

艾育芳,陈观水,钟陈菲,等. 干旱胁迫对巨菌草幼苗水分状况和渗透调节物质的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(5):344-347.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.05.112

# 干旱胁迫对巨菌草幼苗水分状况和渗透调节物质的影响

艾育芳<sup>1,2</sup>, 陈观水<sup>2</sup>, 钟陈菲<sup>2</sup>, 柯玉琴<sup>2</sup>

(1. 国家菌草工程技术研究中心, 福建福州 350116; 2. 福建农林大学生命科学学院, 福建福州 350116)

**摘要:**为明确巨菌草幼苗对干旱胁迫的适应性,在盆栽控水条件下,对巨菌草幼苗的水分状况和渗透调节进行了干旱胁迫响应研究。结果表明,干旱胁迫后土壤含水量呈下降趋势,且各期间(胁迫 4~5 d 除外)差异显著( $P < 0.05$ )。干旱胁迫过程中巨菌草幼苗的含水量、相对含水量和水势均呈下降的趋势,可溶性蛋白含量呈现先升高后降低趋势,而游离氨基酸和脯氨酸含量则表现显著上升趋势。这些指标反映出巨菌草幼苗对干旱环境的适应性变化,是其抵御逆境的一种积极调节机制。

**关键词:**巨菌草幼苗;干旱胁迫;水分状况;渗透调节物质

**中图分类号:** Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)05-0344-04

巨菌草属于禾本科狼尾草属植物,主要分布在非洲北部地区,1983 年由福建农林大学林占嬉研究员引进中国,经过 30 多年的培育,已经成为一种适合我国南方气候土壤环境的草种<sup>[1]</sup>。巨菌草适宜在 25~35℃ 下生长,植株高大,直立丛生,产量高,糖及粗蛋白质含量高,抗逆性较强,既可作培养料栽培食(药)用菌,又可用于制作畜禽饲料,还可以用于水土保持、生物燃料、生物材料等领域的研究。巨菌草作为一种高产优质菌草,有很高的利用价值,值得推广,但其生长需要高温和湿润的土壤条件,而我国南方经常出现的不定期干旱不但降低了它的生产效益,同时也限制了它的进一步推广,因此需要对巨菌草的抗旱性进行一些基础性的研究。

目前国内外对巨菌草的研究主要集中在栽培<sup>[2]</sup>、应用<sup>[3]</sup>、成分分析<sup>[4]</sup>、生态影响<sup>[5]</sup>等方面,对各种生理代谢尤其是抗逆性代谢虽有少量研究,但主要是针对低温和盐胁迫方面<sup>[6-7]</sup>,而有关干旱胁迫对其生理生化影响的研究尚未见报道。本试验以土壤盆栽巨菌草幼苗为材料,研究其在不同干旱胁迫下的水分状况和可溶性蛋白、游离氨基酸等渗透调节物质含量的变化,从生理水平上探讨巨菌草的抗旱机制,为巨菌草在更多地区的适地适时种植和栽培管理提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料及干旱胁迫处理

本试验的植物材料是巨菌草幼苗,扦插的茎节由福建农林大学菌草研究所提供。试验于 2013 年 6 月 25 日至 7 月 4 日在福建农林大学生命科学学院顶楼的大棚内进行,干旱胁迫处理过程为:共准备 40 个规格一致的圆形塑料盆,每盆盛有 7 kg 土质一样的土。每盆扦插 1 根具 2 个节的短茎,待其

全部长出芽后,选出芽长势较一致的 28 盆随机分成 7 组进行处理。在胁迫处理前每盆每天浇水 1 L,使土壤保持湿润而土表没有积水。播种 5 周后,第 7 组巨菌草停止供水由其蒸腾作用开始进行自然干旱,胁迫天数为 6 d;1 d 后,第 6 组巨菌草停止供水开始自然干旱,胁迫天数为 5 d;以此类推,直到第 2 组巨菌草开始干旱胁迫,以此形成一个干旱胁迫梯度。第 1 组巨菌草每天保持原有浇水量不变作为对照,胁迫天数为 0 d。每个处理 4 盆。

