

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第7期 Vol.34 No.7 **2014**

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 34 卷 第 7 期

2014 年 4 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 青藏高原东北部 5000 年来气候变化与若尔盖湿地历史生态学研究进展 何奕忻, 吴 宁, 朱求安, 等 (1615)
- 天山云杉森林土壤有机碳沿海拔的分布规律及其影响因素 阿米娜木·艾力, 常顺利, 张毓涛, 等 (1626)

个体与基础生态

- 小兴安岭红松日径向变化及其对气象因子的响应 李兴欢, 刘瑞鹏, 毛子军, 等 (1635)
- 采伐剩余物对林地表层土壤生化特性和酶活性的影响 吴波波, 郭剑芬, 吴君君, 等 (1645)
- 庞泉沟自然保护区典型森林土壤大团聚体特征 白秀梅, 韩有志, 郭汉清 (1654)
- 思茅松天然林树冠结构模型 欧光龙, 肖义发, 王俊峰, 等 (1663)
- 镁缺乏和过量胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 凌丽俐, 黄 翼, 彭良志, 等 (1672)
- 斑块生境中食果鸟类对南方红豆杉种子的取食和传播 李 宁, 王 征, 鲁长虎, 等 (1681)
- 重金属铅与两种淡水藻的相互作用 刘 璐, 闫 浩, 李 诚, 等 (1690)
- 刺参养殖池塘初级生产力及其粒级结构周年变化 姜森颖, 周一兵, 唐伯平, 等 (1698)
- 控(微囊)藻鲢、鳙排泄物光能与生长活性 王银平, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等 (1707)
- 五爪金龙中香豆素类物质含量及其对福寿螺、水稻和稗草的影响 犹昌艳, 杨 宇, 胡 飞, 等 (1716)

种群、群落和生态系统

- 西双版纳国家级自然保护区勐腊子保护区亚洲象种群和栖息地评价 林 柳, 金延飞, 陈德坤, 等 (1725)
- 莱州湾鱼类群落同功能种团的季节变化 李 凡, 徐炳庆, 马元庆, 等 (1736)
- 长期不同施肥方式对麦田杂草群落的影响 蒋 敏, 沈明星, 沈新平, 等 (1746)
- 极端干旱条件下燕麦垄沟覆盖系统水生态过程 周 宏, 张恒嘉, 莫 非, 等 (1757)

景观、区域和全球生态

- 流域景观格局变化对洪枯径流影响的 SWAT 模型模拟分析 林炳青, 陈兴伟, 陈 莹, 等 (1772)
- 近 20 年青藏高原东北部禾本科牧草生育期变化特征 徐维新, 辛元春, 张 娟, 等 (1781)
- 丽江城市不同区域景观美学 郭先华, 赵千钧, 崔胜辉, 等 (1794)
- 珠三角河网水域栅藻的时空分布特征 王 超, 李新辉, 赖子尼, 等 (1800)
- 博斯腾湖细菌丰度时空分布及其与环境因子的关系 王博雯, 汤祥明, 高 光, 等 (1812)
- 遗传算法支持下土地利用空间分形特征尺度域的识别 吴 浩, 李 岩, 史文中, 等 (1822)
- 川西亚高山不同海拔岷江冷杉树轮碳稳定同位素对气候的响应 靳 翔, 徐 庆, 刘世荣, 等 (1831)

基于 ESDA 的西北太平洋柔鱼资源空间热点区域及其变动研究 冯永玖,陈新军,杨铭霞,等 (1841)

城乡与社会生态

基于居民生态认知的非使用价值支付意愿空间分异研究——以三江平原湿地为例.....

..... 高 琴,敖长林,陈红光,等 (1851)

浑河河水及其沿岸地下水污染特征 崔 健,都基众,王晓光 (1860)

社会生态系统及脆弱性驱动机制分析 余中元,李 波,张新时 (1870)

研究简报

等渗 NaCl 和 Ca(NO₃)₂胁迫对黄瓜幼苗生长和生理特性的影响 周 珩,郭世荣,邵慧娟,等 (1880)

专家观点

关于“生态保护和建设”名称和内涵的探讨 沈国舫 (1891)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 282 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-04



封面图说: 红豆杉人工林——红豆杉为常绿针叶乔木,树高可达 25m,属国家一级保护植物。红豆杉中含有的紫杉醇,具有独特的抗癌机制和较高的抗癌活性,能阻止癌细胞的繁殖、抑制肿瘤细胞的迁移,是世界公认的抗癌药。红豆杉在我国共有 4 个种和 1 个变种,即云南红豆杉、西藏红豆杉、东北红豆杉、中国红豆杉和南方红豆杉(变种)。由于天然红豆杉稀缺,国家严禁采伐利用,因而我国南方很多地方都采取人工种植的方法生产利用。人工种植的南方红豆杉在南方山区多呈斑块状分布,斑块生境中鸟类对红豆杉种子的传播有重要的影响。

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/stxb201304250813

凌丽俐, 黄翼, 彭良志, 吴玉婷, 江才伦, 曹立, 淳长品. 镁缺乏和过量胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响. 生态学报, 2014, 34(7): 1672-1680.

Ling L L, Huang Y, Peng L Z, Wu Y T, Jiang C L, Cao L, Chun C P. Influence of magnesium deficiency and excess on chlorophyll fluorescence characteristics of Newhall navel orange leaves. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(7): 1672-1680.

镁缺乏和过量胁迫对纽荷尔脐橙 叶绿素荧光特性的影响

凌丽俐^{1,2}, 黄 翼³, 彭良志^{1,2,*}, 吴玉婷³, 江才伦^{1,2}, 曹 立^{1,2}, 淳长品^{1,2}

(1. 西南大学柑桔研究所/中国农业科学院柑桔研究所, 重庆 400712;

2. 国家柑桔工程技术研究中心, 重庆 400712; 3. 西南大学园林园艺学院, 重庆 400712)

摘要:以 2 龄砧桔纽荷尔脐橙为材料,研究了镁缺乏和过量胁迫对叶片叶绿素含量和叶绿素荧光特性的影响。结果表明,镁缺乏胁迫导致老叶叶绿素含量显著降低,而新叶叶绿素含量无显著下降;镁过量胁迫显著抑制老叶叶绿素含量的下降,而促进了新叶叶绿素含量的降低。镁缺乏和过量均导致不同叶龄叶片的光化学效率(F_v/F_m)和相对电子传递速率($rETR$)降低,但镁缺乏胁迫的影响显著大于镁过量胁迫。缺镁第 4 个月时,2 龄秋梢、1 龄春梢、1 龄夏梢和晚夏梢叶的 F_v/F_m 分别比对照低了 13.9%、12.6%、2.9% 和 2.0%, $rETR_{max}$ 值分别比对照低 35.7%、56.2%、32.6% 和 15.2%;而镁过量胁迫叶片的 F_v/F_m 分别比对照低了 0.5%、2.2%、3.4% 和 1.5%, $rETR_{max}$ 分别为对照的 110.1%、68.8%、87.2% 和 84.5%。缺镁 2 龄秋梢、1 龄春梢和 1 龄夏梢叶片的非光化学淬灭系数(NPQ)先升后降,热耗散能力显著下降,且显著低于镁过量胁迫。因此,在夏季高光条件下缺镁胁迫对纽荷尔脐橙光合作用的影响显著,且大于镁过量胁迫,缺镁纽荷尔脐橙叶片易发生光抑制,产生光伤害。

