

喷施黄腐酸对干旱胁迫下甘蔗苗期 叶绿素荧光参数及丙二醛的影响

梁强¹, 叶燕萍^{1,3*}, 桂杰¹, 娄予强¹, 韦继敏¹, 李杨瑞^{1,2}

(1. 广西大学农学院, 南宁 530005; 2. 广西农业科学院, 南宁 530007; 3. 广西大学甘蔗研究所, 南宁 530005)

摘要: 分别对具4~5张完全叶桶栽甘蔗品种ROC22#和园林6#叶面喷施黄腐酸, 分别为正常供水0(CK1)、0(CK2)、200、400、800、1 200 mg/L黄腐酸, 研究在不同胁迫程度下不同浓度黄腐酸对甘蔗叶片叶绿素荧光参数、丙二醛(MDA)含量变化的影响。结果表明, 经过黄腐酸处理后甘蔗叶片的PSII原初光能转换效率(Fv/Fm)、光合量子产额(Yield)、光化学淬灭系数(qP)数值在中度和重度水分胁迫下都高于干旱对照CK2, 品种和处理间参数的变化有差异; 非光化学淬灭系数(qN)值则与正常供水对照比较没有大的差异。黄腐酸处理后甘蔗叶片MDA含量随处理浓度增大而降低, 且明显低于干旱对照CK2。从2个参试品种6个处理浓度综合分析, 水分胁迫下喷施黄腐酸可提高ROC22#和园林6#甘蔗苗期的抗旱性, 以200、400 mg/L处理效果较好。

关键词: 甘蔗; 黄腐酸(FA); 水分胁迫; 叶绿素荧光

中图分类号: Q944 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2009)04-0527-06

Effects of fulvic acid on chlorophyll fluorescence parameters and MDA of sugarcane seedling under water stress

LIANG Qiang¹, YE Yan-Ping^{1,3*}, GUI Jie¹, LOU Yu-Qiang¹,
WEI Ji-Min¹, LI Yang-Rui^{1,2}

(1. College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530005, China; 2. Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China; 3. Sugarcane Research Institute, Guangxi University, Nanning 530005, China)

Abstract: Two sugarcane cultivars, i. e. ROC22# and YUANLIN6#, were used as the plant materials for the experiment. Normal water supply (CK1) and fulvic acid (FA) of five concentration levels, i. e. 0 mg/L (water, CK2), 200 mg/L, 400 mg/L, 800 mg/L and 1 200 mg/L were sprayed on the leaves at initial growth stage (four to five leaves) to study the effects of different FA treatments on chlorophyll fluorescence parameters and MDA in sugarcane seedlings under different degree water stress. The results showed that Fv/Fm, Yield and qP was higher in FA treatments than those of control-2 under moderate water stress and severe water stress. Differences in parameters of varieties and among treatments were found. Comparing with the CK1, the difference of qN among treatments is not obvious. The higher the FA concentration treatments were, the lower the content of MDA was. The content of MDA was significantly lower in FA treatments than that of control-2. On the whole, spraying FA can improve drought resistance at initial growth stage in ROC22# and YUANLIN6# under water stress. The effects of 200 mg/L and 400 mg/L FA concentration treatments were better than those of other FA concentration treatments.

Key words: sugarcane; fulvic acid; water stress; chlorophyll fluorescence

收稿日期: 2007-12-18 修回日期: 2008-06-02

基金项目: 广西科技攻关项目(桂科攻 0782004-3)[Supported by Key Scientific Research and Technology Development Project of Guangxi(0782004-3)]

作者简介: 梁强(1981-), 男, 广西梧州市人, 硕士生, 研究方向为作物化学调控及生理, (E-mail) liangqiangde@163.com.

* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: yanchen@gxu.edu.cn)

广西是我国主要的甘蔗糖料生产基地,甘蔗在广西占着重要的经济、社会地位,但广西蔗区有90%以上是在丘陵旱坡地上,蔗区农业基础设施薄弱,水利缺乏,常受春旱和秋旱等季节性干旱的影响(李耀先等,2001)。而水分对甘蔗的生长影响较大,当土壤水分亏缺时,植株自由水含量和相对含水量降低,从而限制了甘蔗正常的生理代谢活动,生长受到抑制。春旱、秋旱发生时正是春植蔗和秋植蔗生长前期(苗期),虽然这时不是甘蔗生长需水量最大的时期,但有学者(张木清,1994)认为:甘蔗种植初期至齐苗分蘖期前更需要水分,若水分不足甘蔗产量会受到影响甚至失收。因此,干旱是制约我国甘蔗单产提高的主要因素之一。

黄腐酸(Fulvic Acid,简称FA,又名富里酸)是腐植酸(Humic Acid,HA)成分的一种,是植酸类分子量较小的高分子有机化合物,含有多种活性官能团,能溶于水、酸、碱、乙醇和丙醇,易被植物吸收,具有较强的生物活性。研究表明,黄腐酸不仅有抗蒸腾作用,还能促进根系发育、提高叶绿素含量和某些重要酶的活性以及对农药的协同作用,是一种使用广泛的植物生长调节剂(郑平等,1993)。李松等(2005)的试验结果表明,适当浓度的黄腐酸可以增加叶片叶绿素含量,对甘蔗的蔗糖分、单位面积产蔗量、产糖量具有明显的作用。黄腐酸类物质目前已应用在小麦、玉米、水稻等粮食作物和大豆、油菜、花生、棉花等经济作物上,而在甘蔗抗旱方面的应用和研究报道很少,对甘蔗叶片的光合特性、细胞膜透性的影响未见报道。本试验通过对干旱胁迫下两个甘蔗品种苗期喷施不同浓度黄腐酸,并对其相关的生理指标进行测定,为黄腐酸在甘蔗上的应用提供更可靠的依据。

1 试验材料与方 法

1.1 供试甘蔗品种

新台糖(ROC)22#(A)和园林6#(B)。

1.2 供试药品

试验采用的黄腐酸为固体工业用黄腐酸,含量92%。

1.3 试验处理及设计

本试验设在广西大学甘蔗玻璃温室进行,采用黑色塑料桶进行桶栽种植。共设置6个处理:1.正常供水0 mg/L FA(CK1);2.干旱胁迫0 mg/L FA

(CK2);3.干旱胁迫200 mg/L FA;4.干旱胁迫400 mg/L FA;5.干旱胁迫800 mg/L FA;6.干旱胁迫1200 mg/L FA。每处理各5桶,共60桶。

1.4 水分胁迫处理

设3个胁迫程度:土壤相对含水量(SRWC)75%~80%正常供水(包括停水前、复水后);45%~50%为中度干旱胁迫;25%~30%为重度干旱胁迫。甘蔗苗长出4~5张完全叶时对叶面喷施黄腐酸,喷施第二天淋透一次水,之后停止供水32d,进行干旱胁迫处理,定时测定土壤含水量、观测叶片卷曲程度,以确定胁迫程度。重度胁迫处理之后就恢复正常供水,观测其恢复之后的抗旱生理指标。

1.5 测定方法

1.5.1 土壤相对含水量的测定 用称重法测定土壤相对含水量(相对含水量=土壤含水量/田间持水量 $\times 100\%$)

1.5.2 丙二醛的测定 称取1g鲜叶,加10%三氯乙酸(TCA)10mL,离心15min(4000 r/min),取2mL上清液加2mL 0.6%硫代巴比妥酸(TBA),沸水浴15min,冷却后使用岛津UV-1206型分光光度计测定波长在450、532nm和600nm处的OD值(郝再彬等,2004)。

