

中国芒幼苗对土壤干旱胁迫的生理响应

何森, 高耀辉, 徐鹏飞, 赵保成, 李海芯, 李强* (东北林业大学园林学院, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要 [目的]探讨中国芒幼苗对土壤干旱胁迫的生理响应。[方法]以中国芒幼苗为试验材料, 对其在土壤干旱胁迫及复水条件下的生理特性进行了研究。[结果]轻度土壤干旱胁迫(处理1, 10 d后复水)在胁迫初期, 各指标均呈逐渐升高的趋势, 复水后各指标与CK保持相对稳定; 中度土壤干旱胁迫(处理2, 15 d后复水)在胁迫初期, 各指标显著升高, 复水后, MDA、相对电导率、APX、GR均有所回升, SOD、POD、CAT、ASA、GSH降低速度变缓, 但仍显著高于CK组; 重度干旱胁迫(处理3, 持续干旱胁迫)在胁迫处理初期, 各指标显著升高, 干旱胁迫后期, MDA、相对电导率继续升高, SOD、POD、CAT、APX、GR、ASA、GSH急剧下降, 并显著低于CK。[结论]芒幼苗忍受土壤干旱胁迫的极限时间是20 d, 最佳复水时间是10~15 d。

关键词 中国芒; 干旱胁迫; 生理特性

中图分类号 S311 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)30-12125-04

Physiological Responses of *Miscanthus sinensis* Seedlings to Soil Drought Stress

HE Miao et al (School of Landscape Architecture, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040)

Abstract [Objective] The study aimed to discuss the physiological responses of *Miscanthus sinensis* seedlings to soil drought stress. [Method] The effect of soil drought stress on physiological properties of *M. sinensis* was studied. [Result] All indexes of *M. sinensis* rose at the earlier stage of light drought stress and recovered to a similar level of the control after *M. sinensis* seedlings were watered; at the earlier stage of moderate drought stress, all indexes of *M. sinensis* increased significantly, but MDA, relative conductivity, APX and GR activity recovered after the seedlings were watered, while SOD, POD, CAT, ASA and GSH decreased more slowly; at the earlier stage of severe drought stress, all indexes of *M. sinensis* enhanced significantly, but at the later stage of severe drought stress, MDA and relative conductivity continued to rise, SOD, POD, CAT, APX, GR, ASA and GSH decreased significantly and lower than those of CK. [Conclusion] The limit time of *M. sinensis* seedlings standing drought stress was 20 d, and the best watering time was 10-15 d.

Key words *Miscanthus sinensis*; Drought stress; Physiological property

我国是一个淡水资源严重不足的国家, 在我国广大的西北地区, 干旱已经严重制约了农业和畜牧业的发展, 而世界上1/3以上的耕地处于干旱或半干旱的状态, 干旱已经成人类研究的共同课题^[1]。干旱胁迫不仅对植物的外部形态结构有重要影响, 而且严重制约了植物的个体发育, 如在生殖生长时期的干旱会造成胚囊败育, 雄花发育迟缓, 从而影响作物产量^[2]。中国芒是禾本科黍亚科多年生C₄草本植物, 是最具有潜力的9种能源植物之一^[3], 早期常被用作装饰花园、饲草和房屋遮盖等用途^[4-5]。21世纪初期, Salvatore和Heaton等^[6-7]的研究一致认为, 芒较其他植物具有燃烧高热值; 袁振宏等^[8]认为, 芒是纤维质燃料乙醇的优质原材料。此外, 芒作为一类新兴的观赏草类, 在城市园林绿化中发挥着越来越重要的作用。因此, 对中国芒的干旱胁迫的研究势在必行, 旨在确定中国芒幼苗对水分条件的适应范围, 丰富芒抗旱性的理论资料, 为其在农业生产和城市绿化中的水分管理提供理论指导。

1 材料与与方法

1.1 试验材料 中国芒种子于2011年11月上旬采集于辽宁省本溪市阿家岭(41°22.803' N, 121°21.410' E), 于2012年2月在东北林大新逸夫楼光照培养箱内穴盘育苗, 2012年5月移栽培养, 于8月份移至新逸夫楼准备试验。

1.2 试验设计 在培养了6个月的芒草幼苗中, 选择长势

健壮、均匀一致、无病虫害的幼苗栽植于水分含量一致的培养基质中(壤土: 河沙: 蛭石=3: 1: 1)。试验设4个处理: 对照组(CK)正常浇水; 处理1干旱胁迫10 d后开始浇水; 处理2干旱胁迫15 d后开始浇水; 处理3为持续干旱组, 干旱胁迫中一直不浇水。试验开始后, 每隔5 d观察芒幼苗的情况, 并采集样品测定各指标。

