

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

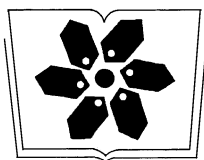
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第1期 Vol.33 No.1 **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 1 期 2013 年 1 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 生态整合与文明发展..... 王如松 (1)
- 干旱半干旱区坡面覆被格局的水土流失效应研究进展 高光耀,傅伯杰,吕一河,等 (12)
- 城市林木树冠覆盖研究进展 贾宝全,王 成,邱尔发,等 (23)
- 环境质量评价中的生物指示与生物监测 Bernd Markert,王美娥,Simone Wünschmann,等 (33)
- 水溶性有机物电子转移能力及其生态效应 毕 冉,周顺桂,袁 田,等 (45)

个体与基础生态

- 凋落物和增温联合作用对峨眉冷杉幼苗抗氧化特征的影响 杨 阳,杨 燕,王根绪,等 (53)
- 不同浓度 5-氨基乙酰丙酸(ALA)浸种对 NaCl 胁迫下番茄种子发芽率及芽苗生长的影响
..... 赵艳艳,胡晓辉,邹志荣,等 (62)
- 缺镁胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 凌丽俐,彭良志,王男麒,等 (71)
- 松嫩草地 66 种草本植物叶片性状特征..... 宋彦涛,周道玮,王 平,等 (79)
- 花蜜中酚类物质对群落中同花期植物传粉的影响..... 赵广印,李建军,高 洁 (89)
- 桉树枝瘿姬小蜂连续世代种群生命表..... 朱方丽,邱宝利,任顺祥 (97)

种群、群落和生态系统

- 蒙古栎地理分布的主导气候因子及其阈值 殷晓洁,周广胜,隋兴华,等 (103)
- 河静黑叶猴果实性食物组成、选择及其对种子的扩散作用..... 阮海河,白 冰,李 宁,等 (110)
- 2010 秋季东海今生颗石藻的空间分布 靳少非,孙 军,刘志亮 (120)
- OPRK1 基因 SNP 与梅花鹿日间行为性状的相关性 吕慎金,杨 燕,魏万红 (132)
- 鄱阳湖流域非繁殖期鸟类多样性 邵明勤,曾宾宾,徐贤柱,等 (140)
- 人工巢箱条件下两种山雀鸟类的同域共存机制 李 乐,张 雷,殷江霞,等 (150)
- 桉-栎不同混合比例凋落物分解过程中土壤动物群落动态 李艳红,杨万勤,罗承德,等 (159)
- 三峡库区生态系统服务功能重要性评价 李月臣,刘春霞,闵 婕,等 (168)

景观、区域和全球生态

- 黄土高原小流域不同地形下土壤有机碳分布特征 李林海,郜二虎,梦 梦,等 (179)
- 海岸带地理特征对沉水植被丰度的影响..... 吴明丽,李叙勇,陈年来 (188)
- 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质 曹国栋,陈接华,夏 军,等 (195)

资源与产业生态

- 农田开垦对三江平原湿地土壤种子库影响及湿地恢复潜力 王国栋,Beth A Middleton,吕宪国,等 (205)
- 漫溢干扰过程中微地形对幼苗定居的影响 安红燕,徐海量,叶 茂,等 (214)
- 黑龙江流域夏玉米产量提升限制因素 徐丽娜,陶洪斌,黄收兵,等 (222)
- 黑龙江省药用植物根际土壤真菌多样性 慕东艳,吕国忠,孙晓东,等 (229)

桑沟湾养殖生态系统健康综合评价 傅明珠,蒲新明,王宗灵,等 (238)

城乡与社会生态

基于“OOAO 原则”的罗源湾生态质量状况综合评价 吴海燕,吴耀建,陈克亮,等 (249)

四十里湾营养状况与浮游植物生态特征 李 斌,白艳艳,邢红艳,等 (260)

生态足迹深度和广度:构建三维模型的新指标 方 恺 (267)

中国东西部中小城市景观格局及其驱动力 齐 杨,邬建国,李建龙,等 (275)

研究简报

南海陆坡沉积物细菌丰度预测 李 涛,王 鹏 (286)

浑善达克沙地榆树疏林幼苗更新空间格局 刘 振,董 智,李红丽,等 (294)

光 and 不同打破种子休眠方法对紫茎泽兰种子萌发及幼苗状态的影响 姜 勇,李艳红,王文杰,等 (302)

学术争鸣

关于植物群丛划分的探讨 邢韶华,于梦凡,杨立娟,等 (310)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2013-01



封面图说:外来入侵物种紫茎泽兰——紫茎泽兰约于 20 世纪 40 年代由缅甸传入中国云南南部后迅速蔓延,现已在云南、贵州、四川、广西、重庆、湖北、西藏等省区广泛分布和危害,并仍以每年大约 30 km 的速度扩散。紫茎泽兰为多年生草本或亚灌木,号称“植物界杀手”。其对环境的适应性极强,疯长蔓延,能极大耗损土壤肥力。它的植株能释放多种化感物质,排挤其他植物生长而形成单优种群,它破坏生物多样性,威胁到农作物、畜牧草甚至林木,且花粉能引起人类过敏性疾病等,目前尚无有效治理对策。

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

DOI: 10.5846/stxb201111021643

凌丽俐, 彭良志, 王男麒, 邢飞, 江才伦, 曹立, 淳长品. 缺镁胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响. 生态学报, 2013, 33(1): 0071-0078.

Ling L L, Peng L Z, Wang N Q, Xing F, Jiang C L, Cao L, Chun C P. Influence of magnesium deficiency on chlorophyll fluorescence characteristic in leaves of Newhall navel orange. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(1): 0071-0078.

缺镁胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响

凌丽俐¹, 彭良志^{1,*}, 王男麒², 邢飞², 江才伦¹, 曹立¹, 淳长品¹

(1. 中国农业科学院柑桔研究所/国家柑桔工程技术研究中心, 重庆 400712; 2. 西南大学园林园艺学院, 重庆 400712)

摘要:以 1 年生砧砧纽荷尔脐橙为材料, 测定不同叶龄叶片相对叶绿素含量和荧光参数, 研究缺镁胁迫对叶片叶绿素合成与荧光特性的影响。结果显示, 随着叶位的升高, 低镁组和无镁组秋梢叶片(老叶)的相对叶绿素含量、 F_v/F_m 呈明显增加趋势, 而春梢叶片(新叶)的相对叶绿素含量、 F_v/F_m 差异不显著; 随着缺镁胁迫程度的增大, 叶片相对叶绿素含量、 F_v/F_m 、光响应能力($\Delta F_v/F_m$ 、 qP 和 $rETR$)均呈降低趋势, 而非光化学淬灭(qN)呈升高趋势, 低镁组老叶、新叶及无镁组新叶与对照差异不显著($P > 0.05$), 而无镁组老叶与对照差异显著($P < 0.05$)。表明, 缺镁胁迫严重时不仅会导致纽荷尔脐橙老叶光合能力降低, 也会导致其新叶光合能力降低; 短期缺镁胁迫对老叶光合能力的影响显著大于新叶, 而且这种差异随着缺镁程度的增大而呈增大趋势。因此, 在夏季高光照条件下缺镁纽荷尔脐橙老叶易发生光抑制, 缺镁严重时甚至会产生光伤害, 导致叶片早衰。