### 1.2 取样方法

胁迫完成后取巨菌草幼苗顶端相同叶位的幼叶作为材料,剪碎叶片混匀,称取一定质量冷藏于 -80℃ 保存备用;胁迫完成后挖取巨菌草新鲜根系,把靠近根尖的 0~5 cm 根系剪碎后用于水势测定;胁迫完成后选取具有代表性的根系附近深度为 5 cm 左右的土壤,采集新鲜土壤用于烘干和水势测定。

### 1.3 测定指标及方法

土壤含水量的测定采用烘干法<sup>[8]</sup>,叶片的含水量和相对含水量测定采用饱和称重法<sup>[9]</sup>,叶片、根系和土壤水势的测定采用 WP4 露点水势仪法<sup>[10]</sup>,可溶性蛋白含量的测定采用考马斯亮蓝 G-250 染色法<sup>[11]</sup>,游离氨基酸含量的测定采用茚三酮显色法<sup>[11]</sup>,脯氨酸含量的测定采用磺基水杨酸法<sup>[11]</sup>。每个指标重复测定 3 次。

### 1.4 数据分析与处理

数据处理与分析都采用 Microsoft Excel 和 DPS 软件完成统计。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫下巨菌草土壤含水量的变化

土壤含水量是表征干旱胁迫程度的一个主要指标。由图 1 可见,土壤含水量随着干旱胁迫时间的延长而显著下降,从 22.04% 下降到 8.52%,在干旱胁迫初期的 0~1 d 下降最快,以后下降逐渐趋于平缓。方差分析表明,所有干旱处理的土壤含水量都明显低于对照,差异达到了极显著水平( $P < 0.01$ ),而且不同干旱处理之间的土壤含水量差异也基本达

收稿日期:2014-12-03

基金项目:国家自然科学基金(编号:30900915);国家菌草工程技术研究中心开放基金(编号:JCJJ13004)。

作者简介:艾育芳(1974—),女,江西玉山人,博士,副教授,主要从事植物抗逆性和生物技术的研究。Tel:(0591)83789494;Email:ai\_yufang@126.com。

到了显著水平(胁迫4~5 d除外),说明本试验的干旱胁迫梯度设置成功,从0~6 d干旱胁迫程度逐渐增强。

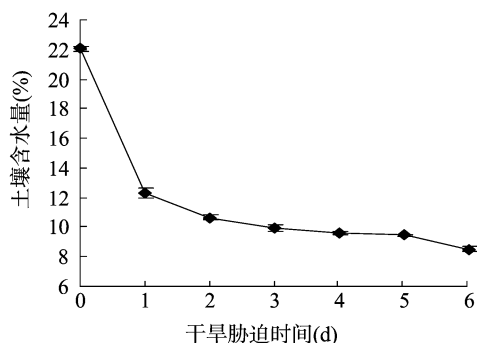


图1 干旱胁迫下土壤含水量的变化

## 2.2 干旱胁迫下巨菌草幼苗叶片含水量的变化

叶片含水量可直接反映植物干旱胁迫过程中的水分状况,叶组织含水量越高,抗旱能力越强,反之越弱。从图2可以看出,随着干旱胁迫时间的延长,巨菌草幼苗的叶片含水量呈下降的趋势。在干旱胁迫1~3 d,虽然叶片含水量都明显低于对照(0 d),但含量相对稳定,维持在70%左右,说明巨菌草能耐受一定程度的干旱。随着胁迫强度和胁迫时间的增加,叶片含水量急剧下降,各时期的差异达到极显著水平( $P < 0.01$ )。

