



陈意兰, 赵文忠, 李新杰, 等. 干旱胁迫对五种乔木叶片保护酶的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2020(12):81-85, 92.

# 干旱胁迫对五种乔木叶片保护酶的影响

陈意兰<sup>1,2</sup>, 赵文忠<sup>3</sup>, 李新杰<sup>3</sup>, 王向平<sup>3</sup>, 张 莎<sup>4</sup>, 刘东明<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 华南植物园, 广东 广州 510650; 2. 贵州大学 生命科学学院, 贵州 贵阳 550025; 3. 河北曲港高速公路开发有限公司, 河北 定州 073000; 4. 惠州市林业科学研究所, 广东 惠州 516000)

**摘要:**在气候逐渐变暖、淡水资源短缺的背景下,公共绿地及道路绿化植物的选择中,耐旱性成为重要的考量依据。本文优选了旱柳、榆树、楝、乌桕、毛白杨 5 种具耐旱应用前景的乔木开展干旱胁迫试验,通过测定叶片丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)4 个植物生理指标,分析受试叶片保护酶系统对干旱胁迫的响应,并用隶属函数进行综合评价,探讨植物的耐旱性。结果表明:毛白杨叶片保护酶系统对干旱胁迫的响应最强,楝的保护酶之间协调性较好,乌桕的 SOD 在清除活性氧的过程中发挥重要作用,旱柳和榆树的 SOD 和 POD 合成能力较弱。旱柳、榆树、楝、乌桕和毛白杨的隶属函数平均值分别为 0.36、0.30、0.39、0.53 和 0.82,耐旱性排序为毛白杨>乌桕>楝>旱柳>榆树。绿化实践中可优先考虑使用毛白杨、楝和乌桕。

**关键词:**干旱胁迫;保护酶;隶属函数;耐旱性

我国是水资源贫乏的国家之一、淡水资源利用率低、园林绿化养护成本高。公共绿地及道路绿化植物的选择中,耐旱性成为重要的考量。水分是影响植物生长的重要环境因子之一,是植物吸收和运输物质的溶剂,参与植物的代谢活动。当植物体内的水分代谢失衡时,会影响植物体的生长速度,打乱植物体内的正常生理代谢活动,甚至会导致植物体的死亡<sup>[1]</sup>。植物在代谢过程中若长期处于干旱条件下,体内的活性氧含量会增加,而活性氧的积累会引起膜脂过氧化作用<sup>[2]</sup>。丙二醛(MDA)作为膜脂过氧化产物之一,可以反映膜脂过氧化损伤的严重程度<sup>[3]</sup>。超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(peroxidase, POD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)是植物组织防御系统中重要的抗氧化保护酶,分别清除超氧阴离子、羟自由基、过氧化氢,从而减少胞内的活性氧对细胞膜的伤害、减轻膜脂过氧化和稳定膜的透性<sup>[4]</sup>。MDA 含量和 SOD、POD 和 CAT 活性的变化可以反映植物耐旱性强

弱<sup>[5-6]</sup>。将 MDA、SOD、POD、CAT 几种参数利用隶属函数法求出隶属函数值,可以全面反映不同植物保护酶彼此协调的结果,可以比较科学地对各植物的耐旱能力进行综合评价<sup>[7]</sup>。

乔木是树高 6 m 以上的树木,常种植于绿地、道路两旁作为行道树和遮荫树。目前,关于乔木应对干旱胁迫的生理机制研究主要集中在植物异质生境的生长<sup>[8]</sup>、光合生理响应<sup>[9]</sup>、根系生物量<sup>[10]</sup>、生理生化特性<sup>[11]</sup>等方面,针对叶片保护酶适应干旱的生理机制研究较少。为探讨干旱胁迫对乔木植物叶片保护酶的影响,揭示其保护酶系统适应干旱的生理机制,本文通过实地调查公共绿地、高速公路绿化植物的基础上,优选了旱柳(*Salix matsudana*)、榆树(*Ulmus pumila*)、楝(*Melia azedarach*)、乌桕(*Triadica sebifera*)和毛白杨(*Populus tomentosa*)5 种具耐旱应用前景的乔木,连续测定其干旱胁迫下 MDA 含量、SOD、POD 以及 CAT 活性,利用隶属函数对 5 种乔木的耐旱性作出综合评价,以为公共绿地构建、道路、高速公路互通立交及服务区绿化植物选择提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验苗木选用 3 年生旱柳、榆树、楝、乌桕、毛白杨共 5 种作为供试材料。

