

干旱胁迫下 5 个烤烟品种的生理指标变化及抗旱性比较

杨华应, 刘桂虎, 周应兵*, 李廷春* (安徽省农业科学院烟草研究所, 安徽合肥 230031)

摘要 [目的]比较 5 个烤烟品种的抗旱性。[方法]选用 5 个烤烟品种(安烟 2 号、K326、云烟 97、中烟 100、中烟 14),采用漂浮育苗技术育苗,在苗期 5 叶期进行干旱胁迫处理,并对与抗旱性相关的部分生理指标进行了测定。[结果]相同的干旱胁迫条件下,某些烤烟品种对干旱的敏感程度和忍耐力存在显著差异,安烟 2 号和中烟 14 的抗旱性相近,属抗旱性较强的品种,云烟 97 和中烟 100 次之,K326 的抗旱性最弱。[结论]该研究结果可为干旱地区烤烟主栽品种的选择提供参考。

关键词 烤烟品种;干旱胁迫;抗旱性;生理指标

中图分类号 S501 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)13-0020-04

Physiological Changes and Drought Resistance Comparison of 5 Flue-cured Tobacco Cultivars under Drought Stress

YANG Hua-ying, LIU Gui-hu, ZHOU Ying-bing*, LI Ting-chun* (Tobacco Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, Anhui 230031)

Abstract [Objective] To study the drought resistance of 5 flue-cured tobacco cultivars. [Method] Five flue-cured tobacco cultivars were selected and cultured by using floating seedling-raising technology. And they were treated with drought stress at 5-leaf period of seedling. And some physiological indices related with drought resistance were determined. [Result] Under the same conditions of drought stress, the sensitivity and tolerance of some flue-cured tobacco cultivars to drought had significant difference. The drought resistance of Anyan 2 and Zhongyan 14 was similar, belonging to flue-cured tobacco cultivars with stronger drought resistance. The drought resistance of Yunyan 97 and Zhongyan 100 followed by, and the drought resistance of K326 was the most worst. [Conclusion] The results can provide reference for selecting main varieties of flue-cured tobacco in arid areas.

Key words Flue-cured tobacco; Drought stress; Drought resistance; Physiological index

烤烟是我国重要的经济作物之一,整个生育期对水分的要求高。筛选鉴定抗旱的种质是目前选育优良抗旱品种的前提,为此研究者们也开展了烤烟抗旱性研究以及抗旱品种筛选工作。汪耀富等^[1]研究表明,丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)与过氧化氢酶(CAT)均可作为烟草品种抗旱性的衡量指标之一。上述指标对干旱胁迫的反应都很敏感,而干旱对烟株的伤害可能与其体内活性氧代谢失调有关。

尹福强^[2]采用盆栽试验研究了干旱处理对不同品种烟草植株的理化指标的影响,结果表明,干旱处理后,CAT活性和MDA含量显著增加,脯氨酸(Pro)含量迅速积累,抗旱品种的SOD活性先迅速升高然后逐渐下降,非抗旱品种的SOD则在干旱处理期间缓慢上升。笔者以新育成的烤烟品种(安烟2号)、生产上3个烤烟主栽品种(K326、云烟97、中烟100)和1个抗旱对照品种(中烟14)为材料进行苗期的干旱胁迫,通过测定未干旱处理的正常对照和干旱胁迫后的光能利用效率参数、光合作用参数、脯氨酸含量、丙二醛含量以及抗氧化系统酶活性等生理生化指标,分析干旱胁迫对不同烤烟品种生理生化指标的影响,探讨烤烟主栽品种的抗旱性差异,旨在为干旱地区烤烟主栽品种的选择、推广提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试烤烟品种共 5 个,分别为安烟 2 号、K326、云烟 97、中烟 100、中烟 14。其中 K326、云烟 97 和中烟 100 均为目前生产上的主栽品种之一,中烟 14 是目前抗旱研究试验和烤烟生产中均得到公认的抗旱烤烟品种^[3]。