1.3 指标测定及方法

1.3.1 质膜透性及丙二醛含量的测定。质膜透性采用电导仪法^[9], MDA(丙二醛)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定^[10]。

1.3.2 抗氧化酶活性的测定。超氧化物歧化酶(SOD)活力采用氮蓝四唑(NBT)法测定, 参照Giannopolitis等^[11](1977年)的方法; 过氧化物酶(POD)测定采用愈创木酚法, 参照1983年Egley等^[12]的方法测定; 过氧化氢酶(CAT)酶活性的测定参照Kato等^[13](1987年)的方法测定。

1.3.3 ASA-GSH循环体系中APX与GR活性测定。APX活性参照Nakano^[14]的方法测定; GR活性测定参照Grace^[15]的方法。

1.3.4 非酶抗氧化物(ASA与GSH)含量测定。ASA含量测定参照Hodges等^[16]的方法; GSH含量的测定参照Griffith^[17]的方法。

1.4 数据处理 试验数据采用SPSS 13.0进行统计学分析, 利用excel2003进行作图。

2 结果与分析

2.1 土壤干旱胁迫对中国芒幼苗丙二醛含量与相对电导率的影响 由图1可知, 在土壤干旱胁迫第10天之前, 随着胁迫时间的延长, 各处理MDA含量和相对电导率都有所增加,

基金项目 中央高校基本科研业务费专项资金项目(DLI2CA11)。
作者简介 何森(1975-), 女, 满族, 辽宁本溪人, 副教授, 博士, 从事园林植物的栽培和抗性育种等方面的研究。*通讯作者。
收稿日期 2013-09-27

但与CK差异性不显著($P>0.05$);处理1在第10天后复水,MDA含量和相对电导率与CK保持相对稳定,说明此时的干旱胁迫没有对中国芒幼苗造成干旱胁迫,中国芒幼苗可以忍受10 d以上的土壤干旱胁迫;处理2在10 d后,MDA含量和相对电导率显著升高,并在第15天与CK差异性显著($P<0.05$),复水后,MDA显著降低,但仍显著高于CK,此时中国

芒体内丙二醛含量积累过多,芒幼苗脂质过氧化程度加深,质膜透性受到一定影响;处理3(持续干旱)10 d后MDA和相对电导率显著升高,中国芒幼苗在第20天时枯萎死亡,这说明芒幼苗忍受土壤干旱胁迫的极限时间是20 d,最佳复水时间是10~15 d。

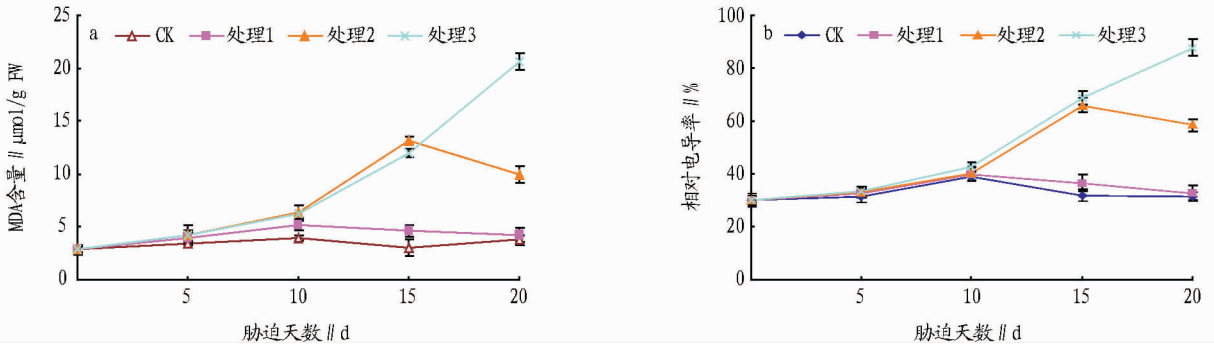


图1 土壤干旱胁迫对中国芒幼苗丙二醛含量及相对电导率的影响

2.2 土壤干旱胁迫对中国芒幼苗抗氧化酶体系的影响 干旱胁迫条件下,植物体内会产生大量的活性氧,导致质膜过氧化,膜体系受损,甚至会使植物死亡。而SOD是清除植物体内活性氧的第一道防线,是酶系统中的核心,它可以负