关键词: 缺镁胁迫; 纽荷尔脐橙; 叶绿素; 荧光特性

Influence of magnesium deficiency on chlorophyll fluorescence characteristic in leaves of Newhall navel orange

LING Lili¹, PENG Liangzhi^{1,*}, WANG Nanqi², XING Fei², JIANG Cailun¹, CAO Li¹, CHUN Changpin¹

1 Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, National Citrus Engineering Research Center, Chongqing 400712, China

2 College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400712, China

Abstract: Magnesium (Mg), an essential nutritional element for citrus growth and development, plays an important role in maintaining chloroplast structure, activating a variety of enzymes and improving crop yield and quality. In recent years, with the increased rate of NPK fertilizer application and the decreased rate of manure application, many Newhall navel orange orchards in Gannan in Jiangxi Province, the south of Hunan Province and the north of Guangxi Province have suffered leaf chlorosis due to Mg deficiency. This has become one of the important factors in the South region impeding the yield and quality of citrus fruit. The purpose of the present study is to explore the influence of Mg deficiency stress on chlorophyll synthesis and the fluorescence characteristics of Newhall navel orange (*Citrus sinensis* Osbeck) at different foliar ages. The experimental materials were one-year-old Newhall navel orange plants grafted onto trifoliate orange [*Poncirus trifoliata* (L.)] rootstock. The plants were grown in sand:perlite (1:1, v/v) medium and irrigated with deionized water for 24 days to stimulate new root growth. Plants were then irrigated every other day for two months with half-strength Hoagland's nutrient solution containing three Mg concentrations: 0 mmol/L (Mg-deficiency, DM), 0.1 mmol/L (low-Mg, LM) or 1 mmol/L (control) $MgSO_4$. After Mg deficient treatment for two months, a portable chlorophyll meter (SPAD-502) was used to determine the relative amount of leaf total chlorophyll content at different foliar ages. Simultaneously, using a Pulse-Amplitude-Modulation (PAM-2500) fluorometer, the maximum quantum efficiency of photochemistry in photosystem II in

基金项目: 重庆市科委自然科学基金项目 (cstcjjA80022); 现代农业(柑橘)产业技术体系建设专项; 柑桔学重庆市市级重点实验室开放基金 (CKLC200802); 中央高校基本科研业务费专项资金 (XDJK2011C006)

收稿日期: 2011-11-02; 修订日期: 2012-06-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: penglz809@163.com

the dark (F_v/F_m) was calculated for the three treatments at different foliar ages. In addition, the rapid light response curves of the leaves were determined *in situ* with a PAM-2500 fluorometer to obtain the chlorophyll fluorescence characteristic parameters, including the effective quantum yield of photosystem II ($\Delta F_v/F_m$), photochemical quenching (qP), non-photochemical quenching (qN) and relative electron transport rate ($rETR$). Results from recent studies showed that in low-Mg and Mg-deficient treatments, SPAD readings and F_v/F_m in last year's autumn flush leaves increased remarkably with the rising of leaf position, whereas those in this year's spring flush leaves were not statistically significant among leaf positions. SPAD readings, F_v/F_m and light response ability ($\Delta F_v/F_m$, qP , $rETR$) decreased as the levels of Mg reduced, but qN increased. For chlorophyll fluorescence characteristics of last year's autumn flush leaves, the Mg-deficient treatment was remarkably different compared with the control, whereas there was no significant difference between the low-Mg treatment and the control. For chlorophyll fluorescence characteristics of this year's spring flush leaves, no significant differences were observed among the low-Mg, Mg-deficiency and control treatments. These findings suggested that Mg deficiency stress caused obvious decrement of photosynthetic capacity in last year's autumn flush leaves, and reduction of photosynthetic capacity in this year's spring flush leaves. In addition, short-term Mg deficiency would have a greater adverse effect on last year's autumn flush leaves depending on the degree of Mg deficiency stress. Therefore, under high irradiance in summer, Mg deficiency would make last year's autumn flush leaves of Newhall navel orange sensitive to photoinhibition. Severe Mg deficiency could even cause light-induced damage leading to the occurrence of premature senility (e. g. chlorosis).

Key Words: Mg deficiency; Newhall navel orange; chlorophyll; fluorescent characteristic

脐橙是当今我国栽培规模最大的甜橙品种,中国已成为世界最大的纽荷尔脐橙产地。但是,随着 N、P、K 化肥用量的增加和有机肥用量的减少,纽荷尔脐橙叶片缺镁黄化现象在赣南-湘南-桂北柑桔优势产区普遍存在,而且呈逐年加重趋势,已成为南方地区阻碍柑桔产量和品质提高的重要因素之一^[1]。镁是植物生长的必需元素之一,不仅对维持叶绿体结构有重要作用,而且在多种酶活化、作物产量提高和作物品质改善等方面也发挥着重要作用^[2-3]。目前,缺镁胁迫对植物光合生理影响的研究主要集中在龙眼^[4]、青枣^[5]、菜薹^[6]、水稻^[7]等方面,研究表明缺镁会导致叶片光合色素含量、光合参数(净光合速率、光饱和点和 CO_2 饱和点)、Chl a 荧光动力学参数(F_v/F_o 、 F_v/F_m 、 $\Delta F_v/F_m$ 和 F_d/F_s)的降低。目前,缺镁胁迫对纽荷尔脐橙叶片(特别是不同叶龄叶片)光合荧光特性的影响研究尚未见报道,不利于缺镁黄化植株叶面平衡施肥矫治技术的建立。本文研究了不同缺镁胁迫条件下纽荷尔脐橙不同叶龄叶片的叶绿素合成与荧光特性变化,以期对纽荷尔脐橙的高产优质生产提供理论指导和相关依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