育苗盘为 187 孔泡沫漂浮育苗盘,育苗基质为湖南省湘晖农业技术开发有限公司生产的湘正农牌烟草漂浮育苗专用基质。

1.2 试验设计 采用塑料大棚漂浮育苗技术,进行播种、育苗,待烟苗长至 5 片真叶时,将育苗盘从育苗池中取出进行连续自然干旱处理,采用托普土壤水分测定仪(TZS-1)监测基质中含水量,待基质含水量为 45%~50%时,测定烟苗倒 3 叶叶绿素荧光参数与光合作用参数,然后取下叶片放置冰箱-20℃下保存,用于测定抗氧化酶活性、丙二醛含量与脯氨酸含量。试验重复 3 次,以正常漂浮培养的烟苗作为对照。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶绿素荧光参数。用德国 WALZ 公司生产的 PAM-2500 便携式脉冲调制式荧光测定仪,设定饱和和脉冲时间长 800 ms,脉冲频率为 20 s,脉冲光强 3 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,测量光强 100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,作用光强为 150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的条件下,测定烟草幼苗叶绿素荧光参数。待暗适应 15 min 后,初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、光系统 II(PS II)最大光化学效率(F_v/F_m)在慢诱导模式启动初始,打开测量光与饱和脉冲光强时测定。

1.3.2 光合参数。采用美国 LI-COR 公司生产的 Li-6400 光合测定仪,以开放式气路,设定光强为 1 400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,大气 CO_2 浓度在 390 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 左右,温度为 28℃,在上午测定烟苗的净光合速率(Net photosynthetic rate, P_n)、气孔导度(Stomatal conductance, Cond)、蒸腾速率(Transpiration rate,

基金项目 中国烟草总公司科技重点项目(110201102002);安徽省烟草公司科技项目(20140551-003);江西省赣州市烟草公司科技项目。

作者简介 杨华应(1978—),男,安徽桐城人,助理研究员,硕士,从事烟草遗传育种研究。*通讯作者:李廷春,副研究员,博士,从事烟草和玉米遗传育种及分子生物学研究;周应兵,研究员,硕士,从事烟草和玉米遗传育种研究。

收稿日期 2017-03-17

Tr)。每个处理取 3 片完全伸展的叶片进行测定。

1.3.3 脯氨酸含量、丙二醛含量与抗氧化系统酶活性。脯氨酸(Pro)与丙二醛(MDA)含量、SOD、POD 与 CAT 酶活性均采用南京建成生物工程研究所提供试剂盒进行测定^[4-6]。

1.3.4 数据统计与分析。采用 DPS 14.10 数据处理系统软件进行方差分析及多重比较。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对不同烤烟品种叶绿素荧光参数的影响 在植物受到逆境胁迫时,PS II 反应中心的破坏或可逆失活则引起 F_0 的增加,可根据 F_0 的变化推测反应中心的状况和可能的光保护机制^[7]。从表 1 可以看出,干旱胁迫使 4 个品种的 F_0 都呈上升趋势,表明 PS II 反应中心遭到破坏。K326 显著高于其他 4 个品种,云烟 97 和中烟 100 显著高于中烟 14 和

安烟 2 号。这说明 K326 PS II 反应中心遭到破坏最严重,安烟 2 号和中烟 14 上升很少,说明其具有抵御 PS II 反应中心遭到破坏的能力,云烟 97 和中烟 100 介于二者之间。

最大荧光 F_m 是反应中心处于完全关闭时的荧光产量。由表 1 可知,对照处理各品种间无显著差异,干旱胁迫处理后 K326 和中烟 100 的 F_m 显著低于其他 3 个品种。

F_v/F_m 是 PS II 最大光化学量子效率或最大 PS II 的光能转换效率,反映当所有反应中心开放时 PS II 的最大光化学效率,可以衡量 PS II 的光抑制程度。从表 1 可以看出,干旱胁迫处理后安烟 2 号基本维持不变,中烟 14 的 F_v/F_m 下降幅度为 1.24%,K326 的 F_v/F_m 下降幅度最大(2.74%),云烟 97 和中烟 100 的下降幅度介于二者之间。K326 的 F_v/F_m 显著低于其他 4 个品种,云烟 97、中烟 100 和中烟 14 无显著差异。

