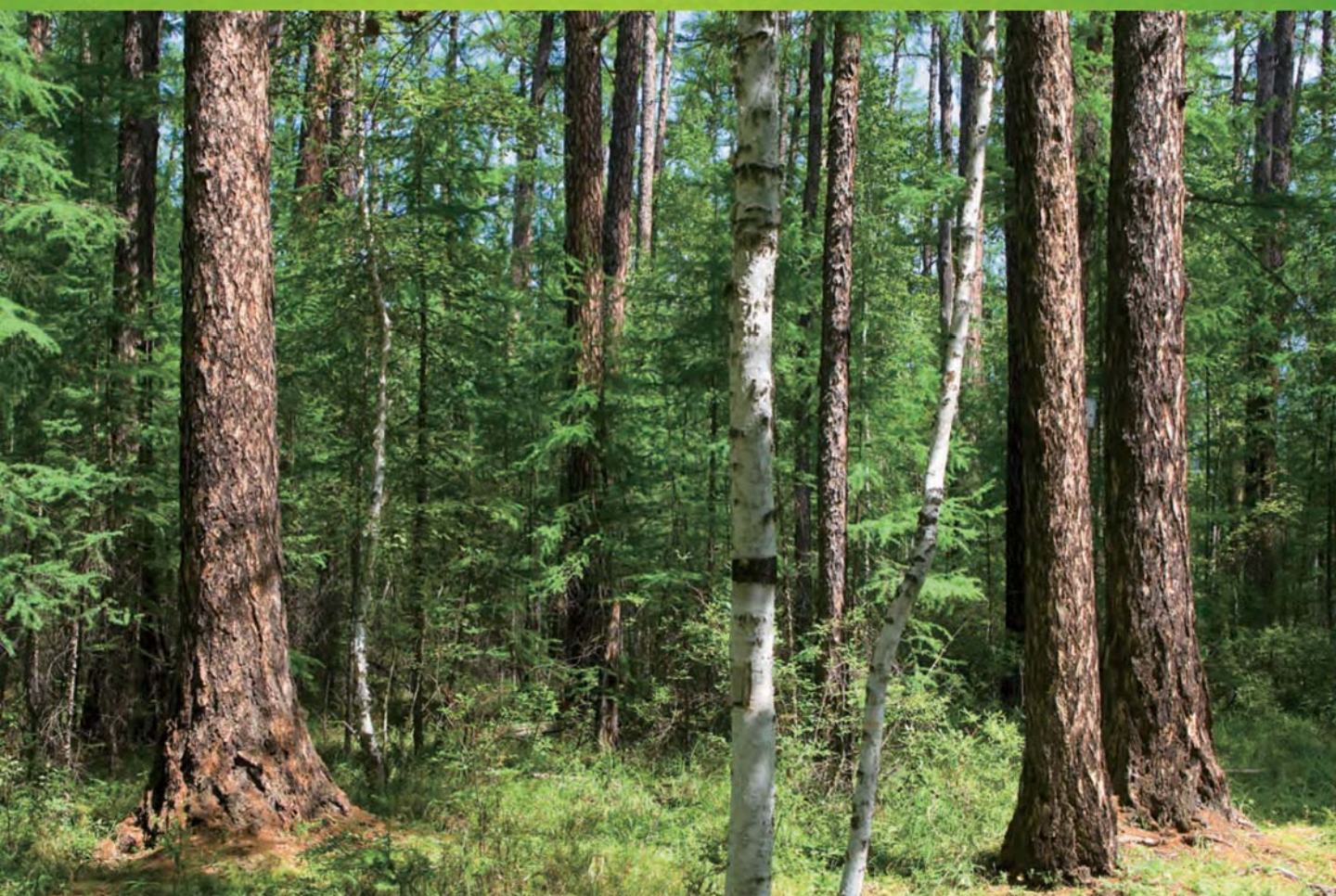


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

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)
- 浒苔干粉末提取物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 CH₄ 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 NH₃ 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 N₂O 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 CO₂ 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/stxb201205220758

张树杰, 廖星, 胡小加, 谢立华, 余常兵, 李银水, 车志, 廖祥生. 渍水对油菜苗期生长及生理特性的影响. 生态学报, 2013, 33(23): 7382-7389.

Zhang S J, Liao X, Hu X J, Xie L H, Yu C B, Li Y S, Che Z, Liao X S. Effects of waterlogging on the growth and physiological properties of juvenile oilseed rape. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(23): 7382-7389.

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, 谢立华, 余常兵, 李银水, 车志, 廖祥生

(中国农业科学院油料作物研究所农业部油料作物生物学与遗传育种重点实验室, 武汉 430062)

摘要:通过盆栽试验研究了模拟渍水条件对苗期油菜(*Brassica napus* L.)中双 11 号生长及生理特性的影响。结果表明, 渍水超过 3 d 就会显著抑制苗期油菜的生长, 这与渍水降低油菜叶片叶绿体和光合色素含量、降低氮素吸收利用和引起过氧化胁迫有关。渍水后苗期油菜的生理恢复, 无论是叶绿体和光合色素含量, 还是硝酸还原酶及抗氧化酶活性的恢复均表现出一定的滞后性, 而且渍水时间越长滞后期越长。此外, 在苗期油菜叶片光合色素中, 渍水对类胡萝卜素的影响要大于对叶绿素的影响。

关键词:硝酸还原酶; 超氧化物歧化酶; 过氧化物酶; 过氧化氢酶; 光合色素

Effects of waterlogging on the growth and physiological properties of juvenile oilseed rape