收稿日期:2020-08-05

基金项目:中国科学院 A 类战略性先导科技专项(XDA13020500);河北省交通运输厅科技攻关项目(QG2018-10)。

第一作者:陈意兰(1992-),女,在读硕士,从事植物资源评价与利用、特殊生境生态修复研究。E-mail:chenyilan@scbg.ac.cn。

通信作者:刘东明(1971-),男,硕士,副研究员,从事植物资源评价与利用、特殊生境生态修复研究。E-mail:Liudm@scbg.ac.cn。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 将上述每种植物选择生长良好的植株 30 株,均种植于直径 30 cm 的种植袋中日常浇水施肥养护,待养护良好后移植于 30 cm×30 cm 的塑料花盆中培养,栽培基质配比为种植土:河沙:珍珠岩:泥炭:椰糠=6:2:1:1:1。本试验模拟自然干旱对植物生长的影响,于 2019 年 9 月开始自然干旱胁迫试验。试验地点位于广东省广州市中国科学院华南植物园科研区实验大棚,大棚上有透明塑料薄膜遮盖,防止自然降雨的影响,四周自然通风良好。开始干旱试验前,所有植株均浇透水,后期不再浇水。每周随机调换植物花盆位置,减少误差,尽量保证所有树苗生长条件一致。试验过程中分别于第 0 天、第 3 天、第 7 天、第 14 天、第 21 天和第 28 天采集每株植物叶片测定相关指标。

1.2.2 测定项目及方法 本文对各处理下受试植物叶片的 MDA、SOD、POD、CAT 进行了测定。MDA 含量测定参照硫代巴比妥酸法<sup>[12]</sup>测定, SOD 采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法<sup>[13]</sup>测定, 过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚显色法<sup>[14]</sup>测定,CAT 采用紫外吸收法<sup>[15]</sup>测定。

1.2.3 耐旱性综合评价

$$x=(X-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min}) \tag{1}$$

$$x=1-(X-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min}) \tag{2}$$

式中: $x$ 为隶属函数值, $X$ 为植株某一指标测定值; $X_{\min}$ 、 $X_{\max}$ 为所有植物中某一指标测试值的最小值和最大值。与植物抗旱性呈正相关的 SOD、POD、CAT 采用公式(1),与植物抗旱性成负相关的 MDA 采用公式(2)。将每种植物各指标的隶属函数值累加求平均值,根据平均值大

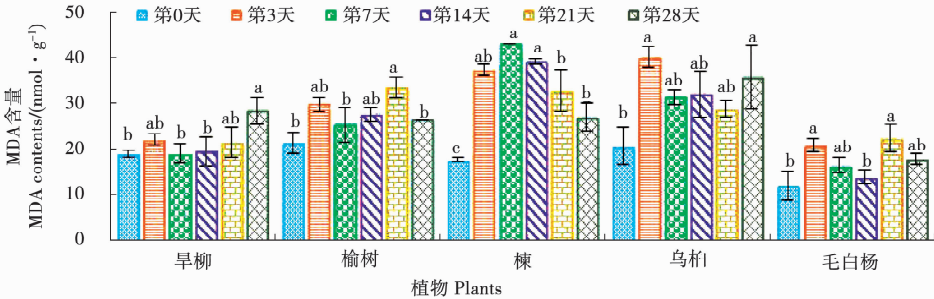
小(平均值越大抗旱性越强)来确定耐旱性强弱<sup>[16]</sup>。

1.2.4 数据分析 利用 Excel 2013 计算 MDA 含量、SOD、POD 以及 CAT 活性并作图,利用 SPSS Statistics 17 对 MDA 含量、SOD、POD 以及 CAT 活性进行单因素分析,采用 Duncan 法在  $P<0.05$  水平上进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 MDA 含量随干旱胁迫时间推移的变化