1.5.3 叶绿素荧光参数的测定 在天气晴朗的下午17:00~18:00时间段里,选取生长较一致有代表的甘蔗植株+1叶片,测定前叶片预暗适应15min,采用德国生产的PAM-2000(Walz, Germany)便携式叶绿素荧光仪,并连接微量子/温度探头(型号为2030B)测定甘蔗叶的PSII原初光能转换效率(Fv/Fm)、PSII潜在活性(Fv/Fo)、光合量子产额(Yield)、光化学淬灭系数(qP)、非光化学淬灭系数(qN)等叶绿素荧光参数。测定参照许大全的方法步骤(许大全,2002)。

2 结果与分析

2.1 水分变化情况

2.1.1 处理后土壤水分变化情况 药品喷施处理并淋透一次水之后,进行自然干旱胁迫,每天进行土壤水分观察,并取土样进行水分含量测定。观测得出:处理后的第5天、第8天时分别处于中度胁迫和重度胁迫,0、15、30d均处于正常供水。

2.2 对叶绿素荧光特性的影响

2.2.1 对叶片PSII原初光能转换效率Fv/Fm的影

响 PSII 光能转化效率 (F_v/F_m) 表示暗适应下 PSII 反应中心完全开放后的最大量子产量,用于度量植物叶片 PSII 原初光能转换效率,表明 PSII 利用光能的能力,常作为植物受到环境胁迫时最直接的光合生理响应指标(陈贻竹等, 1995; 张守仁, 1999)。

表 1 处理之后土壤的水分变化情况
Table 1 Soil water regimes after treatments

处理时间(d) Days after treatments	叶片卷曲程度 Degree of leaf-roll		土壤相对含水量 Relative soil water content(%)	水分胁迫程度 Degree of water stress
	ROC22 #	园林 6 #		
0	正常	正常	76.2	正常供水
5	约 10%+4 叶卷曲	约 30%+4 叶卷曲	49.7	中度胁迫
8	约 80%+4 叶卷曲	约 20%+3 叶卷曲	25.1	重度胁迫
15	基部叶发黄较少	基部叶发黄较多	77.8	复水 7 d
28	回复正常	回复正常	79.8	复水 20 d

图 1 表明,两个甘蔗品种在中度干旱胁迫处理的 F_v/F_m 值有一定增加,提高了原初光能转化效率,而在受重度干旱胁迫后,各处理的 F_v/F_m 值都有不同程度下降,复水后受干旱胁迫处理的 F_v/F_m 值迅速恢复,但恢复的速度存在差异。A 处理在中度胁迫下, F_v/F_m 值大于正常供水 A1;在重度干旱胁迫条件下,A3、A4、A5、A6 处理的 F_v/F_m 值均高于干旱对照处理 A2,但在这个范围内随着浓度的增加, F_v/F_m 值逐步降低;而园林 6 # 只有 B6 的 F_v/F_m 值明显低于其它三个浓度 FA 处理,但仍明显高于干旱对照 B2。表明干旱胁迫会使 PSII 潜在活性中心受损,抑制了光合作用的原初反应,但经过黄腐酸处理对叶片光能转化效率起到一定的缓解和促进作用。复水 20 d 两个品种的干旱对照的 F_v/F_m 值都高于重度胁迫,ROC22 # 干旱处理对照的甚至高于中度胁迫时的数值。说明 F_v/F_m 值能较好反映品种间的抗旱性差异。

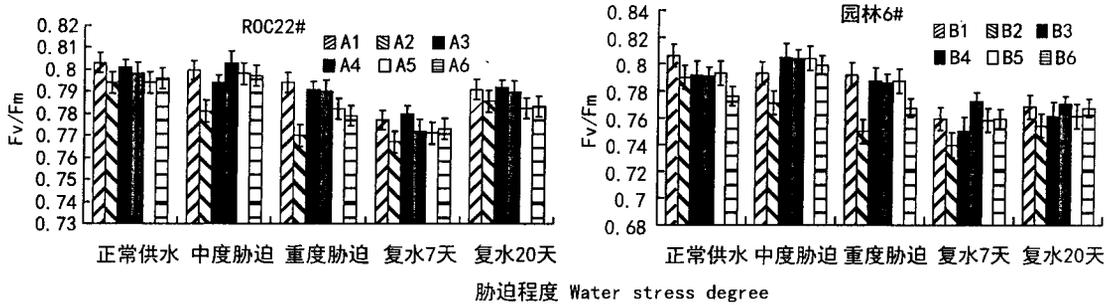


图 1 不同处理甘蔗叶片的光能转化效率 (F_v/F_m)
Fig. 1 The F_v/F_m in sugarcane leaves under different treatments