试验于重庆市北碚区歇马镇中国农业科学院柑桔研究所脐橙课题盆栽场内进行。供试品种为 1 年生枳 [*Poncirus trifoliata* (L.)] 砧纽荷尔脐橙 (*Citrus sinensis* Osbeck 'Newhall')。选取砧木直径约 1.5 cm、高度约 35 cm 生长良好的嫁接苗,将植株地上部剪至 25 cm 左右,留有 5 片 2010 年秋梢叶片,主根剪至 5 cm 左右。2011 年 3 月 23 日定植进行盆栽砂培试验,每盆一株,加体积 1:1 的石英砂与珍珠岩 8 kg,盆底放托盘。前期仅供去离子水进行炼苗。

1.2 实验设计

春梢萌发初期(4 月 15 日)用 Hoagland(1/2 浓度)和 Aron 全浓度配方进行镁梯度营养液胁迫处理。完全营养液配方为:Ca(NO_3)₂ · 4H₂O 4 mmol/L, KNO₃ 6 mmol/L, NH₄H₂PO₄ 1 mmol/L, MgSO₄ · 7H₂O 2 mmol/L, H₃BO₃ 46 μmol/L, MnCl₂ · 4H₂O 6 μmol/L, ZnSO₄ · 7H₂O 0.7 μmol/L, CuSO₄ · 5H₂O 0.3 μmol/L, H₂MoO₄ 1 μmol/L, Fe-EDTA 50 μmol/L, pH 值 6.0。试验设 3 个镁水平,即无镁(0 mmol/L, DM)、低镁(0.1 mmol/L,

LM)和正常供镁(1 mmol/L,CK),每个水平处理15盆,共45盆。其中DM和LM为了维持离子浓度的平衡和避免硫元素的缺乏以添加 Na_2SO_4 替代 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 。实验期间,每2 d各实验盆补浇500 mL营养液,每7 d用去离子水洗盐1次,防止盐分累积。2个月后测定植株老叶(2010年秋梢叶片)及新叶((2011年春梢叶片))不同叶位叶片的相对叶绿素含量和 F_v/F_m 值,并分别测定倒数第一位老叶和新叶的快速光响应曲线。

1.3 相对叶绿素含量测定

相对叶绿素含量(SPAD)测定采用SPAD-502叶绿素测定仪(日本Konica公司)进行,于8:30—10:30在每个叶片主脉两侧中部从叶尖到叶基部均等测6个点,取其平均值,每次测定前用标准色板校正仪器基准数值^[8]。测定时避开叶脉。每株测定顺序为由下至上依次测定老叶5片(A1、A2、A3、A4和A5),新叶4片(S1、S2、S3和S4)。

1.4 叶绿素荧光特征测定

PS II原初光能转化效率(F_v/F_m)测定:叶绿素荧光采用PAM-2500调制叶绿素荧光仪(德国WALZ公司)测定。测定于6:00—8:00点进行,每株从下至上依次测定A1、A2、A3、A4和A5,再依次测定S1、S2、S3和S4。叶片暗适应20 min后,开启检测光($0.15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)得到叶绿素荧光参数初始荧光(F_o),再由饱和脉冲光($4000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 0.8 s)测得最大荧光(F_m)。根据 F_o 和 F_m ,计算 F_v/F_m :

$$F_v/F_m = (F_m - F_o) / F_m \quad (1)$$

快速光响应曲线测定:每个水平处理选择5株测定A1和S1叶片的快速光响应曲线。连体叶片经暗适应10 s后,迅速打开叶夹,测得 F_o 和 F_m ;随后,逐渐开启光强度分别为53、93、134、178、237、408、660、820、999、1177、1387、1648 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的光化光,每个强度的光化光照射10 s后,经检测光和饱和脉冲光测得 F_t 、 F_m' ,计算得到叶绿素荧光特征参数值,分别取平均值绘出快速光响应曲线^[9];随后用PamWin-3软件依据Platt等的公式(2)对快速光响应曲线进行拟合^[10],得到快速光响应曲线的最大相对电子传递速率($rETR_{\max}$)和半饱和光强(I_k)。通过测定的叶绿素荧光参数计算出有效荧光产量 $\Delta F_v/F_m$ 、光化学淬灭系数 qP 、非光化学淬灭系数 qN 和相对光合电子传递速率 $rETR$ ^[9],公式如下:

$$P = P_m \cdot (1 - e^{-\alpha \cdot \text{PAR}/P_m}) \cdot e^{-\beta \cdot \text{PAR}/P_m} \quad (2)$$

$$\Delta F_v/F_m = (F_m' - F_t) / F_m' \quad (3)$$

$$qP = (F_m' - F_t) / (F_m' - F_o) \quad (4)$$

$$qN = (F_m - F_m') / (F_m - F_o) \quad (5)$$

$$rETR = (F_m' - F_t) / F_m' \times \text{PAR} \times 0.84 \times 0.5 \quad (6)$$

1.5 数据处理

采用SPSS13.0软件对实验数据进行处理和分析。缺镁胁迫对植株相对叶绿素含量及荧光参数的影响采用单因素方差分析完成(one-way ANOVA)。用LSD法判断各处理组植株的差异显著性,用独立样本 t 测试(Independent-Samples T test)检验各处理组植株与对照组植株间的差异。文中的图表由Microsoft Excel软件制作完成。

2 结果与分析

2.1 相对叶绿素含量的变化

由图1可知,随着叶位的升高老叶相对叶绿素含量呈增加趋势;且随着供镁浓度的降低老叶相对叶绿素含量呈降低趋势。与对照相比,低镁处理组A1、A2、A3、A4和A5的SPAD值分别降低了5.9%、1.2%、0.1%、0.8%和0.6%,差异不显著($P>0.05$);而无镁处理组的SPAD值分别降低了10.7% ($P<0.05$)、1.8% ($P>0.05$)、0.9% ($P>0.05$)、5.2% ($P<0.05$)和4.2% ($P<0.05$)。

由图1还可知,随着供镁浓度的降低新叶相对叶绿素含量呈降低趋势。与对照相比,低镁处理组S1、S2、S3和S4的SPAD值分别下降了4.6%、1.6%、4.4%和0.4%,差异不显著($P>0.05$);而无镁处理组的SPAD值分别下降了5.5% ($P<0.05$)、4.8% ($P<0.05$)、5.4% ($P<0.05$)和3.6% ($P>0.05$)。