关键词:镁缺乏;镁过量;纽荷尔脐橙;叶绿素;荧光特性

Influence of magnesium deficiency and excess on chlorophyll fluorescence characteristics of Newhall navel orange leaves

LING Lili^{1,2}, HUANG Yi³, PENG Liangzhi^{1,2,*}, WU Yuting³, JIANG Cailun^{1,2}, CAO Li^{1,2}, CHUN Changpin^{1,2}

1 Citrus Research Institute, Southwest University/Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 400712, China

2 National Citrus Engineering Research Center, Chongqing 400712, China

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

Abstract: To investigate the effect of magnesium (Mg) deficiency and excess on chlorophyll content and chlorophyll fluorescence characteristics of leaves, 2-year-old trees of Newhall navel orange (*Citrus sinensis* Osbeck) grafted on trifoliolate orange (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.) rootstocks were transferred to pots containing a mixture of quartz sand-perlite (1:1, v/v) and irrigated with modified Hoagland-Aron nutrient solution containing three Mg concentrations: 0.1 mmol/L (Mg-deficiency), 1 mmol/L (control) or 10 mmol/L $MgSO_4$ (Mg-excess). The relative chlorophyll content and chlorophyll fluorescence characteristics of leaves on different shoots were measured regularly in the three treatments. A portable chlorophyll meter (SPAD-502) was used to test the relative chlorophyll content of leaves. Simultaneously, the chlorophyll fluorescence characteristics of leaves were determined *in situ* by a pulse-amplitude modulated (PAM-2500) fluorometer. Results showed that Mg deficiency led to a more significant decline in chlorophyll content of 2-year-old autumn leaves than

基金项目:国家自然科学基金项目(31201587);重庆市科委自然科学基金项目(cstcjjA80022);中央高校基本科研业务费专项资金资助(XDJK2011C006);现代农业产业技术体系建设专项资金

收稿日期:2013-04-25; 修订日期:2013-11-27

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

did Mg excess, whereas the latter caused a greater decline of 1-year-old leaves than did the former. In the 4th month after Mg stress treatment, SPAD readings of leaves on 2-year-old autumn, 1-year-old spring, 1-year-old summer and 1-year-old late summer shoots in the Mg-deficient group decreased by 12.3% ($P < 0.05$), 10.5% ($P < 0.05$), 4.0% ($P > 0.05$) and 4.0% ($P > 0.05$), respectively, compared with the control. Those in the Mg-excess group were 107.3% ($P < 0.05$), 95.5% ($P > 0.05$), 88.9% ($P < 0.05$) and 92.5% ($P < 0.05$) of the control group, respectively. Moreover, both Mg-deficiency and excess reduced maximum quantum efficiency (F_v/F_m) and relative electron transport rate ($rETR$) of leaves on different shoots, with the impact of the former greater than that of the latter. In the 4th month, compared with the control, F_v/F_m of 2-year-old autumn, 1-year-old spring, 1-year-old summer and 1-year-old late summer leaves in the Mg-deficient group decreased by 13.9% ($P < 0.05$), 12.6% ($P < 0.05$), 2.9% ($P > 0.05$) and 2.0% ($P > 0.05$), respectively. Correspondingly, there was a decline of 0.5% ($P > 0.05$), 2.2% ($P > 0.05$), 3.4% ($P > 0.05$) and 1.5% ($P > 0.05$), respectively, in the Mg-excess group. Further investigation showed that the $rETR_{max}$ of these leaves decreased by 35.7% ($P < 0.05$), 56.2% ($P < 0.05$), 32.6% ($P < 0.05$) and 15.2% ($P < 0.05$) in the Mg-deficient group, respectively, which corresponded to 110.1% ($P < 0.05$), 68.8% ($P < 0.05$), 87.2% ($P < 0.05$) and 84.5% ($P < 0.05$) of the control in the Mg-excess group. In addition, non-photochemical quenching (NPQ) of all leaves in the Mg-deficient group increased in the first 3 months and then declined dramatically in the 4th month, although this was not as marked as in the Mg-excess group. In the 4th month, the maximum NPQ of 2-year-old autumn, 1-year-old spring, 1-year-old summer and 1-year-old late summer leaves in the Mg-deficient group was lower than those in control, with a drop of 52.8% ($P < 0.05$), 26.6% ($P < 0.05$), 19.8% ($P < 0.05$) and 0.6% ($P > 0.05$), respectively. In the Mg-excess group, the peak value of NPQ of those leaves was 94.9% ($P > 0.05$), 110.3% ($P > 0.05$), 101.3% ($P > 0.05$) and 104.5% ($P > 0.05$) of the control group, respectively. Therefore, Mg-deficient plants exposed to high light intensity in summer would be subject to a reduction in photosynthetic capacity more easily than would Mg-excess plants. This indicated that Mg-deficient leaves would be susceptible to photoinhibition and photooxidation.

Key Words: Mg deficiency; Mg excess; Newhall navel orange; chlorophyll; fluorescence characteristics

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脐橙产地, 其中绝大部分品种为纽荷尔脐橙。但是, 随着生产上氮、磷、钾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等我国主要脐橙产区普遍存在^[1-2], 而且呈逐年加重趋势, 已成为阻碍脐橙产量和品质提高的重要因素之一。镁是植物生长的必需营养元素之一, 是叶绿素的中心分子, 可促进光合碳同化^[3], 对于类囊体膜稳定和跨膜电子梯度的建立具有十分重要的作用^[4], 而且在作物产量提高和品质改善等方面也发挥着重要作用^[5]。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^[6]、黄瓜^[7-8]、菜薹^[9]、甜菜^[10]、水稻^[11]、拟南芥^[12]和烟草^[13]等方面。研究表明缺镁对植物光合膜的垛叠、激发能在光系统 I (PS I) 和光系统 II (PS II) 两个光系统之间的分配、PS II 原初光能转化效率、光合电子传递速率和光合碳代谢等一系列重要的生理生化过