氧离子歧化成过氧化氢,而POD和CAT是清除植物体内过氧化氢的最重要的酶,是植物体内活性氧清除系统的第二道防线,SOD、POD和CAT共同构成了植物的活性氧清除系统。

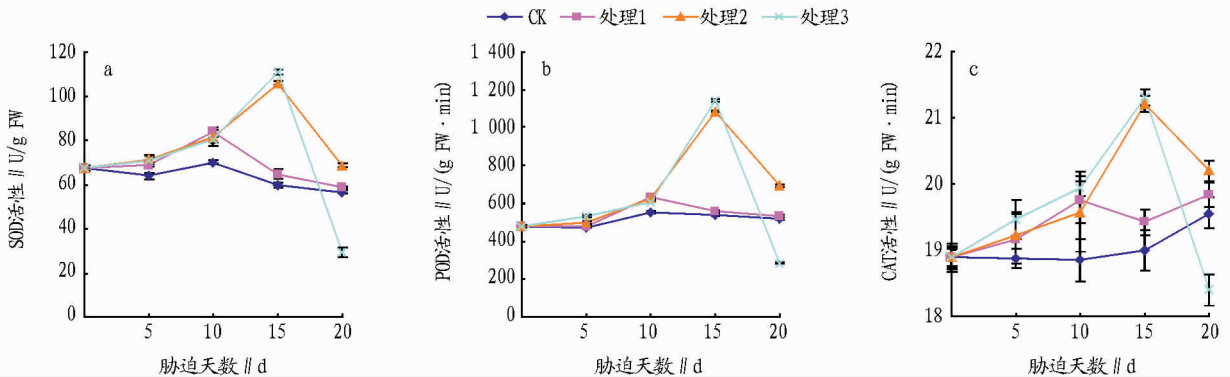


图2 土壤干旱胁迫对中国芒幼苗叶片SOD、POD、CAT活性的影响

2.2.1 SOD活性。由图2a可知,在土壤干旱胁迫前10 d,各处理SOD活性随着胁迫天数的增加逐渐升高,并与CK差异性显著。处理1复水后,SOD活性迅速回到CK对照组的正常水平,这说明10 d的土壤干旱胁迫对芒幼苗没有造成明显的损伤;处理2(15 d后复水)复水后,SOD活性也迅速降低,但在20 d时仍显著高于CK,说明此时的土壤干旱胁迫对芒幼苗造成了一定程度的伤害,需要一定时间恢复才能达到正常水平,此时,15 d的土壤干旱胁迫没有对芒幼苗造成不可逆的伤害;处理3在第15天后SOD活性迅速降低,并在第20天时显著低于CK。

2.2.2 POD活性。在干旱胁迫第5天时,各处理POD活性与CK差异性不显著;第10天时,各处理组POD活性开始升高,并与CK差异性显著(图2b)。处理1复水后,POD活性开始下降,并与CK保持相对稳定;处理2在第10天后POD活性开始急剧升高,这与土壤干旱胁迫程度的加深有关,15 d

复水后活性开始下降,但在第20天时仍显著高于CK;处理3在第15天时达到最大值,然后开始急剧下降,并显著低于CK,这说明芒幼苗已经达到了土壤干旱的极限。

2.2.3 CAT活性。由图2c可知,在干旱胁迫过程中,CK组CAT活性基本保持相对稳定,而在干旱胁迫10 d前,各处理CAT活性都有所增加,并与CK差异性显著,说明在干旱胁迫初期,植物体内过氧化氢含量过高,CAT活性也逐渐升高。处理1和处理2在复水之后,CAT活性下降,并与CK保持相对稳定;处理3在干旱胁迫第15天达到最大值,然后急速下降,并在第20天时与CK差异性显著。

2.3 土壤干旱胁迫对中国芒幼苗ASA-GSH循环中酶体系的影响 APX和GR是ASA-GSH循环中最重要的两个酶,它们与POD和CAT协同完成植物体内过氧化氢的清除,同时完成ASA和GSH的再生。因此,研究ASA-GSH循环代谢中酶活性对解释植物抗旱机制和抗氧化方面有重要作用。

由图3可知,APX活性与GR活性的变化趋势大致相同。随着胁迫时间的延长,CK组APX与GR活性除在第5天时有小幅下降之外,变化不大。各干旱胁迫处理都是在10d时达到最大值,且此时与CK差异性极显著($P < 0.01$)。处理1在第10天复水后缓慢下降,并在第20天时达到与对照组相