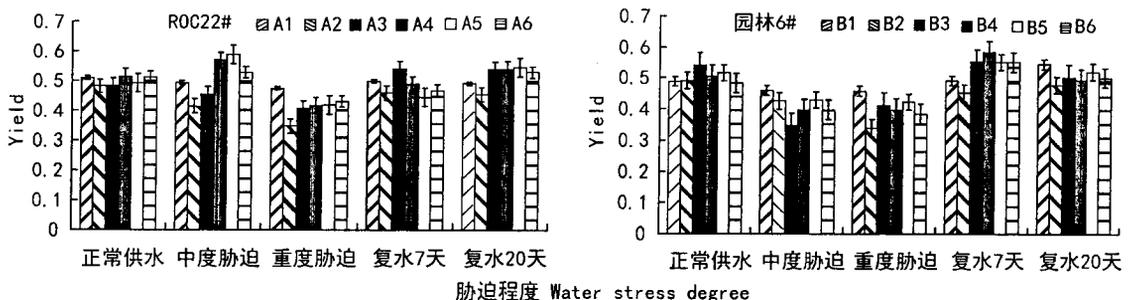


图 2 不同处理甘蔗叶片的实际利用量子产额 (Yield)
Fig. 2 The quantum yield of PSII in sugarcane leaves under different treatments

2.2.2 PSII 实际利用量子产额 叶片 PSII 的实际利用量子产额 (Yield) 是指被 PSII 天线色素吸收的光能用于光合电子传递的份额,为 PSII 反应中心电

荷分离的实际量子效率 (Scheiber 等, 1998)。图 2 表明,FA 处理增大了 ROC22 # 中度胁迫下的实际利用量子产额,以 A5 表现最为突出,明显大于正常

供水 A1, 重度胁迫下两个品种的变化趋势相似。两种品种的干旱对照处理在复水 7~20 d 后都恢复到正常供水时的数值。园林 6# 在复水 7 d 后, B3、B4、B5、B6 处理的 Yield 值均高于 B1, 而 ROC22# 只有 A3 处理高于两个对照的 Yield 值, 在复水 20 d

后, A3、A4、A5、A6 才明显高于 A1 和 A2。这一方面说明短时间的干旱胁迫是对甘蔗的光合作用实际利用量子产额的影响是可逆的, 另一方面说明 200~1 200 mg/L FA 处理有利于园林 6# 迅速恢复正常的光合电子传递利用率。

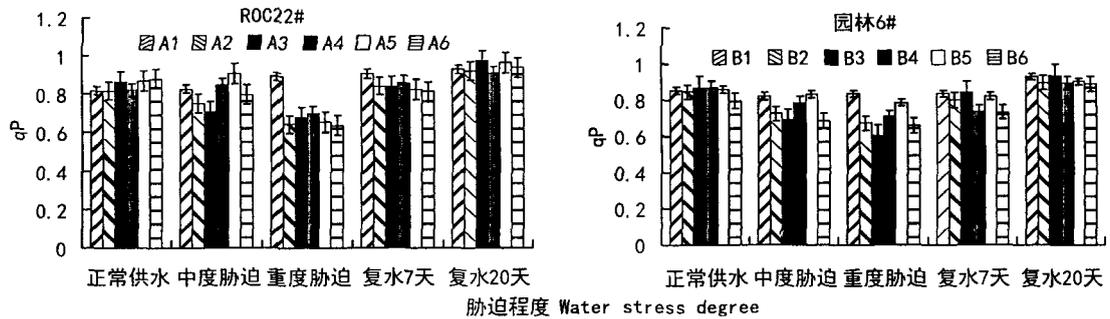


图 3 不同处理甘蔗叶片的光化学猝灭系数(qP)
Fig. 3 The photochemical quenching coefficient in sugarcane leaves under different treatments