程都有显著的影响。生产上, 缺镁脐橙主要采用增施无机镁肥 (钙镁磷肥、硫酸镁、白云石、含镁石灰) 和有机肥料进行矫治。但是, 由于土壤类型和植株的差异性, 常常难以做到平衡施肥, 镁肥过多施用时出现过量胁迫, 影响植物的光合生理特性, 导致植株生长发育受阻^[8]。研究表明高镁能导致烟草量子产量降低, 光合电子传递受阻, 减少对过剩的激发能的耗散, 使植株对强光的保护性调节能力降低^[13]。缺镁纽荷尔脐橙的平衡矫治技术的实现必须先解决两个问题, 一为缺镁植株不同叶龄叶片生理特征的受影响程度是否有差异? 差异度多大? 二为镁过量施加是否会对纽荷尔脐橙植株生理特征产生影响? 特别是对不同叶龄叶片的影响有何差异? 目前, 有关这方面的研究尚未见报道。本文研究了镁缺乏和过量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的动态变化, 以期为纽荷尔脐橙的平衡施肥矫治技术和高产优质生产提供理论依据。

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 2 龄枳 [*Poncirus trifoliata* (L.)] 砧纽 荷尔脐橙 (*Citrus sinensis* Osbeck cv. 'Newhall') 嫁接苗, 选取砧木直径约 1.5 cm、高度约 35 cm 生长良好且较一致的嫁接苗, 将植株地上部剪至高 25 cm, 留 5 片 2010 年秋梢叶片, 主根剪至 5 cm。2011 年 3 月 23 日定植于盆中, 每盆一株, 盆中石英砂与珍珠岩 (体积比 1:1) 8 kg, 盆底放托盘, 自然光照条件下培养。

1.2 实验设计

春梢萌发初期 (4 月 15 日) 用改良的 Hoagland-Aron 营养液配方进行镁梯度营养液胁迫处理。完全营养液配方为: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 4 mmol/L, KNO_3 6 mmol/L, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 1 mmol/L, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 2 mmol/L, H_3BO_3 46 $\mu\text{mol/L}$, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 6 $\mu\text{mol/L}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.7 $\mu\text{mol/L}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.3 $\mu\text{mol/L}$, H_2MoO_4 1 $\mu\text{mol/L}$, Fe-EDTA 50 $\mu\text{mol/L}$, pH 值 6.0。实验用营养液的大中量元素为完全营养液配方的 1/2 浓度。试验设 3 个镁水平, 即低镁 (0.1 mmol/L)、正常供镁 (1 mmol/L) 和高镁 (10 mmol/L), 每个水平处理 15 盆, 共 45 盆。其中 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 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 。实验处理 2 个月内, 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。由于实验处理到 3—4 个月时正值夏季, 植株生长旺盛, 将每 2 d 浇灌方式改为每日 1 次, 每次 500 mL 营养液, 每 3 d 用去离子水洗盐 1 次。实验分别于 6 月中旬 (实验处理第 2 月)、7 月中旬 (实验处理第 3 月) 和 8 月中旬 (实验处理第 4 月) 测定植株 2010 年秋梢叶 (2 龄秋梢叶)、2011 年春梢叶 (1 龄春梢叶)、2011 年夏梢叶 (1 龄夏梢叶) 和 2011 年晚夏梢叶 (1 龄晚夏梢叶) 全部叶片的相对叶绿素含量和原初光能转化效率 (F_v/F_m) 值, 并分别测定 2 龄秋梢、1 龄春梢、1 龄夏梢和 1 龄晚夏梢基部第 1 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 ([Soil-plant analysis development] chlorophyll meter reading, SPAD reading) 测定采用

SPAD-502 叶绿素测定仪 (日本 Konica 公司) 进行, 于 8:30—10:30 点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。

1.4 叶绿素荧光特征测定

(1) 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, 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 :

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

(2) 快速光响应曲线测定

每个处理选择 5 株测定快速光响应曲线。测定于 8:30—10:30 点进行, 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^[14]; 随后用 Pam Win-3 软件依据 Platt 等的公式 (2) 对快速光响应曲线进行拟合^[15], 得到快速光响应曲线。通过测定的叶绿素荧光参数计算出相对光合电子传递速率 ($rETR_{\text{max}}$) 和非光化学淬灭系数 (NPQ)^[14], 公式如下:

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

$$NPQ = (F_m - F'_m)/F'_m \quad (3)$$

$$rETR = (F'_m - F_t)/F'_m \times \text{PAR} \times 0.84 \times 0.5 \quad (4)$$

1.5 数据处理

采用 SPSS13.0 软件对实验数据进行处理和分析。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 (one-way ANOVA)。用独立样本 t 测验 (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, 随着实验时间延长各实验组 2 龄秋梢叶片的相对叶绿素含量均呈下降趋势; 与对照

相较,低镁导致 SPAD 值降低,而高镁减缓了 SPAD 值的降低速度。第 2、3 和 4 月时低镁组 SPAD 值分别比对照低 1.8% ($P>0.05$)、12.9% ($P<0.05$) 和 12.3% ($P<0.05$);而高镁组 SPAD 值分别为对照的 101.6% ($P>0.05$)、97.8% ($P>0.05$) 和 107.3% ($P<0.05$)。

由图 1 可知,前 3 个月各实验组 1 龄春梢叶片的 SPAD 值均呈显著的增加趋势,但是到第 4 个月时低镁组和高镁组叶片 SPAD 值降低,分别为对照的 89.5% ($P<0.05$) 和 95.5% ($P>0.05$)。

由图 1 可知,随着实验时间的延长,对照和低镁组 1 龄夏梢叶片 SPAD 值呈显著的增加趋势,而高镁组 SPAD 值无显著变化。第 3 月和 4 月时低镁组 SPAD 值分别比对照低 3.1% ($P>0.05$) 和 4.0% ($P>0.05$),高镁组 SPAD 值分别比对照低 2.8% ($P>0.05$) 和 11.1% ($P<0.05$)。