表 1 干旱胁迫对各品种叶绿素荧光参数的影响

Table 1 Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters of different flue-cured tobacco cultivars

处理 Treatment	F_0				
	K326	云烟 97 Yunyan 97	中烟 100 Zhongyan 100	中烟 14 Zhongyan 14	安烟 2 号 Anyan 2
对照 CK	0.399 0 ± 0.002 1 a	0.378 0 ± 0.003 2 a	0.381 0 ± 0.004 2 a	0.375 0 ± 0.002 0 a	0.376 0 ± 0.003 8 a
干旱胁迫 Drought stress	0.420 0 ± 0.002 4 a	0.405 0 ± 0.004 5 b	0.401 0 ± 0.004 3 b	0.382 0 ± 0.003 8 c	0.376 0 ± 0.003 3 d
处理 Treatment	F_m				
	K326	云烟 97 Yunyan 97	中烟 100 Zhongyan 100	中烟 14 Zhongyan 14	安烟 2 号 Anyan 2
对照 CK	1.905 0 ± 0.079 8 a	1.969 0 ± 0.074 1 a	1.932 0 ± 0.054 8 a	2.064 0 ± 0.068 1 a	1.984 0 ± 0.055 3 a
干旱胁迫 Drought stress	1.832 0 ± 0.091 5 b	1.969 0 ± 0.062 1 a	1.835 0 ± 0.093 8 b	2.064 0 ± 0.079 8 a	1.984 0 ± 0.044 8 a
处理 Treatment	F_v/F_m				
	K326	云烟 97 Yunyan 97	中烟 100 Zhongyan 100	中烟 14 Zhongyan 14	安烟 2 号 Anyan 2
对照 CK	0.803 0 ± 0.015 3 a	0.808 0 ± 0.010 8 a	0.803 0 ± 0.012 3 a	0.807 0 ± 0.011 5 a	0.810 0 ± 0.011 8 a
干旱胁迫 Drought stress	0.781 0 ± 0.010 8 c	0.794 0 ± 0.010 2 b	0.792 0 ± 0.011 5 b	0.797 0 ± 0.011 9 b	0.810 0 ± 0.013 2 a

注:同一指标不同小写字母表示品种间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different small letters at the same index indicate significant difference among different cultivars ($P < 0.05$)

2.2 干旱处理对不同烤烟品种光合参数的影响 净光合速率(P_n)是指植物光合作用积累的有机物,是总光合速率减去呼吸速率的值,净光合速率是指植物在单位时间内积累的有机物的量。气孔导度(Cond)表示气孔张开的程度,影响光合作用、呼吸作用及蒸腾作用,它直接与蒸腾作用成正比。蒸腾速率(Tr)是指植物在一定时间内单位叶面积蒸腾的水量。从表 2 可以看出,与对照相比,干旱处理的各品种净光合速

率(P_n)、气孔导度(Cond)与蒸腾速率(Tr)均明显下降。经干旱处理后,安烟 2 号与中烟 14 的 P_n 与 K326、中烟 100、云烟 97 之间差异显著;从 Cond 来看,经干旱处理后 K326 的 Cond 值最低,与安烟 2 号、云烟 97 和中烟 14 差异显著;从 Tr 来看,经干旱处理后中烟 14 的 Tr 值最高,其次是中烟 100、安烟 2 号和中烟 97, K326 的 Tr 值最低, K326 与安烟 2 号、云烟 97、中烟 100、中烟 14 差异显著。

表 2 干旱胁迫对各品种光合参数的影响

Table 2 Effects of drought stress on the photosynthetic parameters of different flue-cured tobacco cultivars