似水平;处理2和处理3在第10天后迅速下降,处理2在第15天复水后,APX活性开始升高,但在第20天时仍与CK差异性显著,说明此时芒幼苗所受到的干旱胁迫较深,复水5d后仍没有恢复到胁迫之前的水平;处理3在第15天后继续下降,直至芒幼苗干枯死亡。

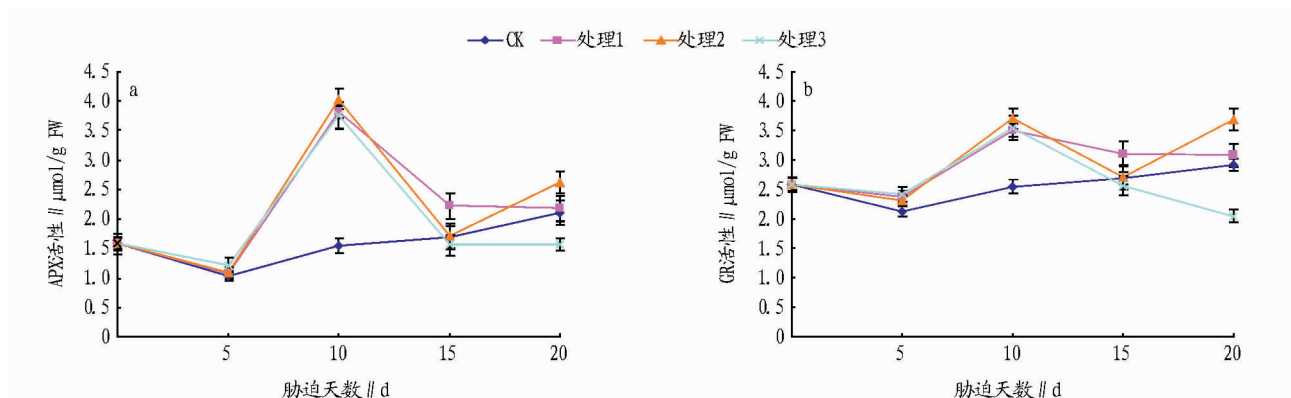


图3 土壤干旱胁迫对中国芒幼苗叶片APX、GR活性的影响

2.4 土壤干旱胁迫对中国芒幼苗非酶抗氧化物质含量的影响

2.4.1 ASA含量。由图4a可知,CK组ASA的含量基本稳定,维持在 $26.74 \sim 29.54 \mu\text{mol/g}$,而各处理都呈现先升高后降低的趋势。各处理在干旱胁迫初就开始升高,并在第5天迅速升高,处理1在第10天后达到最大值 $39.02 \mu\text{mol/g}$;复水后ASA含量迅速降低,并迅速恢复到与对照组相应的水平,说明第10天复水后,芒幼苗可以通过各种机制调节使幼苗迅速恢复到原来的水平;处理2、3的ASA含量在10d后继续升高,处理3在第15天开始迅速下降直至显著低于对照组的;而处理2在第15天复水后,ASA含量开始缓慢降

低,但在第20天时仍显著高于对照组,说明此时的幼苗仍然受到较高度度的干旱胁迫。

2.4.2 GSH含量。图4b可知,各处理随着干旱胁迫时间增加,胁迫程度加深,GSH的含量先升高后降低。处理1在第10天时达到最大值,之后开始复水,GSH含量开始降低,并迅速恢复到对照组的水平;处理2和处理3在第10天后继续升高,并在第15天时达到最大值,分别为 $3.87/3.96 \mu\text{mol/g}$ 。随后,处理3继续干旱胁迫,GSH的含量迅速降低,并显著低于对照水平;处理2在第15天后开始复水,GSH含量开始缓慢下降,但此时仍显著高于对照组。