ZHANG Shujie, LIAO Xing*, HU Xiaojia, XIE Lihua, YU Changbing, LI Yinshui, CHE Zhi, LIAO Xiangsheng
Oil Crops Research Institute of the Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Oil Crops Ministry of Agriculture of P.R. China, Wuhan 430062, China

Abstract: A pot experiment was conducted to investigate the effects of waterlogging on the growth and physiological properties of juvenile oilseed rape (*Brassica napus* L. cv. Zhongshuang No. 11). Waterlogging lasted 3 or more days significantly depressed the plant growth, which might be due to it decreased the chloroplast and photosynthetic pigment content, nitrogen uptake and utilization, and induced the oxidization of plant. The effects of waterlogging on juvenile oilseed rape growth is mainly attributed to its influence on the recovery process of physiological properties after flooding, which was prolonged with the period of waterlogging lasted, including the chloroplast and photosynthetic pigment content, nitrate reductase and antioxidant enzyme activities. Moreover, in photosynthetic pigment, the effect of waterlogging on the carotenoid content was more significant than chlorophyll content of juvenile oilseed rape.

Key Words: nitrate reductase; superoxide dismutase; peroxidase; catalase; photosynthetic pigment

渍害是许多国家农业生产所共同面临的重大自然灾害^[1-3]。油菜是我国最主要的油料作物^[4-5], 多数研究发现其抗(耐)渍能力相对较弱^[2,6-7]。近年来, 长江流域春、秋两季渍害日益严重, 给油菜生产带来了十分不利的影响^[8-9]。田间渍水引起土壤严重缺氧, 不仅使作物根系有氧呼吸减弱、无氧呼吸增加、根系活力降低, 还会使作物细胞产生大量的活性氧自由基, 导致根系吸收能力减弱、植株光合作用下降, 进而引起生长受阻、产量大幅降低^[1-2,6,10]。目前有关渍害对作物生长及生理过程影响的研究报道很多, 但多数是以渍水胁迫过程为重点, 而对渍水胁迫后作物生长恢复方面的研究却相对较少。本研究以甘蓝型油菜(*Brassica napus*

基金项目:公益性行业(农业)专项经费资助项目(201203032, 201203096); 农业部油料作物生物学与遗传育种重点实验室开放课题资助项目(2012013)

收稿日期: 2012-05-22; 修订日期: 2013-11-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liaox@oilcrops.cn

L.) 中双 11 号为材料,通过盆栽模拟试验研究苗期渍水和渍水后油菜生长及生理代谢的响应,以期揭示苗期渍害对油菜生长的影响及作用机制,旨在为提高油菜抗(耐)渍能力、促进渍害后油菜生长恢复提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点及材料

试验于 2011 年 10 月至 12 月在中国农业科学院油料作物研究所网室(湖北武汉,东经 114°20′,北纬 30°37′)进行。试验地 10、11 和 12 月平均气温分别为 16.0 ℃、9.7 ℃和 4.2 ℃。供试土壤为黄棕壤,采自湖北省武汉市新洲区阳逻镇(东经 114°54′,北纬 30°37′)农田耕层(0—20 cm),pH 6.71(H_2O 测定,土水比 1:5),可溶性有机碳 104.1 mg/kg,总氮(N) 1.28 g/kg,硝态氮(NO_3-N) 5.4 mg/kg,铵态氮(NH_4-N) 4.4 mg/kg,速效磷(P) 36.2 mg/kg,速效钾(K) 63.9 mg/kg。土壤风干后,过 2 mm 筛、装盆(每盆 5.0 kg),土壤水分用去离子水调整至田间持水量的 70%。供试油菜为长江流域广泛种植的双低甘蓝型油菜中双 11 号,由中国农业科学院油料作物研究所生物技术育种课题组提供。

1.2 试验设计

播种前将挑选过的油菜种子用 1%次氯酸钠溶液浸泡 10 min,去离子水冲洗干净,室内晾干。播种前每盆施入尿素 1.25 g、氯化钾 0.75 g、过磷酸钙 1.0 g 和硼砂 0.15 g。10 月 1 日播种,每天用去离子水维持土壤水分至田间持水量的 70%(称重法)。四叶期定苗,每盆均匀保留 2 株。五叶期进行处理,试验包括渍水 3 d(I)、6 d(II)、9 d(III)和正常供水对照(CK)4 个处理。渍水处理是将整盆放置于塑料水箱内,始终保持水面高于土壤表面 1 cm,对照每天浇蒸馏水使土壤含水量保持在田间持水量的 70%,土壤水分含量用土壤水分速测仪检测控制(Delta-T Devices Ltd, Moisture Meter type HH2, UK)。分别在试验的 0、3、6、9、12、15 d 和 18 d 进行破坏性采样,每处理 4 个重复(每重复 2 盆,共计 176 盆)。每重复中的 1 株幼苗 105 ℃杀青 30 min,70 ℃烘干 48 h 至恒重测定生物量,其余植株沿出土线分为地上部和根系,去离子水冲洗干净,4 ℃保存用于生理指标测定。

1.3 测定项目与方法

根系酶活性测定主要选用靠近根尖的须根部分。叶片酶活性和叶绿素含量测定选用新叶下第 3 个叶片,叶绿体含量测定选用其余叶片。

1.3.1 光合色素含量测定

取鲜叶 0.2 g 放置于研钵中,加入少量碳酸钙粉末及 2—3 mL 95%乙醇匀浆。然后将匀浆液过滤到 25 mL 棕色容量瓶中,冲洗研钵和滤纸多次,最后用 95%乙醇定容。叶绿素提取液在分光光度计上分别测定 645、649 nm 和 460 nm 波长吸光值,计算光合色素含量。为了防止叶绿素的见光分解,所有过程均在 4 ℃、暗光条件下进行^[11]。