由图 1 可知,低镁组和高镁组 1 龄晚夏梢叶片的 SPAD 值分别比对照低 4.0% ($P>0.05$) 和 7.5% ($P<0.05$)。

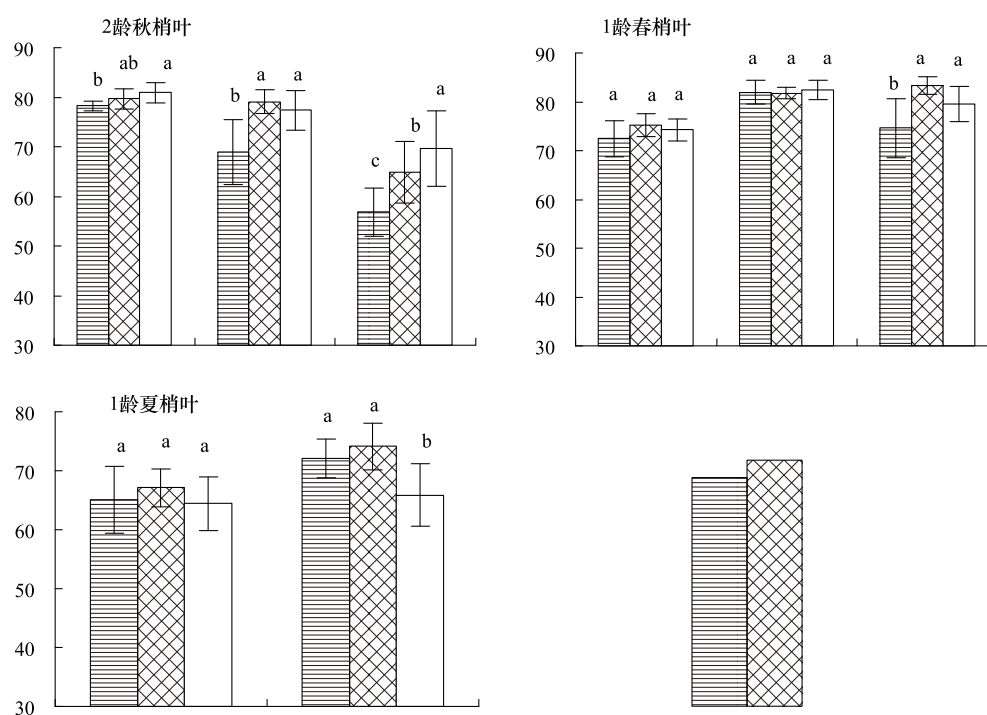


图 1 镁胁迫对纽荷尔脐橙不同叶龄叶片相对叶绿素含量的影响

Fig.1 The effect of Mg stress on relative chlorophyll content in leaves at different foliar age of Newhall navel orange

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,可以直接作为原初光化学效率的指标^[16]。由图 2 可知,低镁和高镁均导致不同叶龄叶片的 F_v/F_m 降低。对于 2 龄秋梢来说,实验前 2 个月低镁组 F_v/F_m 与对照无显著差异,但是第 3 月和第 4 月时低镁组 F_v/F_m 分别比对照低 7.5% ($P<0.05$) 和 13.9% ($P<0.05$);而高镁组 F_v/F_m 与对照无显著差异 (图 2)。对于 1 龄春梢来说,实验前 3 个月低镁组 F_v/F_m 与对照无显著差异,但是第

4 月时前者比后者低 12.6% ($P<0.05$);高镁组 F_v/F_m 分别比对照低 1.0%、1.4% 和 2.2%,无显著差异 ($P>0.05$) (图 2)。对于 1 龄夏梢叶和晚夏梢叶来说,低镁和高镁均导致 F_v/F_m 呈降低趋势,但是与对照的差异不显著 (图 2)。

2.3 快速光响应曲线的变化

2.3.1 光强- $rETR$ 曲线的变化

$rETR$ 是反映实际光强下 PS II 的表观电子传递效率,用于度量光化学反应导致碳固定的电子传递情况^[17]。由图 3 可知,实验期间各实验组 2 龄秋梢

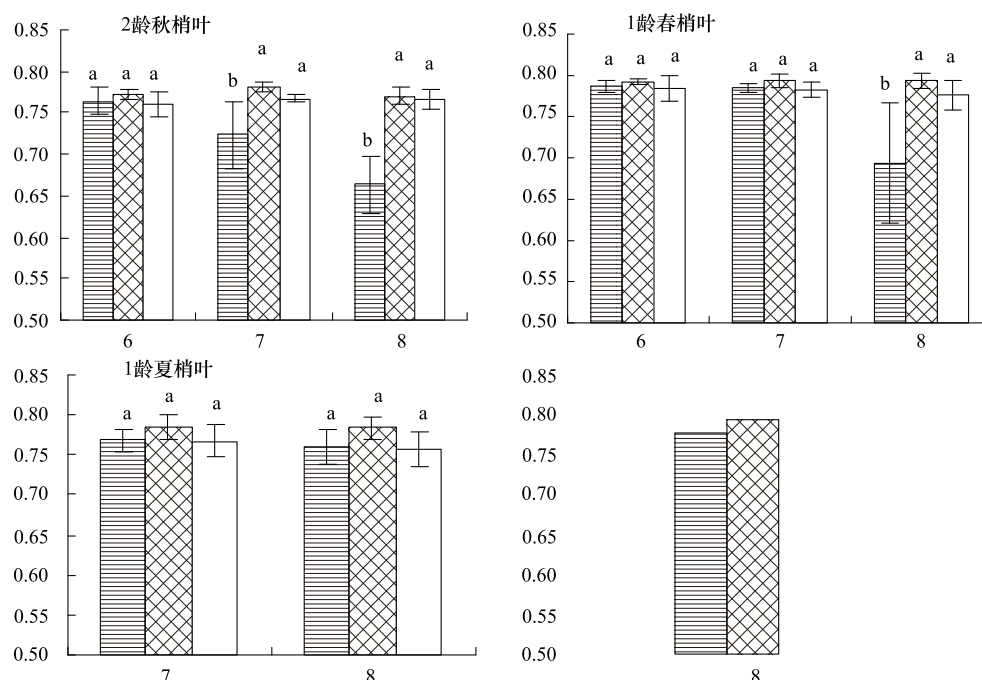
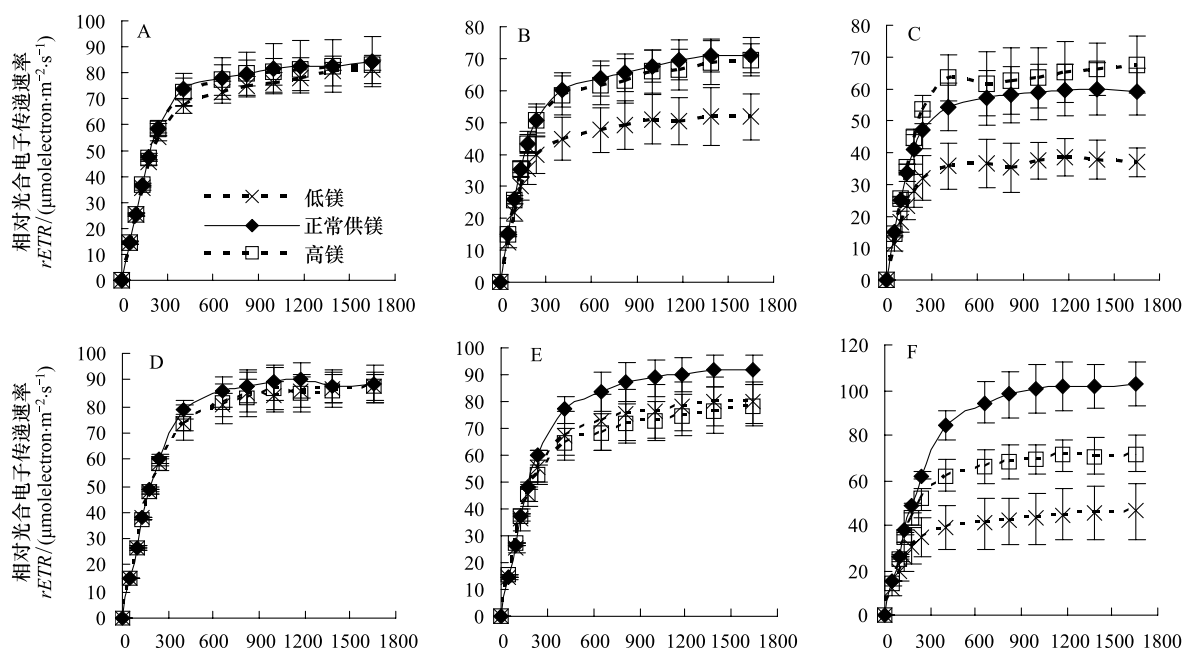


