xuehai, WANG Peiling, et al (2311)
The estimating of the spatial distribution of forest biomass in China based on remote sensing and downscaling techniques	LIU Shuangna, ZHOU Tao, SHU Yang, et al (2320)
Multivariate correlation analysis between landscape pattern and water quality	ZHAO Peng, XIA Beicheng, QIN Jianqiao, et al (2331)
Red fox habitat selection and landscape feature analysis in the Dalai Lake Natural Reserve in Inner Mongolia	ZHANG Honghai, LI Chengtao, DOU Huashan, et al (2342)
Research on assemblage characteristics of macroinvertebrates in the Yalu Tsangpo River Basin	XU Mengzhen, WANG Zhaoyin, PAN Baozhu, et al (2351)
Climate change induced potential range shift of the crested ibis based on ensemble models	ZHAI Tianqing, LI Xinhai (2361)
Analysis of the sources of second generation meadow moth populations that immigrated into Chinese pastoral areas in 2010	ZHANG Li, ZHANG Yunhui, ZENG Juan, et al (2371)
Genetic diversity based on cytochrome <i>b</i> gene analysis of different geographic populations of blue sheep in China	LI Nannan, LIU Zhensheng, WANG Zhenghuan, et al (2381)
Soil microbial properties under different grain-for-green patterns in depressions between karst hills	LU Shiyang, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2390)
Ecosystem and soil respiration of a poplar plantation on a sandy floodplain in Northern China	FANG Xianrui, ZHANG Zhiqiang, ZHA Tonggang, et al (2400)
Estimating total nitrogen content in water body based on reflectance from wetland vegetation	LIU Ke, ZHAO Wenji, GUO Xiaoyu, et al (2410)
Analysis on complete F type of mitochondrial genome in <i>Lamprotula lei</i>	CHEN Ling, WANG Guiling, LI Jiale (2420)
The source-sink landscape pattern change and its effect on phosphorus pollution in Yuqiao watershed	LI Chongwei, HU Jie, WANG Sa, et al (2430)
Responses of soil nematode communities to soluble salt contamination around Gangue hill in Fushun	ZHANG Weidong, LV Ying, XIAO Ying, et al (2439)
Effect of aboveground competition on biomass partitioning of understory Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	WANG Jinsong, FAN Xiuhua, FAN Juan, et al (2447)
Research of methane metabolic microbial community in soils of slash pine plantation and Masson pine plantation	WANG Yun, ZHENG Hua, CHEN Falin, et al (2458)
$\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars of <i>Pinus massoniana</i> and <i>Cunninghamia lanceolata</i> response to meteorological factors	LU Yuxi, WANG Zhenxing, ZHENG Huaizhou, et al (2466)
Soil respiration patterns during restoration of vegetation in the Shapotou area, Northern China	GAO Yanhong, LIU Lichao, JIA Rongliang, et al (2474)
Dynamics of caloric value of <i>Robinia pseudoacacia</i> L. energy forest in the west of Henan Province	TAN Xiaohong, LIU Shiqi, MA Luyi, et al (2483)
<i>Ex-situ</i> symbiotic seed germination of <i>Dendrobium catenatum</i>	WU Huifeng, SONG Xiqiang, LIU Hongxia (2491)
Effects of red/far red ratio on morphological index, leaf area and dry matter partitioning of cut chrysanthemum flower	YANG Zaiqiang, ZHANG Jibo, LI Yongxiu, et al (2498)
Effect of prometryne on root activity and oxidative stress of <i>Polygala tenuifolia</i> Willd. seedling roots	WEN Yinyuan, GUO Pingyi, YIN Meiqiang, et al (2506)
Combined effects of elevated O_3 concentration and UV-B radiation on photosynthetic characteristics of soybean	ZHENG Youfei, XU Weimin, WU Rongjun, et al (2515)
Nutrients transfer for host plant and litter decomposition by AMF in Karst soil	HE Yuejun, ZHONG Zhangcheng, DONG Ming (2525)
The dynamics of bacteria community diversity during the fermentation process of traditional soybean paste	GE Jingping, CHAI Yangyang, CHEN Li, et al (2532)
Effect of site-specific fertilization on soil phosphorus in purple garden soil	SUN Qianqian, WANG Zhengyin, ZHAO Huan, et al (2539)
A method of determining standards for ecological compensation in agricultural areas, giving priority to environmental flows in water allocation	PANG Aiping, SUN Tao (2550)
The loss of ecosystem services value caused by food security assessment model and its application	LU Weiye, JIANG Zhide, ZHANG Yinglong, et al (2561)
Review and Monograph	
Review of the current situation of coastal ecological engineering using dredged marine sediments and prospects for potential application in China	HUANG Huamei, GAO Yang, WANG Yinxia, et al (2571)
Discussion	
Quorum sensing in anaerobic ammonium oxidation bacteria	DING Shuang, ZHENG Ping, ZHANG Meng, et al (2581)
Health evaluation of Dongting Lake based on morphological characters	SHUAI Hong, LI Jingbao, XIA Beicheng, et al (2588)
Scientific Note	
Effects of mix-leaf litter decomposition of different trees in the Loess Plateau	LIU Zengwen, DU Liangzhen, ZHANG Xiaoxi, et al (2596)
Changes in soil active organic carbon under different management types of bamboo stands	MA Shaojie, LI Zhengcai, WANG Bin, et al (2603)
Effects of drought stress on photosynthesis and associated physiological characters of pepper	OU Lijun, CHEN Bo, ZOU Xuexiao (2612)
Effects of silicon application and drought stress on photosynthetic traits and mineral nutrient absorption of rice leaves	CHEN Wei, CAI Kunzheng, CHEN Jining (2620)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 8 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 8 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	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