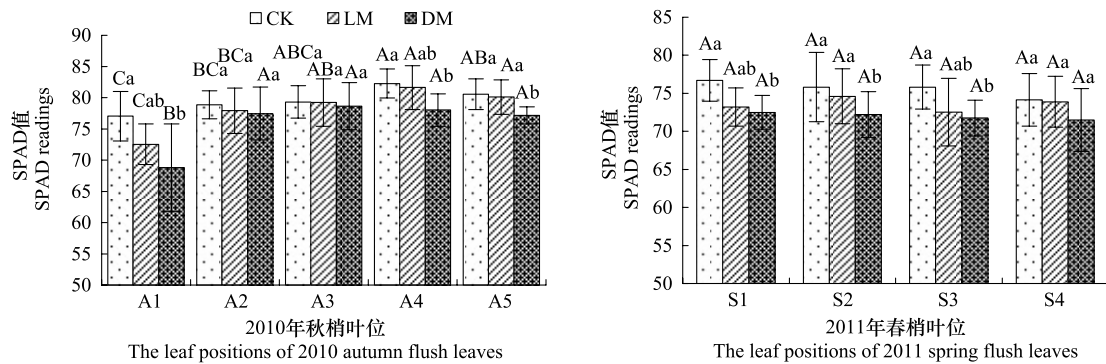


图1 缺镁对纽荷尔脐橙不同叶位叶片相对叶绿素含量的影响

Fig. 1 The effect of Mg deficiency on relative chlorophyll content in leaves at different leaf position of Newhall navel orange

在同一小图中不同小写字母表示不同处理组间差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示同一处理组不同叶位间差异显著 ($P < 0.05$)

2.2 F_v/F_m 的变化

F_v/F_m 反映了当所有的光系统 II (PS II) 反应中心均处于开放态时的量子产量, 可以直接作为最适状态下光合作用光化学效率的指标^[11]。由图 2 可知, 对照组不同叶位老叶的 F_v/F_m 差异不显著, 而随着叶位的升高其余两组植株的 F_v/F_m 呈增加趋势 (A5 除外)。与对照相比, 低镁组 A1、A2、A3、A4 和 A5 的 F_v/F_m 分别下降了 3.1% ($P < 0.05$)、0.8% ($P > 0.05$)、1.2% ($P > 0.05$)、1.0% ($P > 0.05$) 和 2.3% ($P < 0.05$); 而无镁组 F_v/F_m 的降低幅度有所增大, 分别下降了 7.0%、2.8%、1.7%、1.8% 和 2.8%, 差异显著 ($P < 0.05$)。

由图 2 还可知, 随着供镁浓度的降低新叶的 F_v/F_m 呈降低趋势, 但各实验组不同叶位的 F_v/F_m 无显著差异。与对照相比, 低镁组 S1、S2、S3、S4 的 F_v/F_m 分别降低了 0.7%、1.3%、1.1% 和 0.6%, 差异不显著 ($P > 0.05$); 而无镁组的 F_v/F_m 分别降低了 1.9%、1.7%、2.0% 和 1.5%, 差异显著 ($P < 0.05$)。

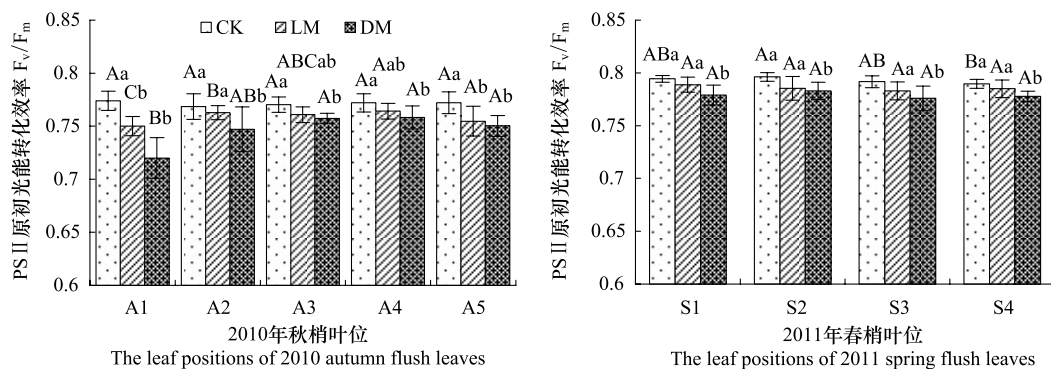


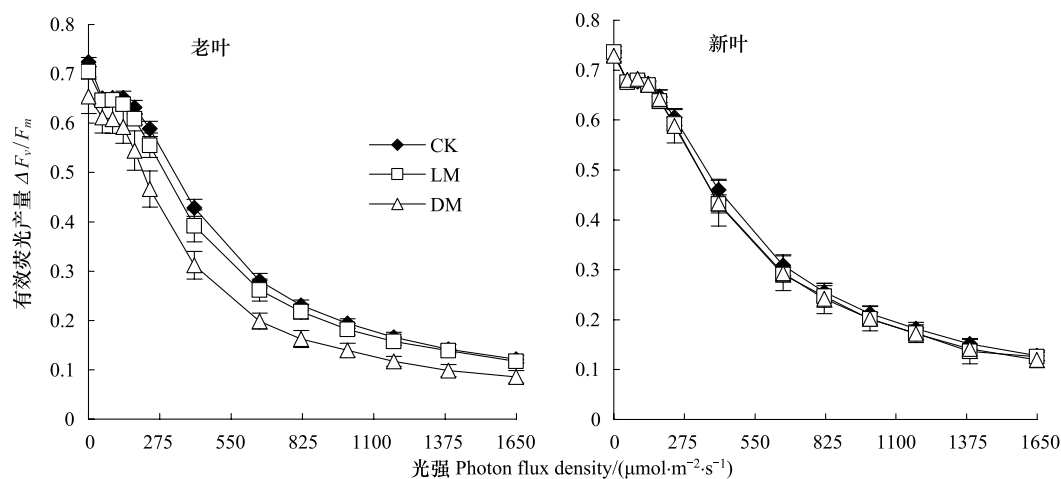
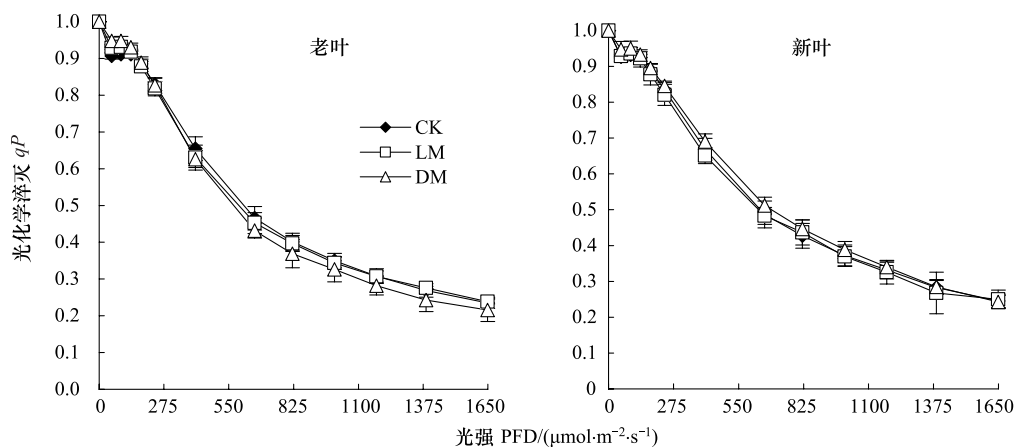
图2 缺镁对纽荷尔脐橙不同叶位叶片 F_v/F_m 的影响