处理 Treatment	$P_n // \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$				
	K326	安烟 2 号 Anyan 2	云烟 97 Yunyan 97	中烟 100 Zhongyan 100	中烟 14 Zhongyan 14
对照 CK	12.301 0 ± 0.879 3 a	13.094 0 ± 0.294 8 a	12.923 0 ± 0.241 9 a	12.577 0 ± 0.526 0 a	12.446 0 ± 0.681 5 a
干旱胁迫 Drought stress	0.096 4 ± 0.005 9 b	0.165 9 ± 0.008 5 a	0.114 5 ± 0.007 2 b	0.106 0 ± 0.004 5 b	0.167 0 ± 0.009 2 a
处理 Treatment	Cond // $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$				
	K326	安烟 2 号 Anyan 2	云烟 97 Yunyan 97	中烟 100 Zhongyan 100	中烟 14 Zhongyan 14
对照 CK	0.053 7 ± 0.004 2 b	0.071 7 ± 0.003 1 a	0.066 0 ± 0.007 5 ab	0.055 3 ± 0.007 0 ab	0.059 0 ± 0.008 0 ab
干旱胁迫 Drought stress	0.003 8 ± 0.000 6 b	0.006 5 ± 0.001 2 a	0.006 2 ± 0.001 1 a	0.005 4 ± 0.000 6 ab	0.006 5 ± 0.000 8 a
处理 Treatment	Tr // $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$				
	K326	安烟 2 号 Anyan 2	云烟 97 Yunyan 97	中烟 100 Zhongyan 100	中烟 14 Zhongyan 14
对照 CK	1.437 0 ± 0.110 6 a	1.547 0 ± 0.156 3 a	1.477 0 ± 0.041 6 a	1.473 0 ± 0.166 2 a	1.450 0 ± 0.115 3 a
干旱胁迫 Drought stress	0.095 7 ± 0.003 9 c	0.109 4 ± 0.002 8 b	0.108 0 ± 0.004 8 b	0.111 3 ± 0.001 4 ab	0.119 6 ± 0.003 8 a

注:同一指标不同小写字母表示品种间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different small letters at the same index indicate significant difference among different cultivars ($P < 0.05$)

2.3 干旱处理对不同烤烟品种脯氨酸含量与丙二醛含量的影响 脯氨酸(Pro)是植物体内重要的渗透调节物质之一,是衡量植物抗旱性的生理生化指标之一^[8]。干旱处理会引起各烤烟品种的脯氨酸大量积累。脯氨酸增幅较大的更有利于渗透势的降低,从而缓解干旱胁迫造成的影响。由表3可知,对照处理不同品种间脯氨酸含量无显著差异,经过干旱处理的安烟2号、云烟97、中烟100与中烟14的脯氨酸含量显著高于K326($P < 0.05$)。

丙二醛(MDA)是膜脂氧化的最终分解产物,是反映

植物遭遇逆境胁迫程度的重要因子之一,人们常用它作为膜脂氧化的指标^[9]。逆境胁迫前后MDA含量的增加幅度小,说明膜脂受到的伤害小,抗旱性就相对强。由表3可知,对照处理不同烤烟品种间MDA含量无显著差异,经干旱处理的各品种MDA含量均明显升高,其中K326和中烟100的MDA含量显著高于安烟2号、云烟97和中烟14,表明其遭受干旱胁迫的程度最为严重,而安烟2号的MDA含量相对较低,与中烟14接近。

表3 干旱胁迫对各品种脯氨酸与丙二醛含量的影响

Table 3 Effects of drought stress on the contents of proline and MDA in different flue-cured tobacco cultivars