由图 1 可知,干旱胁迫第 3 天,旱柳、榆树、楝、乌桕、毛白杨的 MDA 含量分别为 22.14、29.82、37.29、40.13 和 20.83  $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}$ ,均不同程度地高于干旱胁迫第 0 天时 MDA 含量,分别增加 16.90%,39.65%,112.08%,93.98% 和 74.08%。随后,MDA 含量开始下降,除楝外其余 4 种植物的 MDA 含量最低值仍与干旱胁迫第 0 天时的 MDA 含量差异不显著。随着干旱胁迫的积累,5 种乔木受到不同程度的膜脂过氧化作用伤害。干旱胁迫后期,旱柳和乌桕的 MDA 含量呈上升趋势,榆树、楝、毛白杨的 MDA 含量呈上升-下降趋势。干旱胁迫第 28 天,旱柳、楝、乌桕的 MDA 含量分别为 28.43、26.90 和 35.77  $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}$ ,相比干旱胁迫第 0 天的 MDA 含量分别上升 50.15%,52.98% 和 72.94%,且差异显著;干旱胁迫第 28 天,榆树和毛白杨的 MDA 含量分别为 26.53 和 17.80  $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}$ ,相比干旱胁迫第 0 天的 MDA 含量分别上升 24.25% 和 48.70%,差异不显著。表明 5 种植物中,旱柳和楝的 MDA 含量相差不大,乌桕的 MDA 含量最高,增长最快,毛白杨的 MDA 含量最低,增长缓慢;榆树的 MDA 含量增长最慢。



不同小写字母表示同一品种中不同干旱胁迫时间下差异显著( $P<0.05$ )。下同。  
Different lowercase letters indicated significant difference under different drought stress time in the same variety ( $P<0.05$ ). The same below.

图 1 各组植株叶片丙二醛(MDA)含量随干旱时间的变化

Fig. 1 Changes of malondialdehyde (MDA) content in leaves of plants in each group with drought time

2.2 SOD 活性随干旱胁迫时间推移的变化

由图 2 可知,旱柳、榆树、乌柏和毛白杨的 SOD 活性下降至最低时分别为 47.11,84.08,353.44 和 195.75  $\text{U}\cdot(\text{g}\cdot\text{min})^{-1}$ ,均低于干旱胁迫第 0 天的 SOD 活性,分别下降 69.47%、32.39%、9.06%和 37.04%,表明干旱胁迫影响 SOD 合成或者促使其降解,从而使其活性下降。随着干旱胁迫时间推移,榆树、榉和毛白杨的 SOD 活性呈上升-下降趋势,旱柳的 SOD 活性呈下降-上升趋势,乌柏的 SOD 活性呈上升-下降-上

升趋势。干旱胁迫第 28 天,旱柳和榆树的 SOD 活性分别为 139.50 和 84.08  $\text{U}\cdot(\text{g}\cdot\text{min})^{-1}$ ,相比干旱胁迫第 0 天的 SOD 活性分别下降 9.57%和 47.91%;榉、乌柏和毛白杨 3 种植物的 SOD 活性分别为 204.66,448.94 和 376.63  $\text{U}\cdot(\text{g}\cdot\text{min})^{-1}$ ,分别比干旱胁迫第 0 天上升 35.93%、15.51%和 21.14%。表明随着干旱胁迫时间推移,旱柳和榆树的 SOD 活性受影响程度最大,榉的 SOD 活性受影响程度一般,乌柏和毛白杨的 SOD 活性受影响的程度最小。