Fig. 2 The effect of Mg deficiency on F_v/F_m in leaves at different leaf position of Newhall navel orange

2.3 快速光响应曲线的变化

光强- $\Delta F_v/F_m$ 曲线: 有效荧光产量 ($\Delta F_v/F_m$) 是表明光化学反应状况的一个重要参数, 表示在照光下 PS II 的实际光化学效率, 反映吸收的光子供给 PS II 反应中心的效率^[12]。由图 3 可知, 随着供镁浓度降低老叶 $\Delta F_v/F_m$ 呈降低趋势; 低镁组 $\Delta F_v/F_m$ 与对照差异不显著 ($P > 0.05$), 而无镁组 $\Delta F_v/F_m$ 与对照差异显著 ($P < 0.05$)。随着供镁浓度降低新叶 $\Delta F_v/F_m$ 略为降低, 但是差异不显著; 对照组、低镁组和无镁组新叶 $\Delta F_v/F_m$ 的平均降低幅度分别为 82.6%、82.9% 和 83.6%。

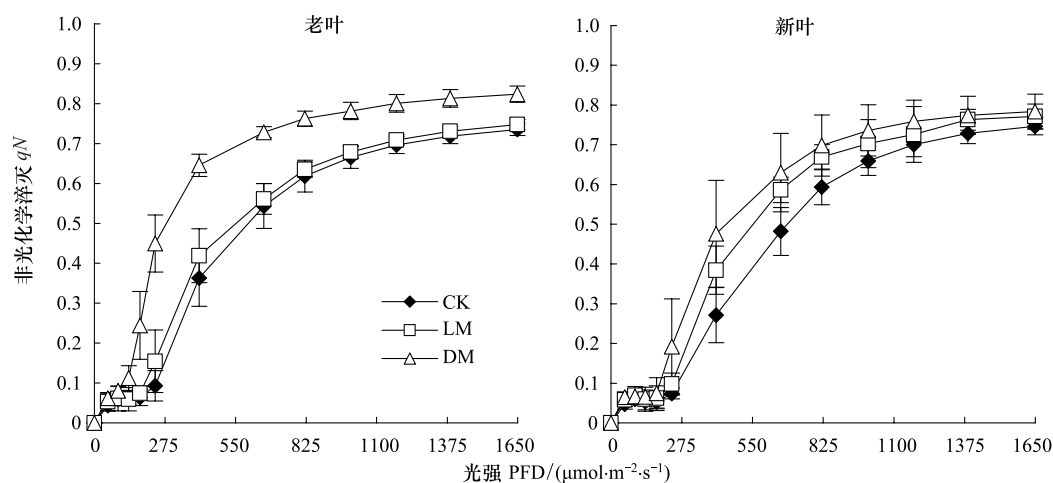
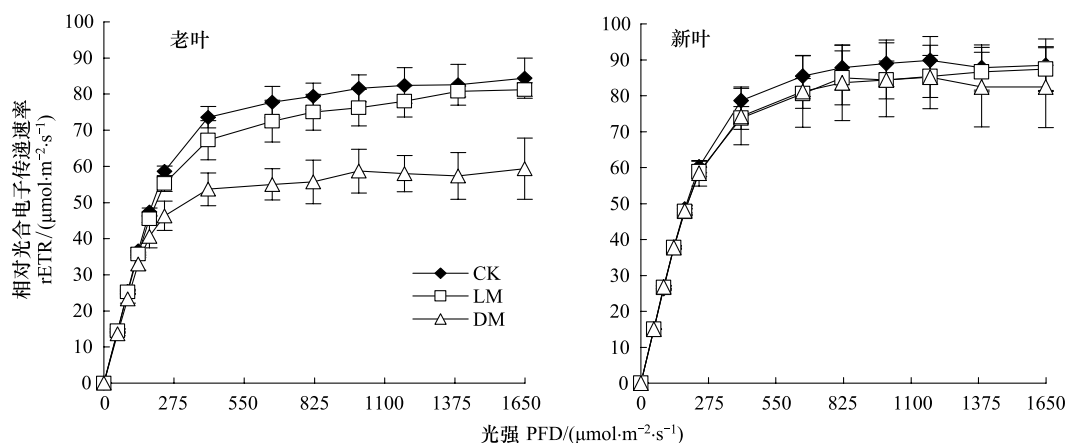
光强- qP 曲线: qP 和 qN 描绘了能量耗散途径的相对影响。 qP 是 PS II 天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的份额, 较低的 qP 反映 PS II 中开放的反应中心比例和参与 CO_2 固定的电子减少^[13]。由图 4 可知, 对于对照组、低镁组和缺镁组植株来说, 无论是新叶还是老叶, 其 qP 值无显著差异。

图3 $\Delta F_v/F_m$ 随光强的变化Fig. 3 Change in $\Delta F_v/F_m$ as a function of PAR图4 光化学淬灭(qP)随光强的变化Fig. 4 Change in photochemical quenching (qP) as a function of PAR

光强- qN 曲线的影响: qN 反映的是天线色素吸收的光能不能用于电子传递而以热等的形式耗散掉的光能部分,而热耗散是植物保护 PS II 的重要机制^[14]。由图 5 可知,随着供镁浓度的降低老叶和新叶的 qN 呈增加趋势,热耗散量增加。低镁组老叶 qN 与对照差异不显著,而无镁组老叶 qN 与对照差异显著;且它们新叶的 qN 与对照差异均不显著。

光强- $rETR$ 曲线的影响: PS II 的相对光合电子传递速率($rETR$)是反映实际光强下的表观电子传递效率^[12],用于度量光化学反应导致碳固定的电子传递情况^[13]。由图 6 可知,随着供镁浓度的降低老叶相对电子传递速率呈明显的降低趋势。对照组老叶的半饱和光强、 $rETR_{\max}$ 分别为 $224.18 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 和 $81.55 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,而低镁组和无镁组老叶的半饱和光强分别比对照低 2.0% ($P>0.05$) 和 28.8% ($P<0.01$), $rETR_{\max}$ 分别比对照低 3.4% ($P>0.05$) 和 29.0% ($P<0.01$)。