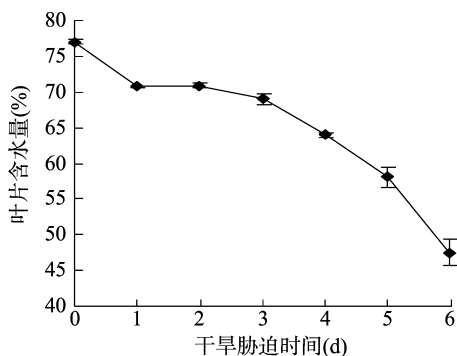


图2 干旱胁迫下巨菌草幼苗叶片含水量的变化

图3表明,在干旱胁迫下,巨菌草幼苗叶片相对含水量呈现随胁迫强度加大而减小的变化趋势,各胁迫处理的叶片相对含水量与正常供水(0 d)相比,差异都达到极显著水平( $P < 0.01$ )。在干旱胁迫1 d和2 d,巨菌草叶片的相对含水量降幅较小,分别为19.7%和17.0%,说明巨菌草对轻度干旱胁迫有一定的耐受能力。在干旱胁迫3 d时,巨菌草叶片的相对含水量大幅下降,已由正常的93.61%降为63.04%,说明此时叶片失水现象开始明显,之后相对含水量下降缓慢,在干旱胁迫6 d降至最低,为正常的57.76%,与其他各时期的差异达到极显著水平( $P < 0.01$ )。

## 2.3 干旱胁迫下巨菌草幼苗叶片、根系和土壤水势的变化

水势是反映植物水分状况和抗旱生理特性的指标之一,可表示植物从土壤或相邻细胞中吸收水分的能力。如图4所示,随着干旱胁迫程度的加大,巨菌草幼苗叶片、根系和土壤的水势整体都呈下降的趋势,在胁迫6 d时达到最小值,与各自对照的差异均达到极显著水平( $P < 0.01$ )。叶片水势在正常供水(0 d)时是3种水势中最低的,与根系和土壤的水势差

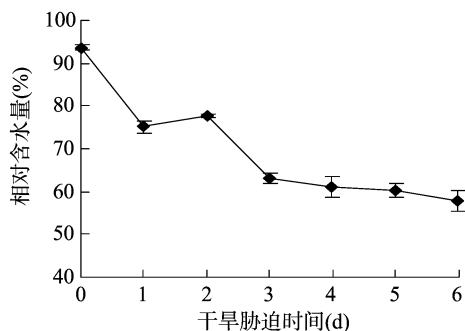


图3 干旱胁迫下巨菌草幼苗叶片相对含水量的变化

异达到极显著水平( $P < 0.01$ ),而且在胁迫0~3 d其下降幅度不大,各时期无明显差异( $P > 0.05$ ),大小居于根系和土壤水势之间;胁迫3 d之后则急剧下降,其值降至最低,说明此时叶片失水开始严重。根系水势在干旱胁迫初期有所下降,而后开始回升,但变化平缓,胁迫3 d后又开始下降,胁迫6 d时降幅较大,干旱胁迫各时期其值都大于叶片和土壤水势,与它们之间的差异达到了极显著水平( $P < 0.01$ ),说明巨菌草根系发达,能有效利用土壤中的水分,而且具有较强的保水能力。土壤水势的值在正常供水时,与根系水势接近,之后整个变化趋势与根系水势大体相似,但波动幅度更大,且在干旱胁迫后期大于叶片水势。

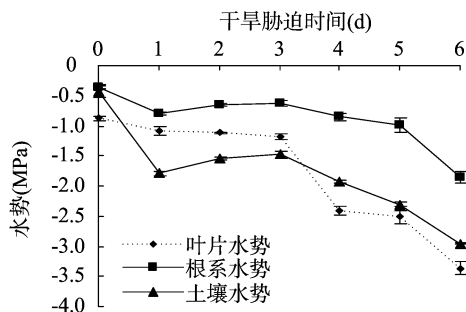


图4 干旱胁迫下巨菌草幼苗叶片、根系和土壤水势的变化

## 2.4 干旱胁迫下巨菌草幼苗叶片可溶性蛋白含量的变化

由图5可以看出,随着干旱时间的推进,巨菌草幼苗叶片的可溶性蛋白含量呈现缓慢上升的趋势,在干旱胁迫4 d达到峰值,随后开始急剧下降,降至对照的86%。这一趋势正好与巨菌草对干旱胁迫的适应相吻合,干旱胁迫会诱导一些特异的基因如超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和抗坏血酸酶等基因的表达,因此干旱初中期巨菌草的可溶性蛋白含量会增加。但胁迫达到一定强度后,细胞质膜过氧化,产生了使蛋白质失活的有毒物质,抑制了其合成或者是膜蛋白在过氧化过程中受到了伤害<sup>[12]</sup>,从而导致细胞内可溶性蛋白含量急剧下降。方差分析表明,巨菌草干旱胁迫各时期的可溶性蛋白含量与对照的差异都达到了显著( $P < 0.05$ )或极显著水平( $P < 0.01$ )。