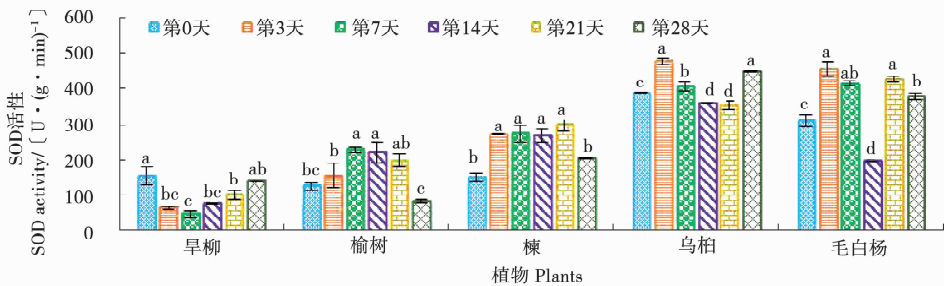


图 2 各组植株叶片中超氧化物歧化酶(SOD)活性随干旱时间的变化

Fig. 2 Changes of superoxide dismutase(SOD) activity in leaves of plants in different groups with drought time

2.3 POD 活性随干旱胁迫时间推移的变化

由图 3 可知,随着干旱胁迫时间推移,除榆树的 POD 活性呈下降趋势,其余植物均呈上升趋势。表明植物体内活性氧增加,为清除活性氧,植株体内的 POD 活性上升。干旱胁迫第 28 天,榆树的 POD 活性为 509.25  $\text{U}\cdot(\text{g}\cdot\text{min})^{-1}$ ,相比干旱胁迫第 0 天 POD 活性下降 45.58%,差异显著;旱

柳、榉、乌柏和毛白杨的 POD 活性分别为1 460.89,5 063.00,3 062.44 和9 428.56  $\text{U}\cdot(\text{g}\cdot\text{min})^{-1}$ ,与干旱胁迫第 0 天的 POD 活性相比分别上升 88.23%,67.54%,142.16%和 122.25%。表明乌柏和毛白杨对干旱胁迫反应最为敏感,增幅最大,榉对干旱胁迫反应一般,旱柳、榆树体内 POD 活性始终维持在较低水平,表现最差。

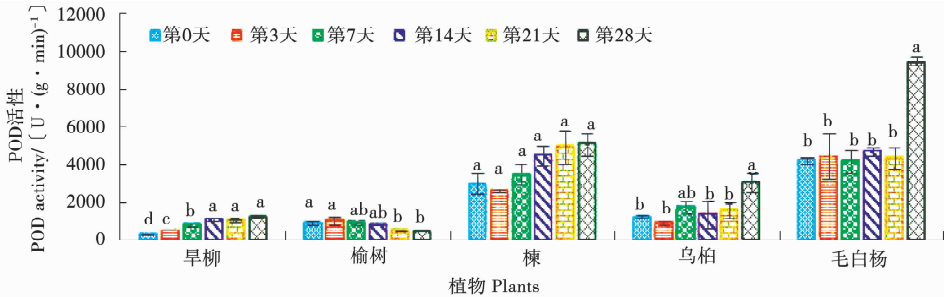


图 3 各组植株叶片中过氧化物酶(POD)活性随干旱时间的变化

Fig. 3 Changes of peroxidase (POD) activity in leaves of plants in different groups with drought time

2.4 CAT 活性随干旱胁迫时间推移的变化

由图 4 可知,旱柳、榉和毛白杨的 CAT 活性最低值分别为 353.75,393.75 和 215.00  $\text{U}\cdot(\text{g}\cdot\text{min})^{-1}$ ,相比干旱胁迫第 0 天的 CAT 活性分别下降 48.07%、43.75%和 21.10%,随后呈上升趋势,表明旱柳、榉和毛白杨对短期干旱抵抗力较弱,但随着干旱时间推移,活性氧积累到一定程度,体内逐渐合成 CAT,清除活性氧,防止大分子物质发生氧化作用。干旱胁迫第 3 天,榆树和乌柏的