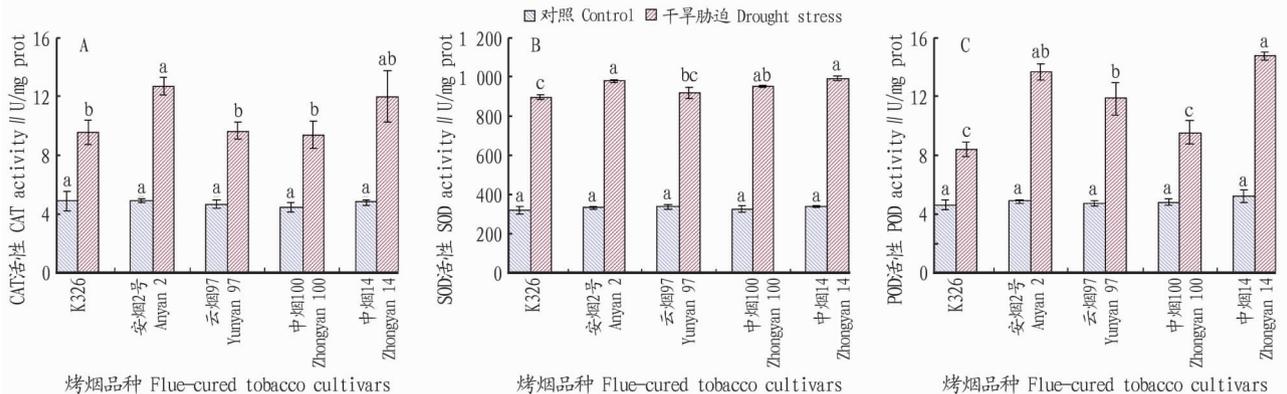
处理 Treatment	Pro 含量 Pro content // U/mg prot					
	K326	安烟2号 Anyan 2	云烟97 Yunyan 97	中烟100 Zhongyan 100	中烟14 Zhongyan 14	
对照 CK	176.71 ± 11.04 a	166.55 ± 6.52 a	157.88 ± 10.83 a	156.59 ± 6.93 a	156.19 ± 6.60 a	
干旱胁迫 Drought stress	401.94 ± 17.12 b	457.23 ± 4.69 a	454.61 ± 13.49 a	451.07 ± 22.72 a	460.03 ± 28.03 a	
处理 Treatment	MDA 含量 MDA content // μmol/g prot					
	K326	安烟2号 Anyan 2	云烟97 Yunyan 97	中烟100 Zhongyan 100	中烟14 Zhongyan 14	
对照 Drought stress	6.38 ± 1.18 a	4.00 ± 0.54 a	4.60 ± 0.51 a	5.84 ± 1.79 a	4.59 ± 1.17 a	
干旱胁迫 Drought stress	20.87 ± 1.54 a	17.30 ± 0.90 b	17.57 ± 1.25 b	20.34 ± 1.12 a	17.34 ± 0.75 b	

注:同一指标不同小写字母表示品种间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different small letters at the same index indicate significant difference among different cultivars ($P < 0.05$)

2.4 干旱胁迫对不同烤烟品种抗氧化系统酶活性的影响 植物抗氧化系统是逆境胁迫的响应系统之一。干旱胁迫造成活性氧的产生,为了避免或缓解活性氧带来的伤害,植物体内形成了多种防御机制,主要有2种:①抗氧化酶类,如过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)等;②小分子抗氧化物^[10-11]。这些抗氧化系统在逆境胁迫下的正常运转对植物细胞生理生化功能的维持至关重要。抗旱性强的植物品种,在干旱胁迫下酶的活性往往较

高,因而能有效清除活性氧,阻止膜脂过氧化。从图1可以看出,未经干旱处理的各品种间的CAT、SOD与POD活性无明显差异,经干旱处理的各烤烟品种的CAT、SOD与POD活性均显著升高,而在不同烤烟品种间也存在差异。安烟2号与中烟14的CAT、SOD与POD值相对较高,增加的幅度较大,表明安烟2号和中烟14可以有效缓解活性氧带来的伤害,而K326的值最低,表明其抗旱性能要弱于其他4个品种。



注:同一图片中不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different small letters in the same picture indicate significant difference ($P < 0.05$)

图1 干旱胁迫对不同烤烟品种抗氧化系统酶活性的影响

Fig. 1 Effect of drought stress on the activities of antioxidant system enzymes in different flue-cured tobacco cultivars