1.3.2 叶绿体含量测定

取 1.0 g 鲜叶置于 5.0 mL 充分预冷的提取液(pH 8.0,内含 300 mmol/L 山梨醇,50 mmol/L Tris-HCl,5 mmol/L EDTA 和 0.1% β -巯基乙醇)中匀浆,匀浆液用 4 层纱布过滤。滤液于 4 ℃、700 r/min 离心 10 min,弃去细胞核沉淀。上清液再于 4 ℃、2000 r/min 离心 10 min,所得沉淀即为叶绿体提取液^[12],冷冻干燥后称重。

1.3.3 抗氧化酶活性测定

酶液的提取:称取 0.5 g 鲜样剪碎,加 0.05 mol/L, pH 值 7.8 的磷酸缓冲液(内含 1%的 PVP)5.0 mL 及少量石英砂,于冰浴中研磨提取,15000 r/min,4 ℃离心 15 min,上清液即为酶提取液,用于 SOD、POD 和 CAT 活性的测定。SOD 活性采用氮蓝四唑(NBT)光还原法,以抑制光化还原的 50%为一个酶活性单位;POD 活性采用愈创木酚法,以每分钟内 A_{470} 变化 0.01 为一个酶活性单位;CAT 采用过氧化氢法,以每分钟内 A_{240} 变化 0.01 为一个酶活性单位。抗氧化酶活性单位表示为 U/g 鲜重,U 为一个酶活性单位^[13-14]。

1.3.4 叶片硝酸还原酶活性测定

取鲜样 0.5 g 放置于预冷的研钵中,加入 4.0 mL 0.025 mol/L 磷酸缓冲液(pH 8.7,内含 12.11 mg/L 半胱

氨酸和 3.72 mg/LEDTA) 在冰浴中研磨匀浆。匀浆液在 4 ℃、4000 r/min 条件下离心 15 min。取上清液 0.4 mL, 加入 1.2 mL 0.1 mol/L KOH 缓冲液和 0.4 mL 2.0 mg/mL NADH, 混匀在 25 ℃ 水浴中保温 30 min。然后加入 1.0 mL 1% 磺胺溶液终止反应, 再加入 1.0 mL 0.02% 萘基乙烯胺溶液显色 15 min, 取上清液在 540 nm 波长下测定吸光值, 对照标准曲线计算硝酸还原酶活性。硝酸还原酶活性单位表示为 $\mu\text{g NO}_2\text{-N} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 鲜重^[11,15]。

1.4 数据分析

所有数据均为 4 个重复的平均值 $\pm$ 标准误 ($\pm\text{SE}$), SPSS (16.0) 软件进行单因素方差 (ANOVA) 统计分析, Duncan 法多重比较和 *t* 检验, 差异显著性定义为 $P < 0.05$, Excel 10 制作相应图表。

2 结果与分析

2.1 苗期渍水处理对油菜生长的影响

整个试验期内, 正常供水对照 (CK) 中双 11 号油菜干重随时间显著升高 (图 1)。渍水期间, 油菜地上部干重 6 d 内与 CK 没有显著差异, 但 9 d 时较 CK 显著降低; 而根系干重 3 d 时较 CK 显著升高, 此后随时间延后显著降低。18 d 时, 渍水 3 d (I) 处理地上部和根系干重分别较 CK 升高了 2.2% 和 18.2%; 渍水 6 d (II) 处理地上部和根系干重分别较 CK 降低了 3.2% 和 12.8%; 渍水 9 d (III) 处理地上部和根系干重分别较 CK 降低了 8.8% 和 24.4%。渍水结束后, 处理 I 干重尽管随时间显著升高, 但始终显著低于 CK, 特别是地上部; 处理 II 干重 9 d 时显著降低, 而后虽随时间显著升高; 处理 III 干重却随时间显著降低。18 d 时, 处理 I、II 和 III 地上部干重分别较 CK 降低了 39.3%, 57.5% 和 73.7%, 根系干重分别较 CK 降低了 25.5%, 35.3% 和 79.8%。

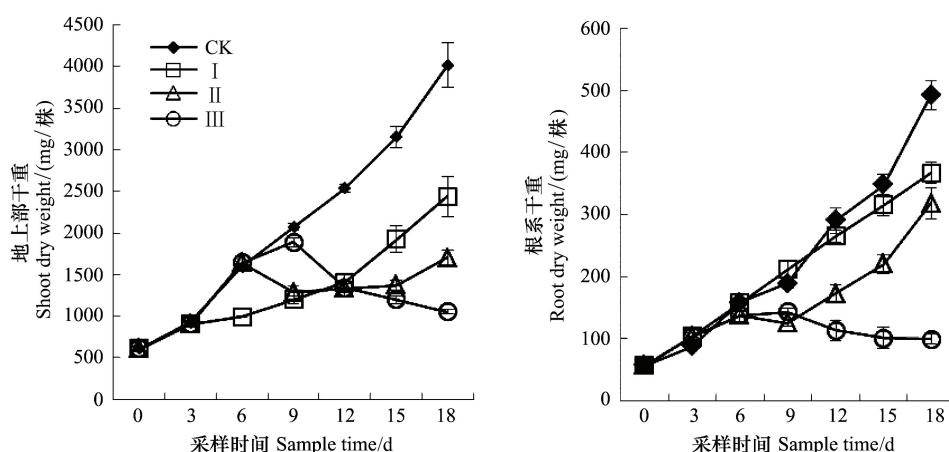


图 1 渍水处理对油菜地上部和根系干重的影响

Fig.1 Effects of waterlogging on juvenile winter oilseed rape shoot and root dry weight