CAT 活性上升到最高,分别为 1 166.25 和 1 587.50  $\text{U}\cdot(\text{g}\cdot\text{min})^{-1}$ ,相比干旱胁迫第 0 天 CAT 活性分别上升 18.68%和 99.69%,表明活性氧的积累促使其 CAT 合成。随着干旱胁迫时间推移,CAT 活性呈下降趋势。干旱胁迫第 28 天,榆树和乌柏的 CAT 活性分别为 668.33 和 701.25  $\text{U}\cdot(\text{g}\cdot\text{min})^{-1}$ ,相比干旱胁迫第 0 天 CAT 活性分别下降 31.99%和 11.79%,表明干旱胁迫积累导致 CAT 合成能力减弱。

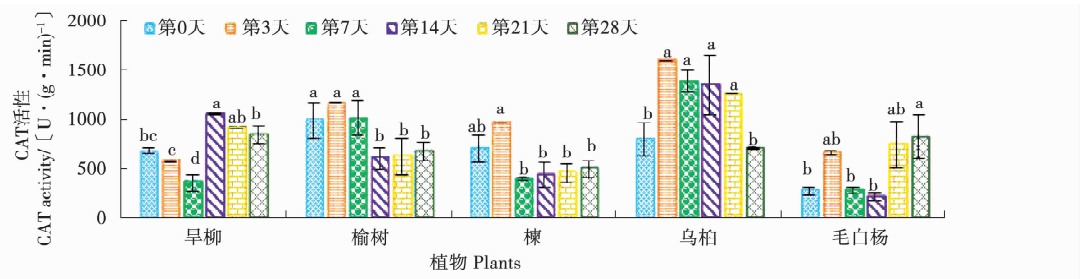


图4 各组植株叶片中过氧化氢酶(CAT)随干旱时间的变化

Fig. 4 Changes of catalase(CAT) activity in leaves of plants in different groups with drought time

2.5 耐旱性综合评价

由表1可知,旱柳、榆树、楝、乌桕和毛白杨的隶属函数平均值分别为0.364,0.301,0.390,0.526和0.816,耐旱性排序为毛白杨>乌桕>楝>旱柳>榆树。

表1 5种乔木耐旱性生理指标隶属函数平均值及综合评价

植物种类 Plant species	隶属函数值 Membership fuction value					排序(由强到弱) Order(From strong to weak)
	MDA	SOD	POD	CAT	平均值	
					Average value	
毛白杨 <i>Populus tomentosa</i>	0.95	0.81	0.99	0.53	0.82	1
乌桕 <i>Triadica sebifera</i>	0.41	1.00	0.27	0.42	0.53	2
楝 <i>Melia azedarach</i>	0.67	0.35	0.35	0.19	0.39	3
旱柳 <i>Salix matsudana</i>	0.63	0.17	0.08	0.58	0.36	4
榆树 <i>Ulmus pumila</i>	0.79	0.02	0.001	0.39	0.30	5

3 结论与讨论

3.1 MDA含量随干旱胁迫时间推移的变化

植物的抗旱性与其保护酶系统清除活性氧的能力相关。正常情况下,植物体内活性氧产生与清除处于平衡,细胞不会被伤害,但干旱胁迫会打破这一平衡,以致植物体内的氧被活化形成对细胞有伤害的活性氧<sup>[17]</sup>。当活性氧的产生速度大于抗氧化酶清除活性氧的速度时,活性氧过度积累会导致膜脂过氧化,从而造成植株体内MDA含量的积累<sup>[18]</sup>。本研究中,5种乔木在干旱胁迫初期MDA含量均不同程度地胁迫第0天时MDA含量,说明发生膜脂过氧化作用。随着干旱胁迫时间的推移,5种乔木均启动防御系统,过氧化作用减弱,MDA含量达到某一高峰值后开始下降,但除了楝的MDA含量在干旱胁迫第28天下降至最低与干旱胁迫第0天时的MDA含量差异显著,其余植物的MDA含量下降到最低时仍与干旱胁迫第0天时的MDA含量差异不显著,表明各植物在干旱胁迫初期所受膜脂过氧化伤害较轻。随着干旱胁迫的积累,5种乔木的保护酶系统防御能力不同,膜损伤程度不同,导致MDA含量在干旱胁迫后期变化趋势也不同。旱