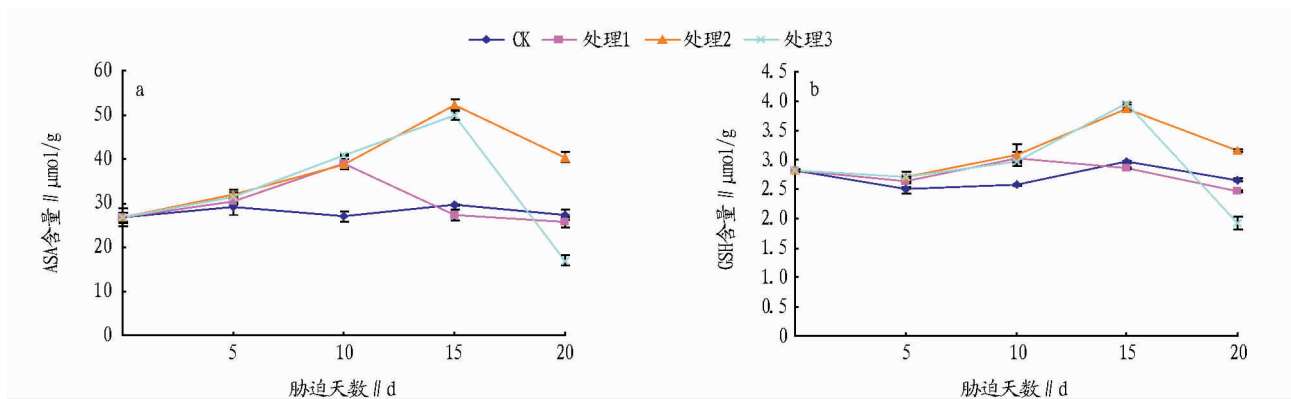


图4 土壤干旱胁迫对中国芒幼苗叶片ASA、GSH含量的影响

3 结论与讨论

当植物体遭受外界不良环境(干旱、盐碱、寒冷)时,植物体活性氧代谢发生紊乱,造成质膜过氧化,膜系统遭到破坏,从而造成细胞渗透势升高,细胞失水,植物水分代谢失衡^[18]。MDA和相对电导率分别是衡量质膜过氧化程度与膜系统稳定性的重要指标^[19],孟健男等^[20]的研究表明,在逆境条件下,质膜透性与质膜过氧化程度有关。在该研究中,中国芒幼苗在土壤干旱胁迫条件下,MDA含量和相对电导率

随着胁迫时间的延长逐渐升高,说明干旱胁迫导致中国芒幼苗质膜过氧化,随着胁迫时间的增加,质膜过氧化程度在加深;复水后,中轻度干旱胁迫(处理1和2)MDA和相对电导率降低,说明中轻度干旱胁迫对中国芒幼苗的损害是可逆的,复水一定时间后中国芒幼苗又能恢复到对照组水平,不同的干旱胁迫程度,其相应的恢复时间也不相同;而重度干旱胁迫(持续干旱胁迫20d)MDA和相对电导率持续升高并极显著高于CK,说明此时中国芒幼苗质膜过氧化程度严重,

膜系统遭到严重损坏。

在抗氧化酶体系中,SOD 是清除植物体内活性氧的第一道防线,是酶系统中的核心^[21],它可以将负氧离子歧化成 H_2O_2 ,而 H_2O_2 在植物体内大量积累仍会对植物体造成伤害,POD、CAT 是清除过氧化物最主要的酶,是植物体活性氧清除系统的第二道防线。一般情况下,SOD 的活性跟植物体抗氧化能力呈正相关,轻度干旱胁迫初期,SOD 活性开始升高,重度干旱胁迫或胁迫时间过长时,SOD 活性呈现下降的趋势^[22],这与该研究的结果相一致。王宝山等^[23]在研究小麦幼苗膜质过氧化中发现,在轻度和重度干旱胁迫条件下,抗旱品种的小麦 POD、CAT 活性都呈上升趋势,并且抗旱品种的比不抗旱品种上升的快。蒋明义等^[24]的研究结果表明,在重度胁迫条件下,抗旱品种的 POD 活性先升高后降低,不抗旱品种逐渐降低,研究结果不尽相同,这可能与植物材料的种类及抗旱的敏感程度有关。该研究中发现,随着过氧化程度的加深,SOD、POD、CAT 活性升高,清除植物体内过多的活性氧及过氧化物,使植物免受伤害。复水后,中轻度干旱胁迫 SOD、POD、CAT 活性降低,说明中轻度干旱胁迫在复水后,可以通过保护酶、渗透等调节,降低中国芒幼苗的质膜过氧化程度和质膜的损坏程度,从而减弱了干旱胁迫对中国芒幼苗造成的影响;重度干旱胁迫(持续干旱胁迫)下,中国芒幼苗在第 20 天时枯萎死亡,说明中国芒幼苗忍受干旱胁迫的极限时间为 20 d。