图2 镁胁迫对纽荷尔脐橙不同叶龄叶片 F_v/F_m 的影响

Fig.2 The effect of Mg stress on F_v/F_m in leaves at different foliar age of Newhall navel orange

叶片的 $rETR$ 均呈降低趋势。第2月、3月和4月时, 对照组 $rETR_{\max}$ 分别为 $81.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、 $69.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 和 $59.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 与对照相比, 低镁组 $rETR_{\max}$ 分别降低 3.4% ($P>0.05$)、22.9% ($P<0.05$) 和 35.7% ($P<0.05$), 而高镁组 $rETR_{\max}$ 分别为对照的 101.1%、96.4% 和 110.1%, 差异不显著 ($P>0.05$)。

由图3可知, 随着实验时间增加, 对照组1龄春梢和1龄夏梢叶片的 $rETR$ 呈上升趋势, 而低镁组和高镁组的 $rETR$ 呈显著降低趋势。对于1龄春梢来说, 第2月、3月和4月时, 对照组 $rETR_{\max}$ 分别为 $90.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、 $91.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 和 $97.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 而低镁组 $rETR_{\max}$ 分别比对照低



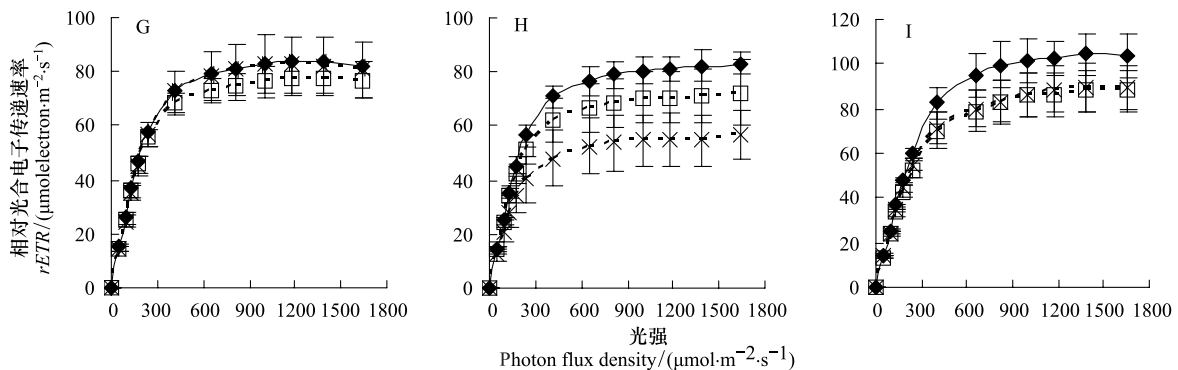


图3 镁胁迫对纽荷尔脐橙不同叶龄叶片的相对电子传递速率($rETR$)的影响

Fig.3 The effect of Mg stress on relative electron transport ratio ($rETR$) in leaves at different foliar age of Newhall navel orange

A、B、C 分别为处理 2 个月、处理 3 个月和处理 4 个月的 2 龄秋梢叶;D、E、F 分别为处理 2 个月、处理 3 个月和处理 4 个月的 1 龄春梢叶;G、H 分别为处理 3 个月和处理 4 个月的 1 龄夏梢叶;I 为处理 4 个月的 1 龄晚夏梢叶

4.6% ($P > 0.05$)、24.6% ($P < 0.05$) 和 56.2% ($P < 0.05$), 高镁组 $rETR_{max}$ 分别比对照低 3.6% ($P > 0.05$)、17.5% ($P < 0.05$) 和 31.2% ($P < 0.05$)。对于 1 龄夏梢来说,第 4 月时低镁组和高镁组 $rETR_{max}$ 分别比对照低 32.6% 和 12.8%,差异显著 ($P < 0.05$)。对于 1 龄晚夏梢来说,低镁组和高镁组的 $rETR_{max}$ 分别比对照低 15.2% 和 15.5%,差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3.1 光强- NPQ 曲线的变化

NPQ 在强光下可以耗散过剩的激发能,减少过剩光能对 PS II 反应中心的破坏,可有效的保护光合系统不受强光的破坏^[18]。由图 4 可知,对于 2 龄秋梢来说,实验 2 个月内低镁和高镁对 NPQ 的影响不显著;第 3 个月时低镁组 NPQ 显著增大,而高镁组 NPQ 显著降低,特别是第 4 个月时低镁组 NPQ 显著降低,其最大值仅为对照的 52.8%。

由图 4 可知,低镁和高镁导致 1 龄春梢、1 龄夏梢和 1 龄晚夏梢叶片 NPQ 显著增加,但是第 4 个月时低镁 1 龄春梢和 1 龄夏梢叶片的 NPQ 显著降低,其最大值分别仅为对照的 73.4%、80.2%。

3 讨论

3.1 镁缺乏和过量胁迫对纽荷尔脐橙不同叶龄叶片光合色素合成的影响

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^[19]。Schimansky 用放射性同位素 ^{28}Mg 对菜豆、大麦进行示踪,证明镁可以通过韧皮部由老叶转移至新叶^[20]。对大豆^[21]和黄瓜^[8]的研究表明,叶片叶绿素含量随根系供镁含量的增加呈先上升后下降的趋势;虽然缺镁黄瓜叶片叶绿素 a、