柳、乌桕的MDA含量呈上升-下降-上升趋势,与夏菁等<sup>[19]</sup>对多油辣木在干旱胁迫过程中MDA含量变化趋势研究一致。楝的MDA含量呈上升-下降趋势,研究结果与海南蒲桃和红桂木在干旱胁迫过程中MDA含量变化趋势一致<sup>[20]</sup>。榆树和毛白杨的MDA含量呈上升-下降-上升-下降趋势,但是在干旱胁迫第28天,榆树和毛白杨的MDA含量相比干旱胁迫第0天的MDA含量分别上升24.25%和48.70%,表明膜脂过氧化损伤导致MDA含量变化发生紊乱。

3.2 保护酶活性随干旱胁迫时间推移的变化

植物体内保护酶系统可以协同作用清除和防御活性氧积累导致的伤害,从而保护细胞免受损伤<sup>[21]</sup>。SOD、POD和CAT是植物组织防御系统中重要的抗氧化保护酶。在清除活性氧的过程中,SOD清除超氧阴离子,使其发生歧化反应生成H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,POD催化H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>氧化其他底物转化为H<sub>2</sub>O,CAT直接将活性氧H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>变为H<sub>2</sub>O,从而清除活性氧,减轻由干旱胁迫造成的膜系统损伤<sup>[22]</sup>。本研究中,毛白杨、楝能够及时合成SOD、POD、CAT清除体内活性氧,抑制细胞内大分子物质发生氧化作用,将MDA含量始终维持在较



低水平或呈下降趋势。乌桕在清除活性氧的过程中,SOD 活性较高,POD 活性始终维持在较低水平,CAT 活性虽高,但干旱胁迫第 28 天的 CAT 活性相比干旱胁迫第 0 天的 CAT 活性下降 50.83%。表明乌桕的 SOD 在清除活性氧的过程中处于核心地位,POD 和 CAT 对清除活性氧作用不大。旱柳、榆树在干旱胁迫过程中,SOD 和 POD 合成能力较弱,只有 CAT 及时合成,不足以清除体内活性氧。

### 3.3 耐旱性综合评价

植物在干旱胁迫过程中,耐旱性受多种因素影响<sup>[23]</sup>,用单一指标很难全面准确地反映不同植物的耐旱性强弱,耐旱能力的大小取决于抗氧化酶彼此协调的综合结果<sup>[24]</sup>。本研究中,毛白杨的 4 个耐旱性生理指标 MDA、SOD、POD 和 CAT 隶属函数值分别为 0.95,0.81,0.99 和 0.53,表明干旱胁迫下毛白杨的保护酶协同作用较好,将 MDA 维持在较低水平。乌桕的 MDA 和 SOD 隶属函数值分别为 0.405 和 1.002,表明乌桕的膜脂过氧化作用较严重,但 SOD 干旱胁迫过程中将超氧超氧阴离子转化为  $H_2O_2$  能力很强。楝的 4 个耐旱性生理指标 MDA、SOD、POD 和 CAT 隶属函数值分别为 0.67,0.35,0.35 和 0.19,表明干旱胁迫下楝的膜脂过氧化作用一般,SOD 和 POD 处于平衡,但 CAT 降解较快。旱柳和榆树的 MDA 隶属函数值分别为 0.63 和 0.79,表明膜脂过氧化作用不严重,但 SOD 和 POD 的隶属函数值都比较低,表明旱柳、榆树清除超氧阴离子和自由基的能力都比较弱。

综合各生理指标变化情况,5 种受试植物叶片保护酶系统对干旱胁迫的响应最强的是毛白杨,SOD、POD 和 CAT 彼此协调较好的是楝,乌桕的 SOD 在清除活性氧的过程中处于核心地位,旱柳和榆树只有 CAT 及时合成,SOD 和 POD 合成能力较弱,不足以清除体内活性氧。旱柳、榆树、楝、乌桕和毛白杨的隶属函数平均值分别为 0.36,0.30,0.39,0.53 和 0.82,耐旱性由强到弱排序为毛白杨>乌桕>楝>旱柳>榆树。因此,绿化实践中,可优先考虑毛白杨、楝、乌桕 3 种乔木,这类植物叶片保护酶系统对干旱胁迫的响应较好,应用前景良好,建议推广。