缺镁胁迫也会导致新叶相对电子传递速率降低。对照组新叶半饱和光强及 $rETR_{\max}$ 分别为 $238.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、 $89.95 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,而低镁组和无镁组新叶的最小饱和光强分别比对照低 4.2% 和 2.2%, $rETR_{\max}$ 分别比对照低 4.6% 和 1.9%,差异均不显著($P>0.05$)。

图5 非光化学淬灭 (qN) 随光强的变化Fig. 5 Change in non-photochemical quenching (qN) as a function of PAR图6 相对电子传递速率 ($rETR$) 随光强的变化Fig. 6 Change in relative electron transport rate ($rETR$) as a function of PAR

3 讨论

3.1 缺镁胁迫对纽荷尔脐橙不同叶龄叶片叶绿素合成的影响

镁是构成叶绿素的中心元素,其含量与相对叶绿素呈极显著相关关系^[8]。作为活性元素,植物组织中70%的镁是可移动的,再利用性好。²⁸Mg示踪试验表明镁可以通过韧皮部进行运输,老叶里的镁素可以移动至新叶中^[15]。植物缺镁时首先会在低位衰老叶片上表现症状^[16-18]。目前,缺镁植株叶绿素含量降低的机制尚存在较大的争议^[19-22]。研究表明,缺镁胁迫处理2个月后,随着叶位的升高纽荷尔脐橙植株老叶的相对叶绿素含量呈增加趋势,且最老叶片(即第1位老叶)的相对叶绿素含量显著低于其他各叶。因此,随着叶位的升高,纽荷尔脐橙低位老叶将会逐渐表现出缺镁黄化症状。农业上,植株缺镁首先是通过叶片黄化症状进行判定。研究表明,虽然缺镁胁迫导致纽荷尔脐橙植株老叶相对叶绿素含量降低,但是低镁组老叶的相对叶绿素含量与对照无显著性差异,而无镁组老叶的相对叶绿素含量与对照差异显著。表明只有在完全缺镁胁迫条件下短期胁迫(2个月)才会导致老叶叶绿素合成显著受阻,否则,即使在严重缺镁胁迫条件下柑橘老叶(低镁组)也不会短期内显现黄化症状。这也是通过叶片黄化诊断法不能及时发现柑橘植株缺镁的原因。

此外,与对照相较,低镁组和无镁组新叶不同叶位的相对叶绿素含量均有所降低,且后者新叶的相对叶绿素含量低于前者。表明在缺镁胁迫条件下新叶的叶绿素合成也会受阻,且随着缺镁胁迫程度的增大叶绿素合

成受阻幅度增大。因此,在纽荷尔脐橙表现缺镁黄化症状前,不仅老叶,新叶也发生了叶绿素合成降低。这种“潜在”缺镁状态,也会严重影响纽荷尔脐橙的农业生产。

3.2 缺镁胁迫对纽荷尔脐橙不同叶龄叶片光合作用的影响

缺镁胁迫不仅影响植株的叶绿素合成,而且也会影响植株的光合作用。 F_v/F_m 不仅可以直接作为最适状态下光合作用光化学效率的指标,也是反映植物受胁迫程度的常用指标^[11]。缺 Mg 不仅使叶片叶绿素含量降低^[23],也会导致 F_v/F_m 降低^[4,7]。将纽荷尔脐橙老叶和新叶的 SPAD 值分别与 F_v/F_m 做相关分析。由表 1 可知,各缺镁胁迫组老叶的 SPAD 值与 F_v/F_m 呈极显著正相关关系,而各实验组新叶的 SPAD 值与 F_v/F_m 也呈显著正相关关系。研究表明,虽然缺镁胁迫导致植株叶片 F_v/F_m 降低,但是低镁组老叶和新叶的 F_v/F_m 与对照差异不显著 ($P>0.05$),而无镁组老叶和新叶的 F_v/F_m 均与对照差异显著 ($P<0.05$)。因此,在非完全缺镁条件下短期缺镁胁迫对纽荷尔脐橙叶片的最适光化学效率无显著影响,但是在完全缺镁条件下短期缺镁即会导致老叶和新叶的最适光化学效率显著降低。

表 1 纽荷尔脐橙叶片相对叶绿素与 F_v/F_m 的相关关系矩阵 [$n=25$ (老叶), $n=20$ (新叶)]

Table 1 The correlation matrix between relative chlorophyll content and F_v/F_m in leaves of Newhall navel orange (Citrus sinensis Osbeck) [$n=25$ (last year autumn flush leaves), $n=20$ (this year spring flush leaves)]

	SPAD 值 SPAD readings					
	老叶 Last year autumn flush leaves			新叶 This year spring flush leaves		
	对照 CK	低镁 LM	无镁 DM	对照 CK	低镁 LM	无镁 DM
PS II 原初光能转化效率 F_v/F_m	0.224	0.582 **	0.772 **	0.594 **	0.472 *	0.502 *

缺镁胁迫对纽荷尔脐橙叶片光合作用的影响,还主要体现在叶片对光的响应能力上。低镁组老叶和新叶的 $\Delta F_v/F_m$ 、 qP 、 $rETR$ 和 qN 与对照差异不显著,光响应能力降低不显著。而无镁组老叶的 $\Delta F_v/F_m$ 、 $rETR$ 显著降低, qN 显著增大, qP 降低不显著;新叶 $\Delta F_v/F_m$ 、 $rETR$ 、 qP 和 qN 与对照差异不显著,新叶光响应能力的降低幅度显著低于老叶。表明无镁组老叶光响应能力的降低与光化学效率、电子传递速率降低和热耗散量增大有关。现有的研究表明,PS II 光能活化、活性氧代谢与植物叶片的黄化有密切的联系^[22,24-26]。缺 Mg 不仅使植物叶片叶绿素含量降低,而且导致光合电子传递速率下降、 CO_2 同化受抑制而导致 F_v/F_m 、 $\Phi PS II$ 等下降、净光合速率降低,进而加重叶片受到光抑制的程度^[4,7]。在夏季强光照条件下叶片吸收的光能如不能完全通过光化学、非光化学和光子跃迁淬灭,过剩的光能将会导致活性氧自由基和抗氧化酶类活性增加,大量活性氧自由基如不能被抗氧化酶类及时清除掉,积累到一定程度会引起膜脂过氧化加剧而使叶绿体结构受到损伤,最终使得叶片失绿坏死,显现黄化症状^[7,24]。本研究表明,缺镁胁迫不仅导致纽荷尔脐橙植株叶绿素含量降低,也导致 F_v/F_m 、 $\Delta F_v/F_m$ 、 qP 和 $rETR$ 降低;而且,缺镁胁迫对植株老叶的胁迫程度显著大于新叶,在完全缺镁条件下老叶的叶绿素含量和光响应能力均显著降低。因此,在夏季高温、高光条件下缺镁纽荷尔脐橙植株老叶易发生光抑制,甚至可能发生光氧化伤害,这可能也是夏季纽荷尔脐橙老叶黄化现象更为普遍的原因。在农业生产上,夏季对缺镁纽荷尔脐橙植株进行施肥矫治时,适当的遮荫可能会有利于降低光伤害,避免早衰现象的出现。