叶绿素 b、胡萝卜素含量均极显著降低,但是其叶绿素 a/b 值最高。Hermans 等的研究表明缺镁胁迫引起叶绿体结构与功能异常、叶绿素含量下降、叶片异常黄化,进而直接影响 PS I 和 PS II 的功能^[10]。申燕等对“春见”橘橙的研究表明,缺镁胁迫导致叶绿体内类囊体片层模糊,片层数明显减少,线粒体膜模糊且出现异常黑色颗粒,叶绿素含量降低;镁过量胁迫会导致淀粉粒和质体小球异常增多增大,线粒体膜模糊,叶绿体内片层消失,叶绿素含量显著降低^[22]。本文研究表明,缺镁不仅会导致老叶(2 龄秋梢叶)叶绿素含量降低,也会导致新叶(1 龄春梢叶、1 龄夏梢叶和 1 龄晚夏梢叶)叶绿素含量降低;虽然短期(2 个月)缺镁对 2 龄秋梢叶和 1 龄春梢叶叶绿素的合成影响不显著,但是随着缺镁胁迫时间的增加植株叶绿素合成受抑制程度显著增大。相对于镁缺乏胁迫来说,镁过量胁迫对减缓老叶和 1 龄春梢叶的叶绿素含量下降具有显著效果,而其对新叶(1 龄夏梢叶和 1 龄晚夏梢叶)叶绿素合成的影响则相反,其机制是元素拮抗还是其他原因有待进一步的探讨。

3.2 镁缺乏和过量胁迫对纽荷尔脐橙不同叶龄叶片光合作用和早衰的影响

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。缺镁胁迫越严重,植物的光合作用效率就越低。现有的研究表明,缺镁会引起光合膜垛叠受阻,降低 PS I 与 PS II 相对荧光产量的比值^[23-24];缺镁黄瓜叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)和蒸腾速率(Tr)的日变化呈单峰曲线,易发生显著的光抑制,叶绿素荧光参数 F_v/F_m 、 F_v/F_o 、 q^p

和 q^N 降低^[7]; 缺镁龙眼光补偿点和 CO_2 补偿点提高, 光饱和点和 CO_2 饱和点下降, PS II 活性下降^[6]。

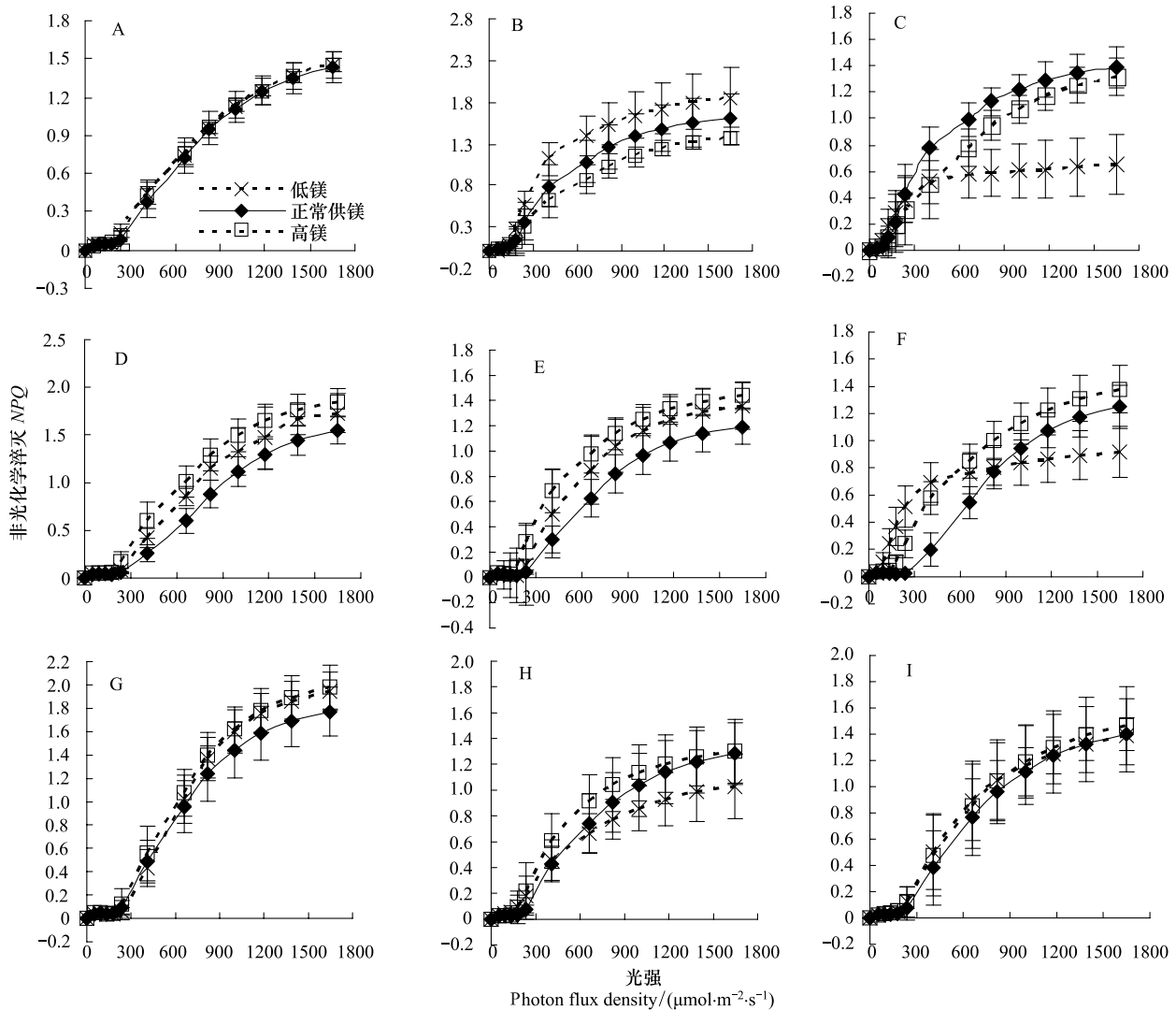


图4 镁胁迫对纽荷尔脐橙不同叶龄叶片的非光化学淬灭(NPQ)的影响

Fig.4 The effect of Mg stress on non-photochemical quenching (NPQ) in leaves at different foliar age of Newhall navel orange

本研究表明,随着缺镁时间的延长,纽荷尔脐橙新叶和老叶 F_v/F_m 受胁迫程度呈显著增大趋势;老叶 F_v/F_m 被抑制的表现时间显著早于新叶,而且其 F_v/F_m 降低程度显著大于新叶。此外,PS II 光能活化、活性氧代谢与植物叶片的早衰有密切的联系^[11,25]。在水稻叶片的早衰研究中发现,在衰老过程中剑叶的 F_v/F_m 、 q^P 、 Φ_{PSII} 、 $rETR$ 逐渐下降, q^N 上升,过剩的光能导致活性氧 O_2^- 、 H_2O_2 和膜脂过氧化产物 MDA 的积累,导致叶绿素衰减,发生光氧化早衰^[26]。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,过量的光能将会对光系统 II 产生伤害,导致叶绿素含量降低,显现黄化早衰症状^[11]。缺镁至第 3 月时纽荷