### 参考文献:

- [1] Trenberth K E, Dai A, Gerard V D S, et al. Global warming and changes in drought[J]. Nature Climate Change, 2013, 4(1):17-22.
- [2] 陈珣. 四种观赏植物的活性氧代谢对干旱胁迫的响应[D]. 临安:浙江农林大学,2013.
- [3] Dimitrio T. Assessment of lipid peroxidation by measuring

malondialdehyde (MDA) and relatives in biological samples: Analytical and biological challenges[J]. Analytical Biochemistry, 2017, 524:13-30.

- [4] Ingram J, Bartels D. The molecular basis of dehydration tolerance in plants[J]. Annual Review of Plant Biology, 1996, 47(1): 377-403.
- [5] 阮志平,唐源江,曾美涓. 干旱胁迫对四种棕榈植物幼苗光合特性及抗氧化酶活性的影响[J]. 热带作物学报, 2016, 37(10):1914-1919.
- [6] 韩忠明,胥苗苗,王贺贺,等. 干旱胁迫对防风叶片保护酶活性、渗透调节物质含量及药材品质的影响[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(6): 91-97.
- [7] 王琼,宋桂龙,韩烈保,等. 五种野生护坡植物的抗旱综合性评价[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2008, (2): 153-157.
- [8] 林艳华,梁千慧,刘锦春. 喀斯特地区适生树种复羽叶栎树幼苗对干旱胁迫下异质生境的生长和光合响应[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(8):20-26.
- [9] 郭丽,梁俊林,赵永辉,等. 四川省三种乡土树种幼苗对干旱胁迫的光合生理响应[J]. 四川农业大学学报, 2017, 35(4): 516-522.
- [10] Zhang C, Stratópoulos L M F, Xu C, et al. Development of fine root biomass of two contrasting urban tree cultivars in response to drought stress[J]. Forests, 2020, 11(1):108.
- [11] 董鹏,李铭,马新,等. 干旱胁迫对 5 个园林绿化树种生理生化特性的影响[J]. 西南农业学报, 2018, 31(4): 699-704.
- [12] 王学奎,黄见良. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 3 版. 北京:高等教育出版社,2015:131-133.
- [13] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州:华南理工大学出版社,2002.
- [14] 路文静,李奕松. 植物生理学实验教程[M]. 北京:中国林业出版社,2012.
- [15] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [16] 字学娟,杨石有,李茂. 应用隶属函数法综合评价链荚豆种质抗旱性[J]. 福建农业学报, 2016, 31(8):844-848.
- [17] 邓胜兴,曾明,熊伟,等. 干旱胁迫对柑橘叶片保护酶系统的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2009, 31(2): 61-64.
- [18] 陈海生,张炜,蔡林生. 四种景天科屋顶植物干旱适应性研究[J]. 安徽农学通报, 2018, 24(23):13-14.
- [19] 夏菁,张静美,施蕊,等. 多油辣木幼苗在干旱胁迫下的生理生化响应[J]. 西部林业科学, 2019, 48(1):106-113.
- [20] 李洁,列志阳,薛立,等. 干旱胁迫对三种园林绿化树种幼苗生理指标的影响[J]. 西南林业大学学报, 2016, 36(2): 56-61.
- [21] 吴强,冯汉青,李红玉,等. 干旱胁迫对小麦幼苗抗氧呼吸和活性氧代谢的影响[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2006, 32(2):217-224.
- [22] 梁丽娜,刘雪,唐励,等. 干旱胁迫对马铃薯叶片生理生化指标的影响[J]. 基因组学与应用生物学, 2018, 37(3): 1343-1348.
- [23] 洪震,练发良,刘术新,等. 三种乡土园林地被植物对干旱胁迫的生理响应[J]. 浙江农林大学学报, 2016, 33(4): 636-642.
- [24] 许桂芳,张朝阳,向佐湘. 利用隶属函数法对四种珍珠菜属植物的抗寒性综合评价[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(3):24-26.