CK, 对照 Control; I, 渍水 3 d Waterlogging lasted 3 d; II, 渍水 6 d Waterlogging lasted 6 d; III, 渍水 9 d Waterlogging lasted 9 d

2.2 苗期渍水处理对油菜叶片光合色素及叶绿体含量的影响

在 CK 处理中, 油菜叶片叶绿素 (包括叶绿素 a 和叶绿素 b) 含量在 0 d 至 9 d 内呈升高趋势, 但仅 9 d 时达到显著性差异, 此后没有显著变化 (图 2)。渍水期间, 叶片叶绿素 a 和叶绿素 b 含量均随渍水持续时间显著降低, 因此叶绿素总量也显著降低。渍水结束时, 处理 I、II 和 III 叶绿素总量分别较 CK 降低了 17.0%、34.2% 和 50.7%。渍水结束后 3 d, 处理 I、II 和 III 叶绿素 (包括叶绿素 a 和叶绿素 b) 含量仍然显著降低, 之后随时间显著升高。18 d 时, 处理 I、II 和 III 叶片叶绿素总量分别较 CK 降低了 20.9%、34.0% 和 44.4%。

在 CK 处理中, 油菜叶片类胡萝卜素含量在 0 d 至 9 d 内呈显著升高趋势, 9 d 以后没有显著变化; 而叶绿体含量在整个试验期间内没有显著变化 (图 3)。渍水期间, 叶片类胡萝卜素含量随渍水持续时间显著降低; 而叶绿体含量却在 3 d 时轻微升高, 3 d 至 6 d 时显著降低, 9 d 时没有显著变化。渍水结束时, 处理 I、II 和 III 类胡萝卜素含量分别较 CK 降低了 6.2%、24.3% 和 36.7%; 处理 I 叶绿体含量较 CK 升高了 1.5%, 而处理 II

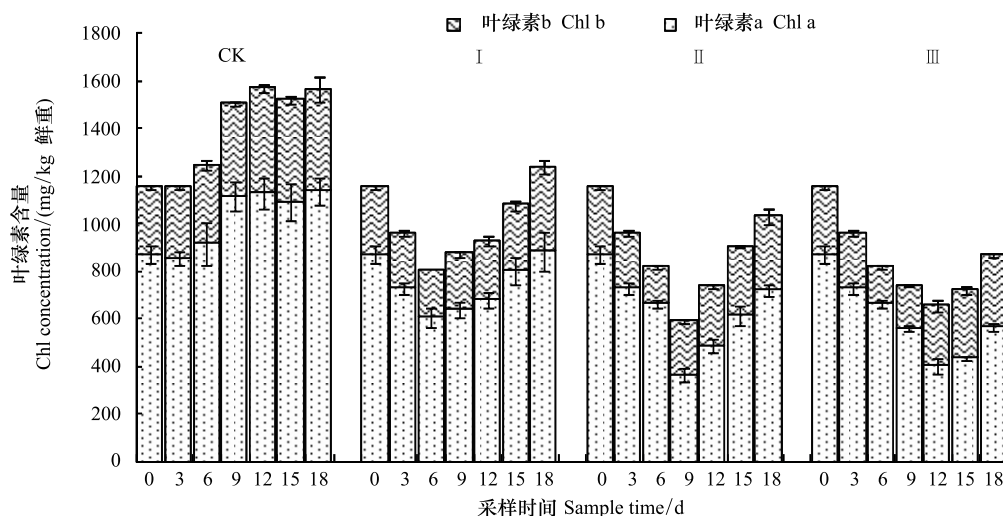


图2 不同渍水时间下苗期油菜叶绿素含量的变化

Fig.2 Chlorophyll contents of winter oilseed rape leaves under different period of waterlogging lasted

和Ⅲ叶绿体含量分别较CK降低了50.3%和53.8%。渍水结束后6 d内,处理Ⅰ和Ⅱ类胡萝卜素含量仍然表现为显著降低趋势,6 d后随时间显著升高;而处理Ⅲ类胡萝卜素含量渍水结束后没有显著变化。处理Ⅰ叶绿体含量在渍水结束后6 d内随时间显著降低,之后显著升高,18 d时接近CK水平;处理Ⅱ叶绿体含量渍水结束后6 d内没有显著变化,之后显著升高;处理Ⅲ叶绿体含量没有显著变化。18 d时,处理Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ叶片类胡萝卜素含量分别较CK降低了16.6%、22.2%和33.2%,叶绿体含量分别较CK降低了5.9%、26.6%和46.8%。

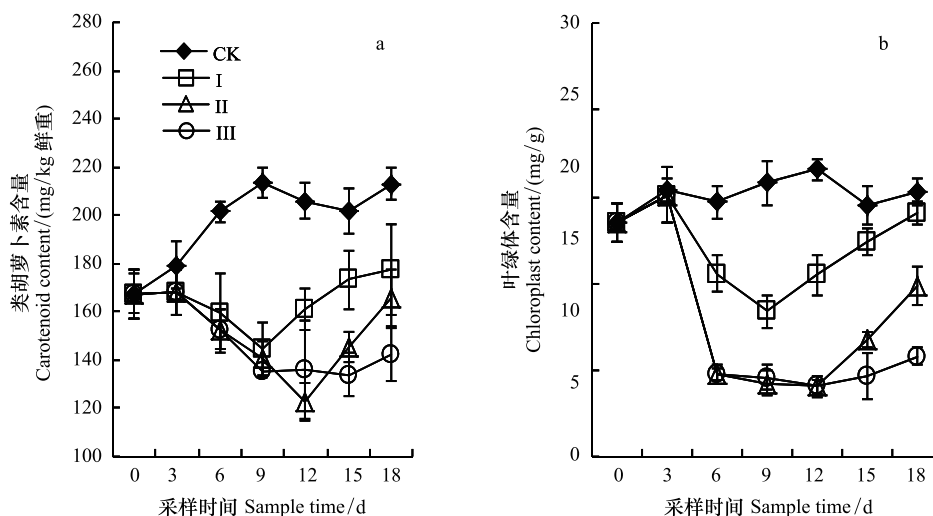


图3 渍水对苗期油菜叶片类胡萝卜素和叶绿体含量的影响

Fig.3 Effects of waterlogging on the carotenoid and chloroplast content of juvenile winter oilseed rape leaves