尔脐橙新叶和老叶 $rETR$ 呈显著下降趋势,第 4 月时 2 龄秋梢、1 龄春梢叶和 1 龄夏梢叶的 NPQ 不增反降,热耗散能力显著降低。表明,在夏季高光条件下缺镁植株吸收的过量光能很难以热的形式耗散掉,易受到光抑制,产生光伤害;结合 2 龄秋梢和 1 龄春梢叶 F_v/F_m 的显著降低结果可知,夏季高光已导致缺镁纽荷尔脐橙叶片受到光伤害。

镁缺乏和过量胁迫均能使烟草叶片量子产量、光合电子传递速率、非光化学淬灭降低,使植株对强光的保护性调节能力下降。镁过量胁迫下黄瓜 Pn 和 Tr 呈双峰曲线,胞间 CO_2 浓度 (C_i)、 G_s 呈近似抛物线型,光饱和点、 CO_2 饱和点以及表观量子效率和羧化效率都大于缺镁胁迫^[13]。本研究表明,与镁

缺乏相比,镁过量对纽荷尔脐橙 F_v/F_m 的胁迫影响显著较低,这与植株 $rETR$ 和 NPQ 的光响应能力变化有关。短期(2个月)镁过量胁迫对纽荷尔脐橙 2 龄秋梢和 1 龄春梢叶 $rETR$ 和 NPQ 的光响应能力无显著影响。虽然随着胁迫时间的增加,新叶(1 龄春梢叶、1 龄夏梢叶和 1 龄晚夏梢叶)的 $rETR$ 均呈显著降低趋势,但是其 NPQ 均高于对照,热耗散能力较高,不易受到过量光能的抑制,产生光伤害。对于纽荷尔脐橙植株老叶来说,虽然自第 3 个月开始 NPQ 低于对照,热耗散能力有所下降,但是其 $rETR$ 与对照无显著差异,也不易受到过量光能的抑制,不易产生光伤害。

综上所述,缺镁胁迫加速 2 龄秋梢叶和 1 龄春梢叶的衰老,而镁过量胁迫延缓其衰老;夏季高光易导致缺镁胁迫脐橙叶片受到光伤害,而对镁过量胁迫脐橙叶片的影响较小,不易产生光伤害。因此,生产上应重视镁肥的施用。由本研究结果可知,缺镁胁迫对纽荷尔脐橙植株的不利影响显著大于镁过量胁迫;而且生产上一般的镁肥过量应不会对树体产生显著的不利影响。

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] Li J, Xie Z C, Xie W L, Wu X M, Shi Q. Relationship between leaf vein splitting and mineral nutrition of citrus. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011, 38(3): 425-433.
- [3] Wu W H, Peters J, Berkowitz G A. Surface charge mediated effects of Mg^{2+} on K^+ flux across the chloroplast envelope are associated with regulation of stromal pH and photosynthesis. *Plant Physiology*, 1991, 97(2): 580-587.
- [4] Hao N P, Li T Z, Zhang Q D, Lou S Q, Tang C Q, Kuang T Y. Structure and function of chloroplast membranes VIII. Effect of magnesium ions on the polymerization of chlorophyll-protein complexes of chloroplast membranes. *Acta Biochimica et Biophysica Sinica*, 1981, 13(4): 365-372.
- [5] Sun N, Zeng X B, Gao J S, Wang B R. Effects of magnesium compound fertilizer on daylily (*Heimerocallis citrina* Baroni) growth and soil Nutrients. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(1): 95-101.
- [6] 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.
- [7] Yang G D, Zhu Z J, Ji Y M. Effect of light intensity and magnesium deficiency on chlorophyll fluorescence and active oxygen in cucumber leaves. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, 8(1): 115-118.
- [8] Xie X Y, Liu H T, Cheng Z W. Effects of magnesium stress on photosynthetic character of cucumber in greenhouse. *China Vegetables*, 2009, (6): 36-40.
- [9] 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. *Horticulturae Sinica*, 2006, 33(2): 311-316.
- [10] Hermans C, Johnson G N, Strasser R J, Verbruggen N. Physiological characterisation of magnesium deficiency in sugar beet: Acclimation to low magnesium differentially affects photosystems I and II. *Planta*, 2004, 220(2): 344-355.
- [11] 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.
- [12] Hermans C, Verbruggen N. Physiological characterization of Mg deficiency in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany*, 2005, 56(418): 2153-2161.
- [13] Guan G S, Tu N M, Xiao H Q, Zhu L S, Zhu Y H, Wang Z M. Effects of magnesium on tobacco growth and chlorophyll fluorescence parameters of tobacco leaves. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(1): 151-155.
- [14] Scheriber 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Horton P, Ruban A V, Walters R G. Regulation of light harvesting in green plants (indication by nonphotochemical quenching of chlorophyll fluorescence). *Plant Physiology*, 1994, 106(2): 415-420.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Li Y Z, Li F, Gao M, Chen X, Lv C L, Fu H L, Sun D Q. Effects of soil magnesium excess on several physiological indexes of soybean. *Agro-Environmental Protection*, 1990, 9(2): 41-42.
- [22] Shen Y, Xiao J X, Yang H, Zhang S L. Effects of magnesium stress on growth, distribution of several mineral elements and leaf ultrastructure of 'Harumi' tangor. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011, 38(5): 849-858.
- [23] Zhang Q D, Tang C Q, Li S Y. Structure and function of chloroplast membrane XI. The effects of linolenic acid on the structure and the absorption and fluorescence spectra of wheat chloroplast membranes as well as regulations by MgCl_2 . *Acta Botanica Sinica*, 1982, 24(4): 326-333.
- [24] Lin S Q, Xu C H, Zhang Q D, Xu L, Mao D Z, Kuang T Y. Some application of chlorophyll fluorescence kinetics to plant stress physiology to ecology and agricultural modernization. *Chinese Bulletin of Botany*, 1992, 9(1): 1-16.
- [25] Li Y, Liu X H. Effects of magnesium deficiency on senescence of *Dimocarpus longana* leaves. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(3): 311-314.
- [26] 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.
- (4): 365-372.
- [5] 孙楠, 曾希柏, 高菊生, 王伯仁. 含镁复合肥对黄花菜生长及土壤养分含量的影响. *中国农业科学*, 2006, 39(1): 95-101.
- [6] 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.
- [7] 杨广东, 朱祝军, 计玉妹. 不同光强和缺镁胁迫对黄瓜叶片叶绿素荧光特性和活性氧产生的影响. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(1): 115-118.
- [8] 谢小玉, 刘海涛, 程志伟. 镁对温室黄瓜光合特性的影响. *中国蔬菜*, 2009, (6): 36-40.
- [9] 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.
- [11] 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.
- [13] 关广晟, 屠乃美, 肖汉乾, 朱列书, 朱英华, 王中美. 镁对烟草生长及叶片叶绿素荧光参数的影响. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(1): 151-155.
- [19] 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.
- [21] 李亚洲, 李沸, 高铭, 陈旭, 吕春莉, 付海龙, 孙大群. 土壤中过量镁对大豆几项生理指标的影响. *农业环境保护*, 1990, 9(2): 41-42.
- [22] 申燕, 肖家欣, 杨慧, 张绍铃. 镁胁迫对'春见'橘橙生长和矿质元素分布及叶片超微结构的影响. *园艺学报*, 2011, 38(5): 849-858.
- [23] 张其德, 唐崇钦, 李世仪. 叶绿体膜的结构与功能 XI. 亚麻酸对小麦叶绿体膜结构、吸收光谱和荧光光谱的影响以及镁离子的调节作用. *植物学报*, 1982, 24(4): 326-333.
- [24] 林世青, 许春辉, 张其德, 徐黎, 毛大璋, 匡廷云. 叶绿素荧光动力学在植物抗性生理学、生态学和农业现代化中的应用. *植物学通报*, 1992, 9(1): 1-16.
- [25] 李延, 刘星辉. 缺镁胁迫对龙眼叶片衰老的影响. *应用生态学报*, 2002, 13(3): 311-314.
- [26] 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.