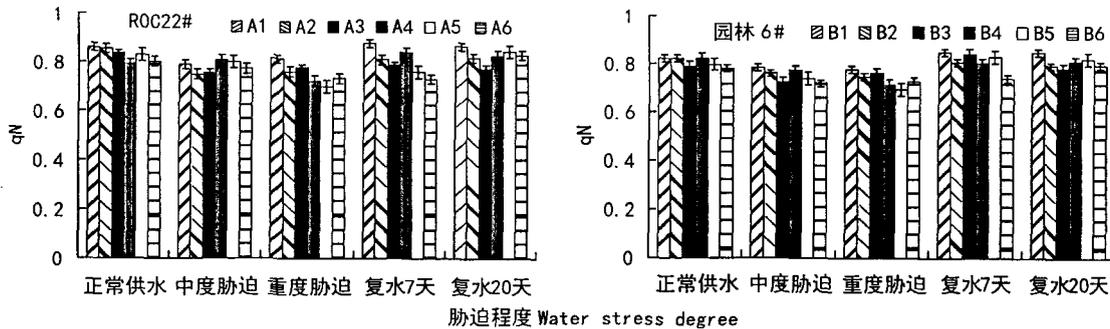


图 4 不同处理甘蔗叶片的非光化学猝灭系数(qN)
Fig. 4 The non-photochemical quenching coefficient in sugarcane leaves under different treatments

2.2.3 处理对甘蔗叶片 qP 值的影响 光化学猝灭系数是表示总 PSII 反应中心中开放的反应中心所占比例的指标, 它决定 PSII 的激发能捕获速率, 其值越大, 说明 PSII 具有高的电子传递活性(张守仁, 1999; 史胜青等, 2004)。图 3 表明, A4、A5 处理都不同程度地增大了 ROC22# 在中度干旱胁迫时的 qP 值, 以 A5 增幅最大, 超过了正常供水对照 A1。在重度胁迫时几个 ROC22# 干旱处理相差不大, A3 和 A4 稍大于 A2。复水 20 d 时, A3 和 A5 两个处理均稍大于正常供水对照 A1。在重度胁迫时, B5 比 B2、B3、B4、B6 的 qP 值高。由此说明, B5 在重度干旱胁迫下还能保持较高的 PSII 的电子传递活性, 这与 ROC22# 有所不同, 表明 FA 处理在提高光化学反应方面, 不同品种间有所差别。

2.2.4 处理对甘蔗叶片 qN 值的影响 非光化学猝

灭反映的是 PPSII 天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递而以热的形式耗散掉的光能部分, 是一种自我保护机制, 对光合机构起一定的保护作用(张守仁, 1999; 史胜青等, 2004)。ROC22# 品种叶片非光化学猝灭系数的变化趋势与园林 6# 的有所不同, 特别是重度胁迫及复水 7 d 这段时间。干旱处理后, 随着胁迫程度的加重, 部分处理与对照 A1 和 B1 相比 qN 值都有不同程度的增加, 但是上升的幅度明显低于 A2 和 B2, 表明经过黄腐酸处理后, 耗散光能的利用变化不大, 以至于使用于光合部分光能的量保持较高的水平。复水 7 d 时干旱处理的 qN 值仍不同程度地低于正常供水对照 A1 和 B1, 但是复水 20 d 后, 各处理的 qN 值都得以恢复, 接近于正常供水对照, 只有 A3 和 B3 处理的 qN 值明显低于 A1 和 B1。