2.3 渍水处理对苗期油菜叶片硝酸还原酶活性的影响

整个试验期内,CK处理叶片硝酸还原酶(NR)活性没有显著变化(图4)。渍水期间,油菜叶片硝酸还原酶活性随时间显著降低。渍水结束时,处理Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ叶片硝酸还原酶活性分别比CK降低了10.0%、55.8%和72.6%。渍水结束后3 d内,叶片硝酸还原酶活性3 d内仍然表现为显著降低趋势,3 d后显著升高。18 d时,处理Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ叶片硝酸还原酶活性分别比CK降低了22.9%、26.5%和49.5%。

2.4 渍水处理对苗期油菜抗氧化酶活性的影响

整个试验期间,CK 叶片和根系中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性均没有显著变化(图 5)。渍水期间,叶片和根系 SOD 活性在 3 d 时显著降低,6 d 时显著升高,6 d 至 9 d 时没有明显变化均显著高于 CK;叶片 POD 活性随时间显著升高,而根系 POD 活性随时间显著降低;叶片 CAT 活性在 3 d 时显著降低,6 d 时虽较 3 d 时显著升高但仍然低于 CK,9 d 时又显著降低,而根系 CAT 活性随时间显著降低。渍水结束后,处理 I 叶片和根系 SOD 活性均显著升高,6 d 达到最大值而后显著降低,18 d 时显著低于 CK;处理 II 叶片和根系 SOD 活性显著降低,9 d 达到最小值而后显著升高,18 d 时显著低于 CK;处理 III 叶片和根系 SOD 活性降低 3 d(仅根系达到显著性差异)后显著升高,18 d 时显著高于 CK。

处理 I 叶片 POD 活性随时间显著降低,9 d 恢复至 CK 水平,而根系 POD 活性随时间显著升高,15 d 时恢复至 CK 水平;处理 II 叶片 POD 活性随时间显著升高,15 d 时开始显著降低,18 d 时显著高于 CK,而根系 POD 活性随时间显著升高;处理 III 叶片 POD 活性随时间显著升高,12 d 时开始降低,而根系 POD 活性显著降低,12 d 时达到最小值而后显著升高,18 d 时显著低于 CK。处理 I 叶片和根系 CAT 活性随时间显著升高,18 d 时,叶片 CAT 活性显著高于 CK,而根系 CAT 活性恢复至 CK 水平;处理 II 叶片和根系 CAT 活性均随时间显著升高,18 d 时均显著高于 CK;处理 III 叶片 CAT 活性随时间显著升高,18 d 时显著高于 CK,而根系 CAT 活性先降低后显著升高,18 d 时显著低于 CK。

3 讨论

大量研究证实,渍害抑制作物生长、降低作物产量,如小麦^[10,16-17]、玉米^[18]、大豆^[19]和棉花^[20]等均有相关报道。渍害对油菜生长影响的研究也很多,例如,Leul 等^[7]研究发现,苗期渍水使油菜花期干重较对照降低 16.0%。宋丰萍等^[6]研究也发现,苗期渍水 10 d,油菜地上部和根系干重分别较对照降低 16.6%和 23.1%;蕾苔期渍水 10 d,油菜地上部和根系干重分别较对照降低 19.1%和 21.4%;花期渍水 10 d,油菜地上部和根系干重分别较对照降低 16.9%和 20.5%。本试验也得出类似的结果,即渍水超过 3 d 就会显著降低中双 11 号油菜生长(图 1)。此外,渍水 3 d(I)处理干重在渍水结束后虽随时间显著升高,但其生长率显著低于对照 CK;渍水 6 d(II)处理干重在渍水结束后 3 d 内仍然显著降低,而后虽随时间显著升高,但其生长率也显著低于 CK;而渍水 9 d(III)处理干重在渍水结束后一直处于显著降低的趋势(图 1)。这些研究结果说明,渍水对苗期油菜生长的影响不仅在于渍水期间,还在于渍水后的恢复期长短,随着渍水持续时间的延长危害显著增加,所需的恢复时间也显著延长。

叶绿体是绿色植物光合作用的场所,光合色素是光合作用系统的中心成分,其含量变化的最直接结果是改变植物的光合作用^[11,13]。渍水引起作物,如小麦^[21]、玉米^[22]和油菜^[2]叶绿素含量和光合作用降低的报道很多。在本试验中,油菜叶片光合色素(包括叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素)含量随渍水持续时间显著降低(图 2,图 3),叶绿体含量也在渍水持续时间超过 3 d 后显著降低(图 3)。因此,降低叶绿体及叶绿素含量,进而引起光合作用降低可能是渍水抑制作物生长的主要原因之一。本试验还发现,渍水结束时,油菜叶片类胡萝卜素含量降低幅度显著高于相同处理叶绿素含量降低幅度;而且渍水处理叶绿素含量在渍水结束 3 d 后开始随时间显著升高,而类胡萝卜素含量只有处理 I 和 II 在渍水结束 6 d 后才开始显著升高(图 2,图 3)。这些研究结果说明,渍水对苗期油菜叶片类胡萝卜素含量的影响要大于对叶绿素含量的影响。