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.
- [2] 李健, 谢钟琛, 谢文龙, 吴应明, 施清. 柑橘叶脉开裂症与矿质营养的关系. *园艺学报*, 2011, 38(3): 425-433.
- [4] 郝迺斌, 李桐柱, 张其德, 娄世庆, 唐崇钦, 匡廷云. 叶绿体膜的结构与功能VIII. 镁离子对叶绿体类囊体膜的叶绿素-蛋白复合体聚合的影响. *生物化学与生物物理学报*, 1981, 13

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.7 Apr., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The 5000-year climate change of northeastern Qinghai-Tibetan Plateau and historical ecology of Zoige wetlands HE Yixin, WU Ning, ZHU Qiu'an, et al (1615)
- Altitudinal distribution rule of *Picea schrenkiana* forest's soil organic carbon and its influencing factors Aminem ELI, CHANG Shunli, ZHANG Yutao, et al (1626)

Autecology & Fundamentals

- Daily stem radial variation of *Pinus koraiensis* and its response to meteorological parameters in Xiaoxing'an mountain LI Xinghuan, LIU Ruipeng, MAO Zijun, et al (1635)
- Effects of logging residues on surface soil biochemical properties and enzymatic activity WU Bobo, GUO Jianfen, WU Junjun, et al (1645)
- Characteristics of soil macroaggregates under typical forests in Pangquangou Nature Reserve BAI Xiumei, HAN Youzhi, GUO Hanqing (1654)
- Modeling tree crown structure of Simao pine (*Pinus kesiya* var. *langbianensis*) natural forest OU Guanglong, XIAO Yifa, WANG Junfeng, et al (1663)
- Influence of magnesium deficiency and excess on chlorophyll fluorescence characteristics of Newhall navel orange leaves LING Lili, HUANG Yi, PENG Liangzhi, et al (1672)
- Seed foraging and dispersal of Chinese yew (*Taxus chinensis* var. *mairei*) by frugivorous birds within patchy habitats LI Ning, WANG Zheng, LU Changhu, et al (1681)
- Interactions between heavy metal lead and two freshwater algae LIU Lu, YAN Hao, LI Cheng, et al (1690)
- Annual variations of the primary productivity and its size-fractioned structure in culture ponds of *Apostichopus japonicus* Selenka JIANG Senhao, ZHOU Yibing, TANG Boping, et al (1698)
- Growth and photosynthetic activity of *Microcystis* colonies after gut passage through silver carp and bighead carp WANG Yinping, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (1707)
- Contents of two coumarins in *Ipomoea cairica* and their effects on *Pomacea canaliculata*, *Orzya sativa*, and *Echinochloa crusgalli* YOU Changyan, YANG Yu, HU Fei, et al (1716)

Population, Community and Ecosystem

- Population and habitat status of Asian elephants (*Elephas maximus*) in Mengla Sub-reserve of Xishuangbanna National Nature Reserve, Yunnan of China LIN Liu, JIN Yanfei, CHEN Dekun, et al (1725)
- Seasonal changes of functional guilds of fish community in Laizhou Bay, East China LI Fan, XU Bingqing, MA Yuanqing, et al (1736)
- Effect of long-term fertilization pattern on weed community diversity in wheat field JIANG Min, SHEN Mingxing, SHEN Xinping, et al (1746)
- Ecological process of water transformation in furrow and ridge mulching system in oat field under extreme drought scenario ZHOU Hong, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (1757)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Simulations and analysis on the effects of landscape pattern change on flood and low flow based on SWAT model LIN Bingqing, CHEN Xingwei, CHEN Ying, et al (1772)
- Phenological variation of alpine grasses (Gramineae) in the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau, China during the last 20 years XU Weixin, XIN Yuanchun, ZHANG Juan, et al (1781)
- Landscape aesthetics in different areas of Lijiang City GUO Xianhua, ZHAO Qianjun, CUI Shenghui, et al (1794)
- Temporal and spatial pattern of *Scenedesmus* in the river web of the Pearl River Delta, China WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (1800)

- Spatiotemporal dynamics of bacterial abundance and related environmental parameters in Lake Bosten WANG Bowen, TANG Xiangming, GAO Guang, et al (1812)
- Scale domain recognition for land use spatial fractal feature based on genetic algorithm WU Hao, LI Yan, SHI Wenzhong, et al (1822)
- Relationships of stable carbon isotope of *Abies faxoniana* tree-rings to climate in sub-alpine forest in Western Sichuan JIN Xiang, XU Qing, LIU Shirong, et al (1831)
- An exploratory spatial data analysis-based investigation of the hot spots and variability of *Ommastrephes bartramii* fishery resources in the northwestern Pacific Ocean FENG Yongjiu, CHEN Xinjun, YANG Mingxia, et al (1841)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Spatial differentiation research of non-use value WTP based on the residents' ecological cognition: taking the sanjiang plain as a case GAO Qin, AO Changlin, CHEN Hongguang, et al (1851)
- Contamination characteristics in surface water and coastal groundwater of Hunhe River CUI Jian, DU Jizhong, WANG Xiaoguang (1860)
- Social ecological system and vulnerability driving mechanism analysis YU Zhongyuan, LI Bo, ZHANG Xinshi (1870)
- Research Notes**
- Effects of iso-osmotic $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and NaCl stress on growth and physiological characteristics of cucumber seedlings ZHOU Heng, GUO Shirong, SHAO Huijuan, et al (1880)
- View Point**
- The discussion about the designation and content of ecological conservation and construction SHEN Guofang (1891)

《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 魏辅文

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 34 卷 第 7 期 (2014 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 7 (April, 2014)

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