目前,对 ASA-GSH 循环体系的研究较少。在 ASA-GSH 循环中,GR 可以协同 APX 完成叶绿体中 H_2O_2 的清除,是活性氧清除第二道防线的一部分。一般来说,耐旱植物比不耐旱植物有较强的抗旱能力,这取决于植物体 APX、GR 的活性。Pastori 等^[25]的研究结果表明,干旱胁迫条件下,玉米耐旱品种 GR、APX 活性显著升高,不抗旱的品种下降。但也有其他的研究结果表明^[26],干旱胁迫条件下,小麦、水稻的 GR、APX 活性无增大趋势,大豆、甘蔗等先升高后降低。ASA-GSH 循环中,ASA 不仅是植物细胞内重要的抗氧化剂,而且可以协助其他的抗氧化剂(如叶绿体膜上的类胡萝卜素、维生素等),防止质膜过氧化;GSH 是一种多功能多肽,可以作为抗氧化酶的底物,通过酶催化反应以达到清除 H_2O_2 的目的。Shao 等^[27]的研究结果表明,在干旱胁迫胁迫条件下,草坪草中 ASA 与 GSH 含量显著增加。也有研究表明,在重度干旱胁迫下,随着胁迫时间的延长,小麦和水稻叶片中 ASA 含量显著降低,严重破坏了抗氧化系统的平衡,目前对于 ASA 与 GSH 的功能还有待进一步研究。该研究中发现,在胁迫初期,APX、GR 活性小幅度下降,ASA 与 GSH 含量变化不大,随着胁迫时间增加,APX、GR 活性先升高后降低,ASA 与 GSH 含量逐渐升高;复水后,中轻度干旱胁迫下,APX、GR 活性开始回升,ASA 与 GSH 含量开始缓慢降低,这可能与 APX 和 GR 协同完成 H_2O_2 的清除有关;重度干旱胁迫(持续干旱胁迫)APX、GR 活性继续降低,ASA 与 GSH 含量开始急剧降低,这可能与此时的干旱胁迫对中国芒幼苗造成不可逆的损害有关。

综上所述,在土壤干旱胁迫条件下,芒幼苗通过增加 SOD、POD、CAT、APX、GR 酶的活性以及 ASA、GSH 的含量,共同抵抗氧化胁迫所造成的伤害。中国芒幼苗能够抵抗中轻度的土壤干旱胁迫,中国芒成苗能够抵抗比幼苗更高的干旱胁迫,可以在城市园林绿化中大量应用,以丰富城市地被植物的多样性,同时也可以为农业生产提供一定的理论依据,为以后植物—能源转换奠定基础,为新能源的开发及利用开辟了新的方向。

参考文献

- [1] MUNNS R, TESTER M. Mechanisms of salinity tolerance [J]. Annual Review of Plant Biology, 2008, 59: 651 - 681.
- [2] 关军峰, 马春红, 李广敏. 干旱胁迫下小麦根冠比生物量变化及其抗旱性的关系[J]. 河北农业大学学报, 2004, 27(1): 1 - 5.
- [3] LEWANDOWSKIA I, SCURLOCK J M O, LINDVALL E, et al. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in US and Europe [J]. Biomass and Bioenergy, 2003, 25(4): 335 - 361.
- [4] BRANSBY D I, ALLEN D J, GUTTERSON N, et al. Engineering advantages, challenges and status of grass energy crops [J]. Plant Biotechnology for Sustainable Production of Energy and Co-products, 2000, 19(4): 209 - 227.
- [5] HUBER G W, CHHEDA J N, BARRETT C J, et al. Production of liquid alkanes by aqueous-phase processing of biomass-derived carbohydrates [J]. Science, 2005, 308(5727): 1146 - 1450.
- [6] SALVATORE COLLURA, BRUNO AZAMBRE, GISELE FINQUENEISEL, et al. Miscanthus × Giganteus straw and pellets as sustainable fuels-Combustion and emission tests [J]. Environmental Chemistry Letters, 2006, 4(2): 75 - 78.
- [7] HEATON E, VOIGT T, LONG S P. A quantitative review comparing the yields of two candidate C-4 perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature and water [J]. Biomass and Bioenergy, 2004, 27(1): 21 - 30.
- [8] 席庆国, 洪浩. 外来植物奇岗的生物学特性[J]. 草业科学, 2008, 25(2): 26 - 28.
- [9] 郝再斌, 苍晶, 徐仲. 植物生理试验[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 22 - 108.
- [10] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 184 - 263.
- [11] GIANNOPOLITIS C N, RIES S K. Superoxide dismutases. I. Occurrence in higher plants [J]. Plant Physiol, 1977, 54: 309 - 314.
- [12] EGLEY G H, PAUL R N, VAUGHN K C, et al. Role of peroxidase in the development of water-impermeable seed coats in *Sida spinosa* L [J]. Planta, 1983, 157: 224 - 232.
- [13] KATO M, SHIMIZU S. Chlorophyll metabolism in higher plants. Chlorophyll degradation in senescing tobacco leaves, phenolic-dependent peroxidative degradation [J]. Can J Bot, 1987, 65: 729 - 735.
- [14] NAKANO Y, ASADA K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts [J]. Plant Cell Physiol, 1981, 22: 867 - 880.
- [15] GRACE S C, LOGAN B A. Acclimation of foliar antioxidant systems to growth irradiance in three broad-leaved evergreen species [J]. Plant Physiol, 1996, 112: 1631 - 1640.
- [16] HODGES D M, ANDREWS C J, JOHNSON D A, et al. Antioxidant compound responses to chilling stress in differentially sensitive inbred maize lines [J]. Plant Physiol, 1996, 98: 685 - 692.
- [17] GRIFFITH O W. Determination of glutathione and glutathione disulfide using glutathione reductase and 2-vinylpyridine [J]. Anal Biochem, 1980, 106: 207 - 212.
- [18] 田敏, 饶龙兵, 李纪元. 植物细胞中的活性氧及其生理作用[J]. 植物生理学通讯, 2005(2): 235 - 241.
- [19] NAYYAR H, GUPTA D. Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants [J]. Environmental and Experimental Botany, 2006, 58(1/3): 106 - 1113.
- [20] 孟健男, 于晶, 苍晶, 等. PEG 胁迫对两种冬小麦苗期抗旱生理特性的影响[J]. 东北林业大学学报, 2011, 42(1): 40 - 44.
- [21] SCANDALIOS J G. Oxygen stress and superoxide dismutases [J]. Plant Physiol, 1993, 101: 7 - 12.