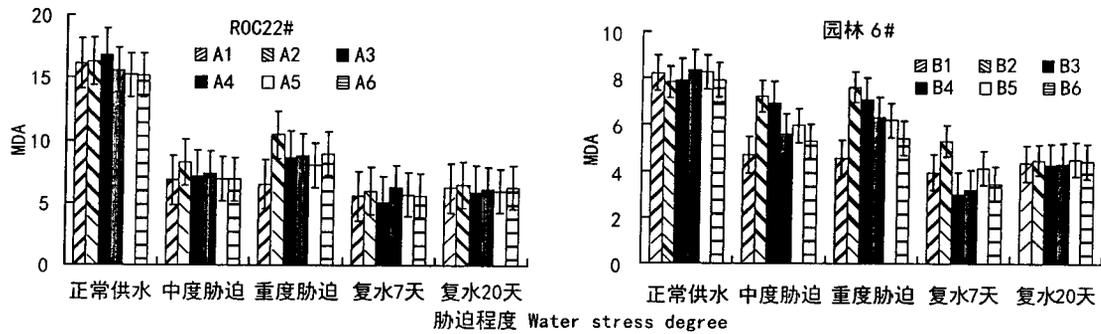


图 5 不同处理甘蔗叶片的 MDA 含量

Fig. 5 The MDA content in sugarcane leaves under different treatments

2.3 叶片丙二醛(MDA)含量变化

图 5 表明,随着甘蔗的生长,ROC22# 和园林 6# 叶片中 MDA 含量趋于下降。在中度胁迫下, A3、A4、A5、A6 处理保持与正常供水 A1 对照持平,而 B3、B4、B6 处理的 MDA 上升形成受到一定的控制,但仍高于正常供水对照 B1。在重度胁迫下 ROC22# 各个浓度处理对 MDA 升高有控制,但高于 A1,而园林 6# 则呈现随处理浓度升高有规律地控制了 MDA 的形成。复水后两种品种 200~1 200 mg/L FA 处理的 MDA 迅速降低,复水 7 d 时 A2 处理与正常供水对照 A1 基本一样,而 B2 则仍高于其他处理。可见 MDA 能较好反映品种或处理间的抗旱性差异。

3 讨论与结论

(1)叶绿素荧光参数在水分胁迫下的动态变化规律与甘蔗品种的抗旱性强弱有着密切的关系,可作为甘蔗品种抗旱性检测的相对指标,特别是 F_v/F_m 是用于鉴别植物抗旱性较合适的指标(高三基等,1999;罗俊等,2002)。本试验结果表明,经过 FA 处理能够控制受胁迫甘蔗叶绿素荧光参数中 F_v/F_m 、Yield、 qP 的下降的趋势;甘蔗品种间对 FA 响应有差异,变化幅度因品种的抗逆性能和 FA 处理浓度的不同而表现不一。

(2) qN 代表非光化学淬灭系数,反映的是 PSII 天线色素吸收的光是用于光合电子传递还是以热的形式耗散掉的光能部分,是一种保护机制(Johnson 等,1993;Bader 等,2000;张守仁,1999)。多数植物在胁迫的条件下, qN 值升高,耗散能力增加,以避免过多光能引起的光氧化伤害。笔者的试验结果表明,两个甘蔗品种干旱处理之间的 qN 值与正常供