硝酸还原酶(NR)是植物氮(N)素代谢过程中的起始酶和限速酶,是催化 NO_3^- 转化为 NO_2^- 的关键酶,而

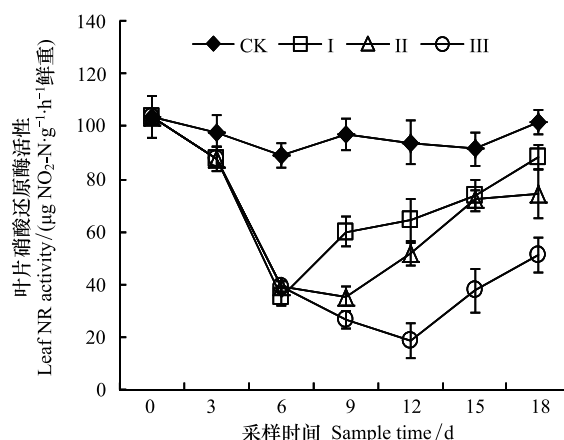


图 4 渍水处理对苗期油菜叶片硝酸还原酶活性的影响

Fig. 4 Effects of waterlogging on the leaf nitrate reductase activity of winter oilseed rape

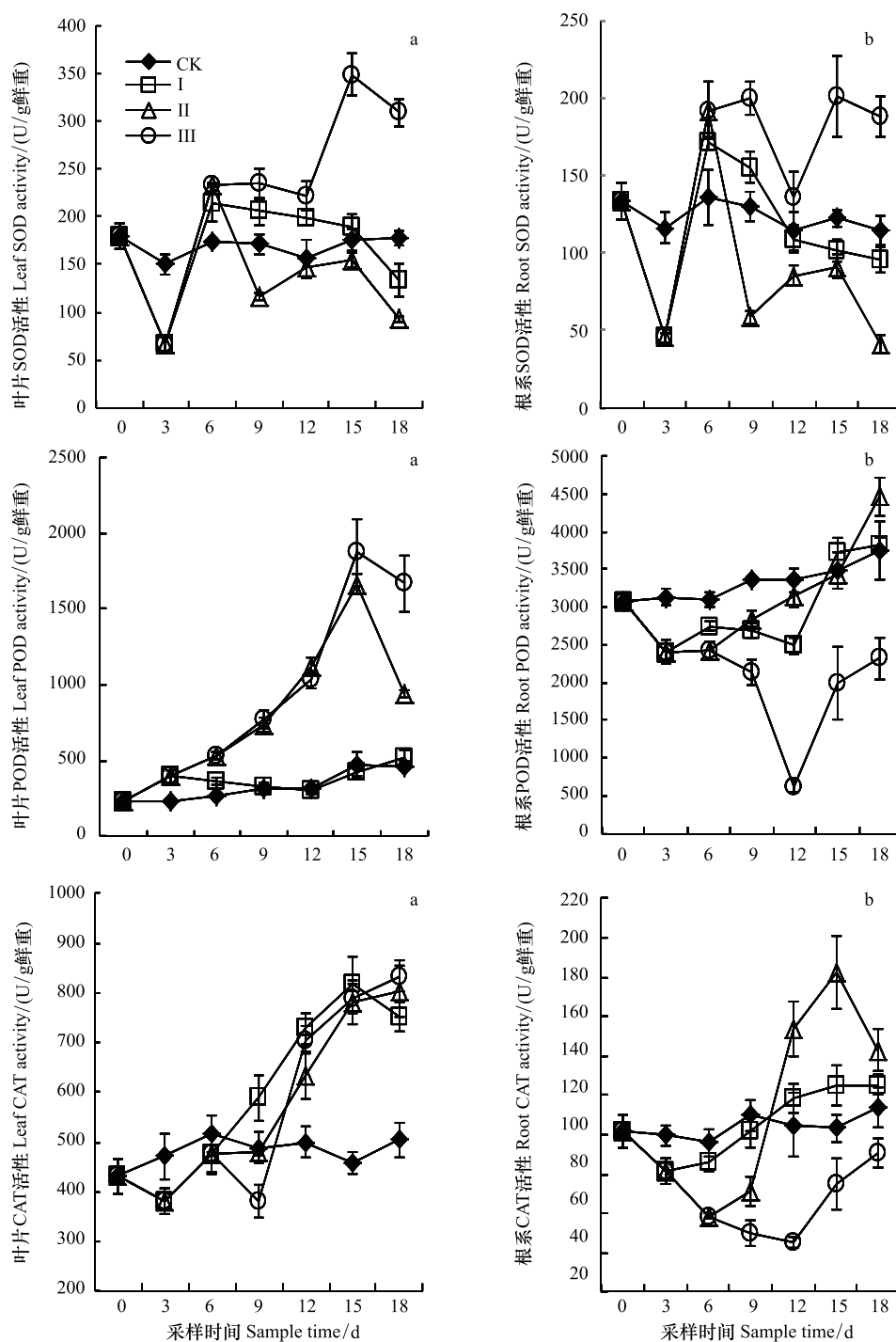


图5 渍水处理对苗期油菜叶片和根系抗氧化酶活性的影响

Fig.5 Effects of waterlogging on the antioxidant enzyme activities of winter oilseed rape leaf and root