3 讨论

植物在干旱胁迫下可以通过形态、细胞、亚细胞以及分子水平的方式来适应胁迫条件。形态适应对于一些特殊植物显得十分重要,但它不具有普遍性,而细胞、亚细胞以及分子水平的适应则是植物对水分胁迫的普遍反应,反映在宏观上就是一系列生理生化指标的变化^[12]。

张秋英等^[13]发现干旱胁迫下小麦的 F_v/F_m 和 F_v/F_o 值呈现降低的趋势,而且胁迫程度越大其值降低的幅度也越大,因此可通过测定 F_v/F_m 和 F_v/F_o 值的变化来确定植株受到干旱胁迫的程度。王建程等^[14]通过对玉米拔节期叶绿素荧光参数的测定,发现干旱对叶绿素荧光参数的影响十分显著,显著增加 F_o 值和降低 F_v/F_m 与 F_v/F_o 值,随着胁迫的加

剧,这些参数变化的幅度增加,认为叶绿素荧光参数可作为判断玉米水分胁迫程度的理想指标。孙海锋等^[15]通过研究不同基因型大豆开花期的叶绿素荧光对干旱胁迫的响应规律,认为干旱胁迫下叶绿素荧光参数(F_v/F_m 、 F_v/F_o 和 NPQ)的变化与大豆品种的抗旱性有关,如果干旱胁迫下仍能维持较高的 F_v/F_m 、 F_v/F_o 和 NPQ 值,就表明该大豆基因型具有较强的耐旱性。

作物抗旱性一般分为形态结构抗旱和生理生化抗旱,在生长发育的各个阶段表现不同。该试验从生理生化指标角度评价烤烟抗旱性,还应进一步结合烤烟各品种的形态结构及田间表现症状深入评价其抗旱性。同时,该研究筛选的抗旱性指标及其鉴定评价是在烤烟的 5 叶苗期,是否适于其他生育阶段及全生育期,还有待进一步研究。

烤烟的抗旱性是由遗传因素和环境因素两方面决定的,抗旱性品种选择应综合考虑各方面的条件和因素,尤其是烤烟的品质指标^[16]。如何更科学有效地对烤烟的抗旱性进行鉴定,仍需要进一步研究。

4 结论

该试验结果表明,经干旱处理的几个烤烟品种与未经处理的对照之间,其叶绿素荧光参数、光合参数、脯氨酸含量、丙二醛含量、抗氧化系统酶活性均出现不同程度的变化,有些品种间变化显著。在不同烤烟品种间的比较上,经干旱处理的,安烟 2 号与中烟 14 的脯氨酸含量、CAT 活性、SOD 活性、POD 活性、光合参数和 F_v/F_m 值相对较高,MDA 含量相对较低,表明安烟 2 号与中烟 14 对干旱胁迫明显的响应,对由胁迫引起的生理生化的伤害明显缓解,说明安烟 2 号和中烟 14 是抗旱性较好的烤烟品种。K326 的脯氨酸含量、CAT 活性、SOD 活性、POD 活性与光合参数相对较低,MDA 含量