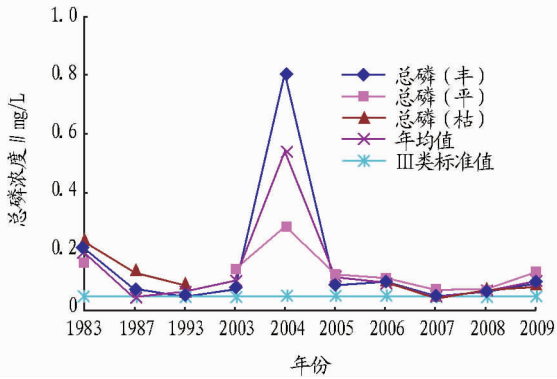


图2 1983~2009年湖区总磷浓度变化

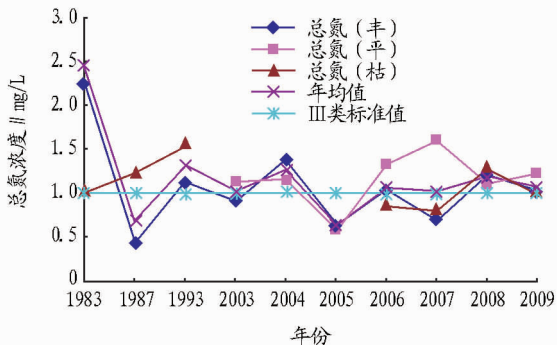


图3 1983~2009年湖区总氮浓度变化

江西省 97% 的径流,只有实行污染源的控制,才能“以源控江,以江保湖”。江西省已以分区分质对河流无人能进行治理和控制,在此基础上,应进一步严格实行总量控制。对鄱阳湖、赣江周围的高污染产业如造纸厂、矿厂、棉纺织印染厂进行重点治理,严格控制污水排放及污水处理环节;加强矿区环境治理,废水循环利用,综合回收废水中有用物质,变废为宝,减少废水排放量。对生活污水排放同样加大管制力度,鄱阳湖保护区范围内原则上不允许进行新城镇建设,如一定要新建生活区域、必须配套污水处理厂,并加大污水再生利用和污泥处置设施建设,确保出水水质达到国家排放标准。另外,积极实施排水管网雨污分流体系,从源头上遏制住污染源。

4.2 对面源污染加以控制 从大环境的角度下,应建设鄱阳湖流域内生态林工程,提高森林覆盖率,以防止水土流失带来的面源污染;化肥和农药的用量严加控制。根据当地的土地特点和农作物对营养物质的需求,合理安排施肥量、施肥方式和施肥时间。尽量使药物施用量能全部被农作物吸收而不会流入河中造成污染,扩大以有机肥生产和使用为重点的生态农业建设。保护区范围内要因地制宜开展农村污