水对照相比较没有大的差异,对于暂时的干旱胁迫,它们的非光化学反应变化不大。由此表明甘蔗是耐干旱或耐高光强的作物,干旱和强光都不会造成光氧化伤害。

(3)当植物遭受逆境条件的胁迫,植物体内的氧化代谢就会失调,细胞内自由基产生和消除的平衡受到破坏而出现自由基积累,并由此引发或加剧了细胞膜过氧化(侯福林,2004;陈少裕,1991;谭常等,1985),MDA 是过氧化的终产物,而 MDA 本身又是一种高活性的脂质过氧化物,它能交联脂类、核酸、糖类及蛋白质,从而进一步对质膜的结构和功能造成不良的影响,使其电解质泄漏量增加,影响了构成细胞膜的流动性及其与酶的结合力。因此,MDA 含量的高低变化是反映细胞膜脂过氧化作用强弱和脂膜破坏程度的重要指标(Larcher,1997)。本试验结果表明,MDA 含量的变化最能表明抗旱性的差异,即使是短暂的干旱。ROC22# 只用 200 mg/L FA 处理,即可控制中度和重度胁迫时的 MDA 的上升,而园林 6# 则需要较高的 FA 浓度,即 400~800 mg/L FA 才能有较好的降低 MDA 值的效果。在重度胁迫时,则需要 1 200 mg/L FA,才有更好地控制 MDA 升高的效应。

结合形态上的表现以及 MDA 的分析,我们初步认为:叶绿素荧光参数 F_v/F_m 、Yield、 qP 能较好反映甘蔗在受胁迫时光合电子传递、光能利用等方面的情况,具有快速、便利、活体测定的优点,在进一步测定甘蔗不同基因型,并进行相关分析,可以作为抗旱性指标之一来鉴定甘蔗品种的抗旱性。

参考文献:

Larcher W. 翟志席,译. 1997. 植物生态生理学[M]. 北京:中国农业大学出版社.

- 李耀先,李秀存,张永强. 2001. 广西干旱分析与防御对策[J]. 广西农业科学, (3):113—117
- 许大全. 2002. 光合作用效率[M]. 上海:上海科学技术出版社,19—25
- 张木清. 1994. 甘蔗耐旱生理基础及其化学调控[D]. 福建农业大学博士学位论文,12
- 郑平,王兴滨,王天立. 1993. 黄腐酸类物质在农业与医药中的应用[M]. 北京:化学工业出版社,373
- 侯福林. 2004. 植物生理学实验教程[M]. 北京:科学出版社
- 郝再彬,苍晶,徐仲. 2004. 植物生理试验[M]. 哈尔滨工业大学出版社,106—108
- 谭常,杨惠东,余叔文. 1985. 植物生理学实验手册[M]. 上海:上海科技出版社
- Bader MR, Ruuska S, Nakano H. 2000. Electron flow to oxygen in higher plants and algae: rates and control of direct photoreduction (Mehler reaction) and rubisco oxygenase[J]. *Biological Sciences*, **1** 402:1 443—1 445
- Chen SY(陈少裕). 1991. The effect of water stress on membrane fluidity of leaf mitochondria of sugarcane and its relation to membrane lipid peroxidation(水分胁迫对甘蔗叶片线粒体膜流动性的影响及其与膜脂过氧化的关系)[J]. *Acta Phytophysiol Sin*(植物生理学报), **17**(3):285—289
- Chen YZ(陈贻竹), Li XP(李晓萍), Xia L(夏丽), et al. 1995. The application of chlorophyll fluorescence technique in the study of responses of plants to environmental stresses(叶绿素荧光技术在植物环境胁迫研究中的应用)[J]. *J Trop Subtrop Bot*(热带亚热带植物学报), **3**(4):79—86
- Gao SJ(高三基), Luo J(罗俊), Chen RK(陈如凯), et al. 2002. Photosynthetic physiology indexes of the drought resistance of sugarcane and its comprehensive evaluation(甘蔗品种抗旱性光合生理指标及其综合评价)[J]. *Acta Agronomica Sin*(作物学报), **28**(1):94—98
- Johnson GN, Young AJ, Scholes JD. 1993. The dissipation of excitation energy in British plant species[J]. *Plant Cell Environ*, **16**:673—679
- Li S(李松), Zhu JJ(朱俊杰), Zeng H(曾慧). 2005. Effect of Huangfu acid on sugarcane(黄腐酸在甘蔗生产试验后效研究初报)[J]. *Guangxi Sugarcane Cane Sugar*(广西蔗糖), (3):16—17
- Luo J(罗俊), Zhang MQ(张木清), Lin YQ(林彦铨). 1999. Chloroplast fluorescence parameters, MDA content and plasma membrane permeability in sugarcane and their relation to drought tolerance(甘蔗叶绿素荧光参数、MDA含量及质膜透性与耐旱性的关系)[J]. *J Fujian Agric Univ*(福建农业大学学报), **28**(3):257—262
- Scheiber U, Biger W, Hormann H, et al. 1998. Chlorophyll fluorescence as a diagnostic tool; Basis and some aspect of practical relevance[C]//Reghavendra AS(ed). *Photosynthesis: A comprehensive Treatise*. Cambridge University Press, 320—336
- Shi SQ(史胜青), Yan YX(袁玉欣), Yang MS(杨敏生). 2004. Effects of water stress on photochemical quenching and non-photochemical quenching of chlorophyll a fluorescence in four tree seedlings(水分胁迫对4种苗木叶绿素荧光的光化学猝灭和非光化学猝灭的影响)[J]. *Sci Silv Sin*(林业科学)(1):168—173
- Zhang SR(张守仁). 1999. A discussion on chlorophyll fluorescence kinetic parameters and their significance(叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论)[J]. *Chin Bull Bot*(植物学报), **16**(4):444—448