相对较高,说明 K326 的抗旱性弱于其他 4 个品种。云烟 97 和中烟 100 则处于中间水平。

参考文献

- [1] 汪耀富,韩锦峰,林学梧. 烤烟生长前期对干旱胁迫的生理生化响应研究[J]. 作物学报,1996,22(1):117-121.
 - [2] 尹福强. 干旱胁迫对烟草生理生化特征的影响[J]. 安徽农业科学,2010,38(21):11113-11114,11123.
 - [3] 王仁刚,丁福章,林世锋,等. 14 个烤烟品种在干旱胁迫下的生理变化及其抗旱性评价[J]. 贵州农业科学,2015,43(10):64-66.
 - [4] 赵世杰,李德全. 丙二醛的测定[M]//中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南. 北京:科学出版社,1999.
 - [5] 侯彩霞. 脯氨酸的测定[M]//中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南. 北京:科学出版社,1999.
 - [6] 赵世杰,刘华山,董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,1998.
 - [7] 汪宝根,刘永华,吴晓花,等. 干旱胁迫下长豇豆叶绿素荧光参数与品种耐旱性的关系[J]. 浙江农业学报,2009,21(3):246-249.
 - [8] 马新蕾,房燕,王玉军,等. 十个烤烟品种的抗旱性鉴定[J]. 中国烟草学报,2005,11(5):26-30.
 - [9] HODGES D M, DELONG J M, FORNEY C F, et al. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds[J]. Planta,1999,207(4):604-611.
 - [10] ALSCHER R G, DONAHUE J L, CRAMER C L. Reactive oxygen species and antioxidants: Relationships in green cells [J]. Physiologia plantarum, 1997,100(2):224-233.
 - [11] MITTLER R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance [J]. Trends in plant science,2002,7(9):405-410.
 - [12] 周冀衡,朱小平,王彦亭,等. 烟草生理与生物化学[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1996:156-181.
 - [13] 张秋英,李发东,高克昌,等. 水分胁迫对冬小麦光合特性及产量的影响[J]. 西北植物学报,2005,25(6):1184-1190.
 - [14] 王建程,严昌荣,卜玉山. 不同水分与养分水平对玉米叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国农业气象,2005,26(2):95-98.
 - [15] 孙海锋,战勇,林海容,等. 花期干旱对不同基因型大豆叶绿素荧光特性的影响[J]. 大豆科学,2008,27(1):56-60.
 - [16] 周冀衡,上官克攀,邱标仁,等. 引进烤烟品种的抗旱性生理评价[J]. 烟草科技,2002(5):3-7.
- (上接第 12 页)
- [9] 韩博平. 中国水库生态学研究的回顾与展望[J]. 湖泊科学,2010,22(2):151-160.
 - [10] LEHMAN J T. Ecological and nutritional studies on Dinobryon Ehrenb.: Seasonal periodicity and the phosphate toxicity problem[J]. Limnology and oceanography,1976,21(5):646-658.
 - [11] TANG E P Y, TREMBLAY R, VINCENT W F. Cyanobacterial dominance of polar freshwater ecosystems: Are high-latitude mat-formers adapted to low temperature? [J]. Journal of phycology,1997,33(2):171-181.
 - [12] POLLINGHER U. Phytoplankton periodicity in a subtropical lake (Lake Kinneret, Israel) [J]. Hydrobiologia,1986,138(1):127-138.
 - [13] TALLING J F. The seasonality of phytoplankton in African lakes [J]. Hydrobiologia,1986,138(1):139-160.
 - [14] 胡翊,雷腊梅,韩博平. 南亚热带大型贫营养水库浮游植物群落结构与季节变化:以新丰江水库为例[J]. 生态学报,2008,28(10):4652-4664.
 - [15] 张怡,胡翊,肖利娟,等. 南亚热带两座不同水文动态的水库浮游植物的功能类群演替比较[J]. 生态环境学报,2012,21(1):107-117.
 - [16] 薛俊增,刘艳,蔡桢,等. 新疆阿苇滩水库浮游植物群落生态特征[J]. 科技导报,2010,28(7):55-58.
 - [17] 薛俊增,蔡桢,王琼,等. 新疆福海水库浮游植物生态初步研究[J]. 淡水渔业,2011,41(2):78-81,87.
 - [18] 吴惠仙,王琼,蔡桢,等. 新疆吉木乃红山水库浮游植物研究[J]. 水生态学杂志,2010,3(4):199-205.
 - [19] 薛俊增,边佳胤,王琼,等. 新疆塘巴湖水库浮游植物群落组成特征[J]. 干旱区地理,2012,35(2):254-259.
 - [20] 王琼,吴惠仙,蔡桢,等. 新疆阿勒泰二牧水库浮游植物研究[J]. 海洋湖沼通报,2012(1):56-63.