U: 酶活性单位 Enzyme activity unit

叶片是作物 NO_3^- 利用的主要场所,因此叶片硝酸还原酶活性往往被作为植物 N 素同化利用能力的评价指标^[11,15]。本试验中,油菜叶片硝酸还原酶活性随渍水持续时间显著降低(图4),这与 Shambhoo 等^[22] 研究发现玉米叶片硝酸还原酶活性随渍水时间显著降低的结果一致,表明渍水处理显著降低了苗期油菜氮素的吸收和利用。此外,油菜叶片硝酸还原酶活性在渍水结束 3 d 后才开始显著升高,到试验结束时仍然显著低于 CK(图4),说明渍水对油菜苗期吸收和利用 N 素的影响也存在一定的滞后性。因此,降低 N 素的吸收利用,可

能也是苗期渍水降低了油菜生长的原因之一。

大量研究表明,渍水诱使植物体内活性氧自由基大量形成,导致细胞膜脂过氧化加剧,从而使油菜叶片叶绿体和光合色素含量显著降低^[1,2,18]。因为光合作用时会不可避免的产生活性氧自由基,正常生理代谢条件下,叶绿体活性氧产生和清除是平衡的;但在胁迫条件下,这种平衡将被打破,过量的活性氧自由基会引起叶绿体膜脂双层分子结构发生变化,导致叶绿体被膜膨胀和断裂、最终解体^[23]。因此,渍水引起过氧化胁迫是导致叶绿体和光合色素含量下降(图2,图3),进而引起光合作用降低的主要原因。

另一方面,植物体内的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)的协调作用能有效清除活性氧自由基,减轻植物受到的过氧化损害^[2,13-14,20]。但不同作物抗氧化酶活性对渍水的响应却不一致,如渍水条件下,小麦叶片SOD和CAT活性显著降低^[24];大麦叶片SOD活性显著降低,而CAT和POD活性显著升高^[25];棉花叶片SOD和CAT活性降低,而POD活性却显著升高^[20]。油菜方面,Leul等^[26]研究发现,渍水条件下,油菜幼苗SOD、POD和CAT活性显著降低,而采用烯硝唑处理后,SOD、POD、CAT活性和油菜耐湿性均显著提高。李玲等^[2]研究发现,短期渍水油菜叶片SOD和CAT活性随时间显著升高,而长期渍水油菜叶片SOD和CAT活性随时间显著降低,时间转折点为13 d。这些研究结果与本试验并不完全一致,渍水期间,油菜叶片SOD和CAT活性表现为先降低后升高趋势,而POD活性则表现为随渍水持续时间显著升高;油菜根系SOD活性表现为先降低后升高趋势,而POD和CAT则表现为随渍水持续时间显著降低(图5)。这种差异可能是因为作物种类、供试品种、处理时间或试验条件不同所致。渍水结束后,虽然这三个酶的活性都在趋于CK水平,但在试验结束时,处理I最接近CK,处理II次之,处理III偏离最远(图5)。这些结果表明,渍水后油菜抗氧化酶活性恢复也存在滞后现象,滞后期随渍水持续时间的延长而延长。

4 结论

综上所述,渍水持续时间超过3 d显著抑制苗期油菜的生长,这与渍水降低油菜叶绿体及光合色素含量、N素吸收利用以及引起过氧化胁迫有关;渍水对苗期油菜生长的影响主要在于渍水后的生理恢复,无论是叶绿体和光合色素含量,还是硝酸还原酶及抗氧化酶活性,他们的恢复均表现出滞后性,渍水时间越长滞后期也就越长;在苗期油菜叶片光合色素中,渍水对类胡萝卜素的影响要大于对叶绿素的影响。

References:

- [1] Irfan M, Hayat S, Hayat Q, Afroz S, Ahmad A. Physiological and biochemical changes in plants under waterlogging. *Protoplasma*, 2010, 241: 3-17.
- [2] Li L, Zhang C L, Zhang S J, Li G M. Effects of waterlogging on growth and physiological changes of winter rapeseed seedling (*Brassica napus* L.). *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2011, 33(3): 247-252.
- [3] Shabala S. Physiological and cellular aspects of phytotoxicity tolerance in plants: the role of membrane transporters and implications for crop breeding for waterlogging tolerance. *New Phytologist*, 2011, 190: 289-298.
- [4] Zhang S J, Zhang C L. Effects of inoculating earthworm on the seed yield and its oil content of winter oilseed rape. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(6): 1499-1503.
- [5] Zhang S J, Wang Q, Li G M, Zhang C L. Dynamics of essential metal elements contents in winter oilseed rape during cold acclimation. *Agricultural Science & Technology*, 2011, 12(8): 1156-1160.
- [6] Song F P, Hu L Y, Zhou G S, Wu J S, Fu T D. Effect of waterlogging time on rapeseed (*Brassica napus* L.) growth and yield. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(1): 170-176.
- [7] Leul M, Zhou W J. Alleviation of waterlogging damage in winter rape by application of uniconazole: Effects on morphological characteristics, hormones and photosynthesis. *Field Crops Research*, 1998, 59: 121-127.
- [8] Zhang S J, Zhang C L. Influences of climate changes on oilseed rape production in China. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(9): 1749-1754.
- [9] Zhang S J, Wang H Z. Policies and strategies analyses of rapeseed production response to climate change in China. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2012, 34(1): 114-122.
- [10] Li J C, Wei F Z, Wang C Y, Yin J. Effects of waterlogging on senescence of root system at booting stage in winter wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(9): 1355-1360.
- [11] Zhang S J, Zhang C L, Li L, Yu L P. Effects of nitrogen forms on winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) seedling growth. *Chinese Journal of Oil*