(上接第465页 Continue from page 465)

- 系科的分析)[J]. *J Northwest Norm Univ(Nat Sci)*(西北师范大学学报·自然科学), **41**(2):58—65
- Chen XL(陈学林), Qi PC(戚鹏程). 2006. Vertical differentiation of wild plants in Baishuijiang National Nature Reserve(白水江国家级自然保护区野生资源植物的垂直分析研究)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报), **26**(5):1 014—1 020
- Chen XL(陈学林), Tian F(田方), Qi PC(戚鹏程). 2007a. Analysis on genera of flora in Baishuijiang National Reserve in Gansu Province(甘肃白水江国家级自然保护区植物区系属的整体分析)[J]. *J Northwest Normal Univ(Nat Sci)*(西北师范大学学报·自然科学), **43**(2):64—71
- Chen XL(陈学林), Yang X(杨霞), Qi PC(戚鹏程), et al. 2007b. The species of flora in Baishuijiang National Reserve in Gansu Province(甘肃白水江国家级自然保护区植物区系种的整体分析)[J]. *J Northwest Norm Univ(Nat Sci)*(西北师范大学学报·自然科学), **43**(5):83—89
- Cui Y(崔艳), Qi PC(戚鹏程), Chen XL(陈学林). 2006. A study on vertical distribution and protection of rare plants in Baishuijiang National Reserve, Gansu(甘肃白水江国家级自然保护区珍稀植物的垂直分布及其保护)[J]. *Guihaia*(广西植物), **26**(6):660—664
- Sun GJ(孙国钧), Feng HY(冯虎元). 1998. The analysis of flora characteristics of Baishuijiang Sanctuary in Gansu(白水江自然保护区植被区系特征分析)[J]. *J Lanzhou Univ(Nat Sci)*(兰州大学学报·自然科学), **34**(2):92—97
- Shen ZH(沈泽昊), Liu ZL(刘增力), Wu J(伍杰). 2004. Altitudinal pattern of flora on the eastern slope of Mt. Gongga(贡嘎山东坡植物区系的垂直分布格局)[J]. *J Chin diversity*(生物多样性), **12**(1):89—98
- Wu ZY(吴征镒), Lu AM(路安民), Tang YC(汤彦承), et al. 2002. Synopsis of a new "polyphyletic-polychronic-polytopic" system of the angiosperms(被子植物的一个“多系—多期—多域”新分类系统总览)[J]. *Acta Phytotax Sin*(植物分类学报), **40**(4):289—322
- Zhang QW(张秦伟). 2002. Study on the north temperate of the seed plant in Qinling Mt(秦岭种子植物区系中的北温带区系成分研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **22**(1):19—28