References:

- [1] Peng L Z, Lai J J, Chun C P, Cao L, Zhong L H, Jiang C L, Ling L L. Role of compound magnesium fertilizer in correcting leaf yellowing caused by nutrient element deficiency on navel orange in Gannan. South China Fruits, 2008, 37(3): 10-12.
- [2] Huber S C, Maury W. Effects of magnesium on intact chloroplasts. Plant Physiology, 1980, 65(2): 350-354.
- [3] Liu H C, Song S W, Lei Y, Chen R Y. Primary studies of magnesium deficiency on growth of flowering Chinese cabbage // Lei J J, ed. Advances of Horticulture (5). Guangzhou: Guangzhou Press, 2002: 539-542.
- [4] Li Y, Liu X H, Zhuang W M. The effect of magnesium deficiency on photosynthesis of Longan (Dimocarpus long ana Lour.) seedlings. Acta Horticulturae Sinica, 2001, 28(2): 101-106.
- [5] Liang K M, Cao H L, Xu Z F, Ye W H, Liu S P, Li W J. Diurnal variations and light response of photosynthesis in three cultivars and wild type of

- Ziziphus mauritiana* Lam. *Acta Horticulturae Sinica*, 2008, 35(6): 793-798.
- [6] Liu H C, Chen X M, Chen R Y, Song S W, Sun G W. Effects of magnesium deficiency on photosynthesis characteristic of flowering Chinese cabbage. *Acta Horticulturae Sinica*, 2006, 33(2): 311-316.
- [7] Yang Y, Jiang D A, Sun J W, Huang Z A, Jin S H. Effects of different magnesium nutrition levels on chlorophyll fluorescence characteristics and excitation energy dissipation in rice leaves. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(1): 79-86.
- [8] Zhang G Y, Peng L Z, Chun C P, Zeng M, Ling L L, Lai J J, Wang Z X. Seasonal changes in leaf magnesium and boron contents and their relationships to leaf yellowing of navel orange (*Citrus sinensis* Osbeck). *Acta Horticulturae Sinica*, 2010, 37(8): 1317-1324.
- [9] Schreiber U, Gademann R, Ralph P J, Larkum A W D. Assessment of photosynthetic performance of *Prochloron in Lissoclinum patella* in hospite by chlorophyll fluorescence measurements. *Plant and Cell Physiology*, 1997, 38(8): 945-951.
- [10] Platt T, Gallegos C L, Harrison W G. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *Journal of Marine Research*, 1980, 38(4): 687-701.
- [11] Demmig-Adams B, Adams W W III, Barker D H, Logan B A, Bowling D R, Verhoeven A S. Using chlorophyll fluorescence to assess the fraction of absorbed light allocated to thermal dissipation of excess excitation. *Physiologia Plantarum*, 1996, 98(2): 253-264.
- [12] Bilger W, Björkman O. Role of the xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light-induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. *Photosynthesis Research*, 1990, 25(3): 173-185.
- [13] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1989, 990(1): 87-92.
- [14] Ögren E. Prediction of photoinhibition of photosynthesis from measurements of fluorescence quenching components. *Planta*, 1991, 184(4): 538-544.
- [15] Schimansky C. Possibilities and limitations of utilizing ^{28}Mg for studying Mg-specific problems in higher plants. *Journal of Plant Nutrition*, 1985, 8(6): 467-489.
- [16] Terryn N, Ulrich A. Effects of magnesium deficiency on the photosynthesis and respiration of leaves of sugar beet. *Plant Physiology*, 1974, 54(3): 379-381.
- [17] Rao L H. Mineral Nutrients and Diagnosis on Plants. Beijing: Agricultural Press, 1993: 78-82.
- [18] Cao G, Liang M Z. Magnesium — the essential middle element of plants in balance culture system. *Soils and Fertilizers*, 2003, (3): 1-3.
- [19] Thomson W W, Weier T E. The fine structure of chloroplasts from mineral-deficient leaves of *Phaseolus vulgaris*. *American Journal of Botany*, 1962, 49: 1047-1055.
- [20] Zielinski R E, Price C A. Relative requirements for magnesium of protein and chlorophyll synthesis in *Euglena gracilis*. *Journal of Plant Physiol*, 1978, 61: 624-625.
- [21] Hermans C, Bourgis F, Faucher M, Strasser R J, Delrot S, Verbruggen N. Magnesium deficiency in sugar beets alters sugar partitioning and phloem loading in young mature leaves. *Planta*, 2005, 220: 541-549.
- [22] Cakmak I, Kirkby E A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiologia Plantarum*, 2008, 133: 692-704.
- [23] Balakrishnan K, Rajendran C, Kulandaivelu G. Differential responses of iron, magnesium, and zinc deficiency on pigment composition, nutrient content, and photosynthetic activity in tropical fruit crops. *Photosynthetica*, 2000, 38(3): 477-479.
- [24] Jiao D M, Li X, Huang X Q, Ji B H. The relationship among photoinhibition, Photooxidation and early aging at later developmental stages in different high yield varieties. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(5): 487-492.
- [25] Demmig-Adams B, Adams W W. Xanthophyll cycle and light stress in nature: uniform response to excess direct sunlight among higher plant species. *Planta*, 1996, 198(3): 460-470.
- [26] Cakmak I, Hengeler C, Marschner H. Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. *Journal of Experimental Botany*, 1994, 45(9): 1245-1250.