- Crop Sciences, 2011, 33(6): 567-573.
- [12] Zhang N H. The optimized method of source density gradient centrifugation to isolate intact chloroplasts. *Experimental Technology and Management*, 2010, 27(7): 44-46.
- [13] Zhang S J, Li L, Zhang C L, Li G M. Influences of cadmium on the growth and micro-elements contents of oilseed rape seedlings. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(5): 836-842.
- [14] Zhang S J, Hu F, Li H X, Li X Q. Influence of earthworm mucus and amino acids on tomato seedling growth and cadmium accumulation. *Environmental Pollution*, 2009, 157: 2737-2742.
- [15] Zhang S J, Chao Y, Zhang C L, Cheng J, Li J, Ma N. Earthworms enhanced winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) growth and nitrogen uptake. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2010, 139: 463-468.
- [16] Li C Y, Cai J, Jiang D, Dai T B, Cao W X. Effects of hardening by pre-anthesis waterlogging on grain yield and quality of post-anthesis waterlogged wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Yangmai 9). *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(7): 1904-1910.
- [17] Jiang D, Fan X M, Dai T B, Cao W X. Nitrogen fertilizer rate and post-anthesis waterlogging effects on carbohydrate and nitrogen dynamics in wheat. *Plant and Soil*, 2008, 304: 301-314.
- [18] Tang B, Xu S Z, Zou X L, Zheng Y L, Qiu F Z. Changes of antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of waterlogging-tolerant and waterlogging-sensitive maize genotypes at seedling stage. *Agricultural Sciences in China*, 2010, 9: 651-661.
- [19] Rhine M D, Stevens G, Shannon G, Wrather A, Slepner D. Yield and nutritional responses to waterlogging of soybean cultivars. *Irrigation Science*, 2010, 28: 135-142.
- [20] Guo W Q, Chen B L, Liu R X, Zhou Z G. Effects of nitrogen application rate on cotton leaf antioxidant enzyme activities and endogenous hormone contents under short-term waterlogging at flowering and boll-forming stage. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(1): 53-60.
- [21] Collaku A, Harrison S A. Losses in wheat due to waterlogging. *Crop Science*, 2002, 42: 444-450.
- [22] Shambhoo P, Ram P C, Uma S. Effect of waterlogging duration on chlorophyll content, nitrate reductase activity, soluble sugar and grain yield of maize. *Annals of Plant physiology*, 2004, 18: 1-5.
- [23] Yu H, Liu Z L, Hu H L, Guan Q W, Wan F X. Effect of drought stress on the ultramicrostructures of chloroplasts and mitochondria of five plants. *Bulletin of Botanical Research*, 2011, 31(2): 152-158.
- [24] Jiang D, Tao Q N, Zhang G P. Effect of waterlogging on senescence of flag leaf and root of wheat Yangmai 5. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(11): 1519-1521.
- [25] Yordanova R Y, Christov K N, Petrova L P. Antioxidative enzymes in barley plants subjected to soil flooding. *Environmental and Experimental Botany*, 2004, 51: 93-101.
- [26] Leul M, Zhou W J. Alleviation of waterlogging damage in winter rape by uniconazole application: Effects on enzyme activity, lipid peroxidation and membrane integrity. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1999, 18: 9-14.

参考文献:

- [2] 李玲, 张春雷, 张树杰, 李光明. 渍水对冬油菜苗期生长及生理的影响. *中国油料作物学报*, 2011, 33(3): 247-252.
- [4] 张树杰, 张春雷. 接种蚯蚓对油菜籽粒产量和含油率的影响. *应用生态学报*, 2011, 22(6): 1499-1503.
- [6] 宋丰萍, 胡立勇, 周广生, 吴江生, 傅廷栋. 渍水时间对油菜生长及产量的影响. *作物学报*, 2010, 36(1): 170-176.
- [8] 张树杰, 张春雷. 气候变化对我国油菜生产的影响. *农业环境科学学报*, 2011, 30(9): 1749-1754.
- [9] 张树杰, 王汉中. 我国油菜生产应对气候变化的对策和措施分析. *中国油料作物学报*, 2012, 34(1): 114-122.
- [10] 李金才, 魏凤珍, 王成雨, 尹钧. 孕穗期土壤渍水逆境对冬小麦根系衰老的影响. *作物学报*, 2006, 32(9): 1355-1360.
- [11] 张树杰, 张春雷, 李玲, 余利平. 氮素形态对冬油菜幼苗生长的影响. *中国油料作物学报*, 2011, 33(6): 567-573.
- [12] 张年辉. 优化的蔗糖密度梯度离心法分离完整叶绿体. *实验技术与管理*, 2010, 27(7): 44-46.
- [13] 张树杰, 李玲, 张春雷, 李光明. 镉对油菜幼苗生长及微量元素含量的影响. *农业环境科学学报*, 2011, 30(5): 836-842.
- [16] 李诚永, 蔡剑, 姜东, 戴廷波, 曹卫星. 花前渍水预处理对花后渍水逆境下扬麦 9 号籽粒产量和品质的影响. *生态学报*, 2011, 31(7): 1904-1910.
- [20] 郭文琦, 陈兵林, 刘瑞显, 周治国. 施氮量对花铃期短期渍水棉花叶片抗氧化酶活性和内源激素含量的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(1): 53-60.
- [23] 郁慧, 刘中亮, 胡宏亮, 关庆伟, 万福绪. 干旱胁迫对 5 种植物叶绿体和线粒体超微结构的影响. *植物研究*, 2011, 31(2): 152-158.
- [24] 江东, 陶勤南, 张国平. 渍水对小麦扬麦 5 号旗叶和根系衰老的影响. *应用生态学报*, 2002, 13(11): 1519-1521.

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 zbrafish *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 CH₄ 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 N₂O 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	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