(下转第 92 页)

- [22] Kosiak E B, Holst-Jensen A, Rundberget T, et al. Morphological, chemical and molecular differentiation of *Fusarium equiseti* isolated from Norwegian cereals[J]. International Journal of Food Microbiology, 2005, 99: 195-206.

- [23] Leslie J F, Summerall B A, Bullock S. The *Fusarium* Laboratory Manual[M]. Iowa, USA: Blackwell Pub Professional, 2006.

## Study on Field and Storage Fungal Community Diversity in *Japonica* Rice of Heilongjiang Province

YANG Huan-chun<sup>1</sup>, LI Yong<sup>1</sup>, SHAN Hong<sup>2</sup>, LI Li-li<sup>2</sup>, LAN Jing<sup>2</sup>, ZHAO Lin<sup>2</sup>, SUN Xiang-dong<sup>2</sup>

(1. Anshun University, Anshun 561000, China; 2. Quality and Safety Institute of Agricultural Products, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

**Abstract:** In order to promote reasonable storage and quality safety of paddy rice in Heilongjiang Province, three freshly harvested rice samples were collected in 2016 and stored for 1, 2, and 3 years, then analyzed through high-throughput sequencing of Illumina Hiseq to investigate the composition of storage fungal community. These rice samples were conducted high-throughput sequencing of ITS region, species composition, abundance, alpha diversity, and community structure were also analyzed. The results indicated that through three years storage, the storage fungal community in rice samples changed to as follow: Ascomycota was still the absolute predominant phylum, however the proportion declined from 94.4% to 82.1%; Eurotiales (25.6%) and Capnoidiales (20.1%) were the predominant order; *Aspergillus* (24.7%) and *Wallemia* (7.4%) were the predominant genus; *Aspergillus penicillioides* (14.3%) was the predominant specie. Fungal species composition of rice samples stored for different times were abundant and differences of fungal composition structure existed among these rice samples.

**Keywords:** *japonica* rice; field fungi; community structure; diversity; functional prediction

(上接第 85 页)

## Effects of Drought Stress on Leaf Protective Enzymes of Five Tree Species

CHEN Yi-lan<sup>1,2</sup>, ZHAO Wen-zhong<sup>3</sup>, LI Xin-jie<sup>3</sup>, WANG Xiang-ping<sup>3</sup>, ZHANG Sha<sup>4</sup>, LIU Dong-ming<sup>1</sup>

(1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3. The highway development company in Hebei qugang, Dingzhou 073000, China; 4. Huizhou institute of forestry science, Huizhou 516000, China)

**Abstract:** Under the background of global warming and fresh water shortage, the drought resistance is a primary consideration for picking plants for public green space and road greening. In this article, we selected potentially drought-tolerant *Salix matsudana*, *Ulmus pumila*, *Melia azedarach*, *Triadica sebifera*, and *Populus tomentosa* for our drought stress experiments, and measured four physiological indices of leaf, including malondialdehyde (MDA), superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), and catalase (CAT). Then we discussed, based on response of leaf protective enzyme system to drought stress of these tree species, and evaluated comprehensive membership functions. The results showed that *Populus tomentosa* had the strongest drought tolerance among the five species, and *Melia azedarach* had better synergistic effect against drought. The membership function values of *Salix matsudana*, *Ulmus pumila*, *Melia azedarach*, *Triadica sebifera* and *Populus tomentosa* were 0.36, 0.30, 0.39, 0.53 and 0.82, respectively. The drought tolerance was ranked as *Populus tomentosa* > *Triadica sebifera* > *Triadica sebifera* > *Salix matsudana* > *Ulmus pumila*. *Populus tomentosa*, *Melia azedarach* and *Sapium sebiferum* could be preferred in greening practice.

**Keywords:** drought stress; protective enzyme; membership function; drought tolerance