水、垃圾污染治理,有条件的小城镇和规模较大的村庄应建设污水处理设施。尤其要注意对鄱阳湖核心区域的面源污染控制,对最高水线外 3 km 范围内严格禁止水稻种植、花卉培育等施肥量大的农业活动,对当地农民积极宣传,严禁施用高毒、高残留农药,尽可能减少对水域的污染。

4.3 加强沿湖和湖内污染防治 应科学规划鄱阳湖及其他重要湖泊周边旅游业,防止超环境容量过度发展。湖泊周边度假村、旅游宾馆饭店安装污水处置设施,并确保达标排放。所有入湖机动船舶都按标准配备相应防污设备和污染物集中收集、存储设施,船舶集中停泊区域要设置污染物自净能力。优先实施湖泊湿地保护和恢复工程,杜绝围湖造田、围湖养殖等缩小湖泊水面的行为。通过放养滤食鱼类、底栖生物移植等生物控制措施修复水域生态系统^[8]。同时,对沿湖的生态建设要统一规划,积极利用市场手段引导水源涵养林等生态隔离带的建设。

4.4 大力加强科技攻关 政府组织鄱阳湖及其他重要湖泊湿地生态环境综合科学考察,积极开展水资源承载力、工农业污染源、流域污染综合治理等研究。强化技术在水污染防治中的作用,开展对湖泊富营养化形成和消除机理、藻类生长和暴发规律的研究,尤其要重视生态技术的运用,对水体自然修复、水库消落带保护等方面的关键技术要重点支持,强化科技支撑能力^[9]。开展重点湖泊生态安全评估。对工业重点污染源以及农业面源污染要专人负责,并积极开展产学研合作,确保水污染防治关键技术能够得到应用。鄱阳湖管理机构要全面推进湖泊环保标准研究和修订工作,对重点水利枢纽工程加强技术攻关,确保对湖面及周围环境影响降到最低。

参考文献

- [1] 朱海虹,张本. 鄱阳湖:水文·生物·沉积·湿地·开发整治[M].合肥:中国科学技术大学出版社,1997:125-128.
- [2] 李博之. 鄱阳湖水体污染现状与水质预测、规划研究[J]. 长江流域资源与环境,1996,5(1):60-66.
- [3] 王毛兰,周文斌,胡春华. 鄱阳湖区水体氮、磷污染状况分析[J]. 湖泊科学,2008,20(3):334-338.
- [4] 吴兰,葛刚,龚世杰,等. 鄱阳湖水体细菌群落组成及遗传多样性[J]. 环境科学研究,2009,22(10):1145-1149.
- [5] 刘倩纯,胡雅,葛刚,等. 鄱阳湖枯水期水体营养浓度及重金属含量分布研究[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(10):1230-1235.
- [6] 程时. 鄱阳湖候鸟保护区自然特征[J]. 江西水利科技,1995,21(1):1-3.
- [7] 郑炳辉. 鄱阳湖水利枢纽工程对鄱阳湖水质影响及对策研究[R]. 江西:中国环境科学研究院,2010:29-30.
- [8] 张小兵,张洁,计勇,等. 鄱阳湖区农业面源污染现状与对策措施[J]. 亚热带水土保持,2006,18(4):12-14.
- [9] 孙晓山. 加强流域综合管理确保鄱阳湖一湖清水[J]. 江西水利科技,2009,35(6):91-92.

(上接第 12128 页)

- [22] 蒋明义,杨文英,徐江,等. 渗透胁迫诱导水稻幼苗的氧化伤害[J]. 作物学报,1994,20(4):733-738.
- [23] 王宝山,赵思齐. 干旱胁迫对小麦幼苗膜质过氧化及保护酶的影响[J]. 山东师范大学学报,1987,2(11):29-39.
- [24] 蒋明义,荆家海,王韶唐. 渗透胁迫对水稻幼苗膜质过氧化及体内保护系统的影响[J]. 植物生理学报,1991,17(2):80-84.

- [25] PASTORI G M,TRIPPI V S. Cross resistance between water and oxidative stress in wheat leaves[J]. Agriscic,1993,120:289-294.
- [26] 陈立松,刘星辉. 水分胁迫对龙眼幼苗叶片膜质过氧化及内源保护体系的影响[J]. 武汉植物学研究,1999,17(2):105-109.
- [27] SHAO H B,CHEN X Y,CHU L Y,et al. Investigation on the relationship of proline with wheat anti-drought under soil water deficits[J]. Biointerfaces,2006,53(2):113-119.