参考文献:

- [1] 彭良志, 赖九江, 淳长品, 曹立, 钟莉华, 江才伦, 凌丽俐. 复合镁肥对赣南脐橙缺素黄化的矫治作用. *中国南方果树*, 2008, 37(3): 10-12.
- [3] 刘厚诚, 宋世威, 雷雨, 陈日远. 缺镁对菜心生长影响的初步研究// 雷建军. *园艺学进展* (第5辑). 广州: 广州出版社, 2002: 539-542.
- [4] 李延, 刘星辉, 庄卫民. 缺镁对龙眼光合作用的影响. *园艺学报*, 2001, 28(2): 101-106.
- [5] 梁开明, 曹洪麟, 徐志防, 叶万辉, 刘世平, 李武军. 台湾青枣及野生种的光合作用日变化及光响应特征. *园艺学报*, 2008, 35(6): 793-798.
- [6] 刘厚诚, 陈细明, 陈日远, 宋世威, 孙光闻. 缺镁对菜薹光合作用特性的影响. *园艺学报*, 2006, 33(2): 311-316.
- [7] 杨勇, 蒋德安, 孙骏威, 黄宗安, 金松恒. 不同供镁水平对水稻叶片叶绿素荧光特性和能量耗散的影响. *植物营养与肥料学报*. 2005, 11(1): 79-86.
- [8] 张广越, 彭良志, 淳长品, 曾明, 凌丽俐, 赖九江, 王振兴. 脐橙叶片镁、硼含量变化与缺素黄化的关系. *园艺学报*, 2010, 37(8): 1317-1324.
- [17] 饶立华. 植物矿质营养及其诊断. 北京: 农业出版社, 1993: 78-82.
- [18] 曹恭, 梁鸣早. 镁——平衡栽培体系中植物必需的中量元素. *土壤肥料*, 2003, (3): 1-3.
- [24] 焦德茂, 李霞, 黄雪清, 季本华. 不同高产水稻品种生育后期叶片光抑制、光氧化和早衰的关系. *中国农业科学*, 2002, 35(5): 487-492.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.1 January, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Integrating ecological civilization into social-economic development WANG Rusong (1)
- The effect of land cover pattern on hillslope soil and water loss in the arid and semi-arid region: a review
..... GAO Guangyao, FU Bojie, LÜ Yihe, et al (12)
- The status and trend on the urban tree canopy research JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa, et al (23)
- Bioindicators and Biomonitoring in Environmental Quality Assessment
..... Bernd Markert, WANG Mei'e, Simone Wünschmann, et al (33)
- Electron transfer capacities of dissolved organic matter and its ecological effects ... BI Ran, ZHOU Shungui, YUAN Tian, et al (45)

Autecology & Fundamentals

- Antioxidative responses of *Abies fabri* seedlings to litter addition and temperature elevation
..... YANG Yang, YANG Yan, WANG Genxu, et al (53)
- Effects of seed soaking with different concentrations of 5-aminolevulinic acid on the germination of tomato (*Solanum lycopersicum*)
seeds under NaCl stress ZHAO Yanyan, HU Xiaohui, ZOU Zhirong, et al (62)
- Influence of magnesium deficiency on chlorophyll fluorescence characteristic in leaves of Newhall navel orange
..... LING Lili, PENG Liangzhi, WANG Nanqi, et al (71)
- Leaf traits of 66 herbaceous species in Songnen grassland in Northeast China
..... SONG Yantao, ZHOU Daowei, WANG Ping, et al (79)
- Effects of nectar secondary compounds on pollination of co-flowering species in a natural community
..... ZHAO Guangyin, LI Jianjun, GAO Jie (89)
- The continuous life-table of *Leptocybe invasa* ZHU Fangli, QIU Baoli, REN Shunxiang (97)

Population, Community and Ecosystem

- Dominant climatic factors of *Quercus mongolica* geographical distribution and their thresholds
..... YIN Xiaojie, ZHOU Guangsheng, SUI Xinghua, et al (103)
- Fruit diet, Selectivity and Seed dispersal of Hatinh langur (*Trachypithecus francoisi hatinhensis*)
..... Nguyen Haiha, BAI Bing, LI Ning, et al (110)
- The distribution of living coccolithophore in East China Sea in autumn, 2010 JIN Shaofei, SUN Jun, LIU Zhiliang (120)
- The association of OPRK1 gene SNP with sika deer (*Cervus nippon*) diurnal behavior traits
..... LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong (132)
- Preliminary study on bird composition and diversity in Poyang Lake watershed during non-breeding period
..... SHAO Mingqin, ZENG Binbin, XU Xianzhu, et al (140)
- Coexistence mechanism of two species passerines in man-made nest boxes LI Le, ZHANG Lei, YIN Jiangxia, et al (150)
- Dynamics on soil faunal community during the decomposition of mixed eucalypt and alder litters
..... LI Yanhong, YANG Wanqin, LUO Chengde, et al (159)
- RS/GIS-based integrated evaluation of the ecosystem services of the Three Gorges Reservoir area (Chongqing section)
..... LI Yuechen, LIU Chunxia, MIN Jie, et al (168)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The distribution of soil organic carbon as affected by landforms in a small watershed of gully region of the Loess Plateau
..... LI Linhai, GAO Erhu, MENG Meng, et al (179)
- Effects of coastal geographical characteristics on the abundance of submerged aquatic vegetation
..... WU Mingli, LI Xuyong, CHEN Nianlai (188)
- Analysis of soil physical properties under different vegetation types in the alluvial fan area of Manas River watershed
..... CAO Guodong, CHEN Jiehua, XIA Jun, et al (195)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of farming on wetland soil seed banks in the Sanjing Plain and wetland restoration potential
..... WANG Guodong, Beth A Middleton, LÜ Xianguo, et al (205)

Effects of the microhabitats on the seedling emergence during the flooding disturbance	AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (214)
Analysis on the limiting factors to further improve yield of summer maize in Heilonggang River Valley	XU Lina, TAO Hongbin, HUANG Shoubing, et al (222)
Fungal diversity in rhizosphere soil of medicinal plants in Heilongjiang Province	MU Dongyan, LÜ Guozhong, SUN Xiaodong, et al (229)
Integrated assessment of mariculture ecosystem health in Sanggou Bay	FU Mingzhu, PU Xinming, WANG Zongling, et al (238)
Urban, Rural and Social Ecology	
The integrative assessment on ecological quality status of Luoyuan Bay based on ‘OOAO principle’	WU Haiyan, WU Yaojian, CHEN Keliang, et al (249)
Trophic state of seawater and ecological characteristics of phytoplankton in Sishili Bay	LI Bin, BAI Yanyan, XING Hongyan, et al (260)
Ecological footprint depth and size: new indicators for a 3D model	FANG Kai (267)
Landscape dynamics of medium- and small-sized cities in eastern and western China: a comparative study of pattern and driving forces	QI Yang, WU Jianguo, LI Jianlong, et al (275)
Research Notes	
Prediction of bacterial species richness in the South China Sea slope sediments	LI Tao, WANG Peng (286)
Spatial pattern of seedling regeneration of <i>Ulmus pumila</i> woodland in the Otindag Sandland	LIU Zhen, DONG Zhi, LI Hongli, et al (294)
Impacts on seed germination features of <i>Eupatorium adenophorum</i> from variable light stimulation and traditional dormancy-broken methods	JIANG Yong, LI Yanhong, WANG Wenjie, et al (302)
Opinions	
Discus for classification of plant association	XING Shaohua, YU Mengfan, YANG Lijuan, et al (310)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,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

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 1 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 1 (January, 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