## 2.5 干旱胁迫下巨菌草幼苗叶片游离氨基酸含量的变化

在渗透胁迫时,高等植物可通过积累一定的氨基酸以降低水势,维持体内水分平衡,保证植物正常生长。有研究发现,随着水分胁迫强度的增强,植物体内游离氨基酸含量大量增加<sup>[13]</sup>。图6表明,巨菌草幼苗叶片的游离氨基酸含量表现为随干旱胁迫加剧而持续增加的趋势,干旱胁迫初期,增加比较

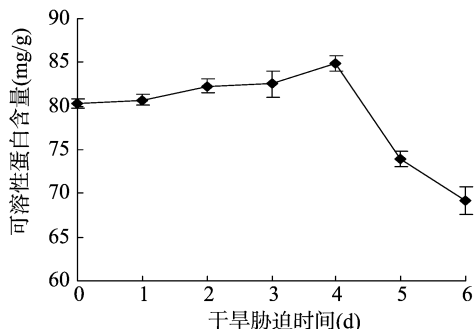


图5 干旱胁迫下巨菌草幼苗叶片可溶性蛋白含量的变化

缓慢,胁迫 2 d 后大幅增加,从对照的 1.57 倍上升为 4.07 倍。方差分析表明,巨菌草干旱胁迫各时期的游离氨基酸含量与对照相比,差异都达到了极显著水平( $P < 0.01$ ),各时期之间除了胁迫 4~5 d 之外,差异也达到了极显著水平( $P < 0.01$ )。

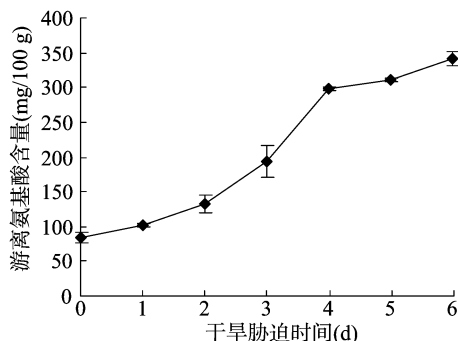


图6 干旱胁迫下巨菌草幼苗叶片游离氨基酸含量的变化

## 2.6 干旱胁迫下巨菌草幼苗叶片脯氨酸含量的变化

游离氨基酸在干旱时累积,包括脯氨酸和其他氨基酸以及酰氨,其中脯氨酸最重要。巨菌草幼苗叶片的脯氨酸含量变化规律与游离氨基酸基本一致,随着干旱胁迫时间的延长,都是呈持续上升的趋势,但上升的幅度有差异。巨菌草脯氨酸含量在干旱胁迫 0~1 d、2~4 d 和 5~6 d 3 个阶段极显著增加,而在 1~2 d 和 4~5 d 2 个阶段只有少量增加(图 7)。方差分析表明,巨菌草干旱胁迫各时期的游离氨基酸含量与对照相比,差异都达到了极显著水平( $P < 0.01$ ),各时期之间除了 1~2 d 和 4~5 d,差异也达到了极显著水平。

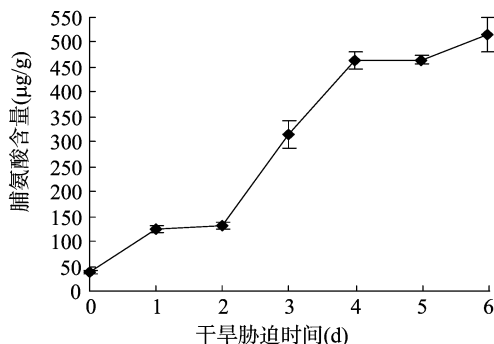


图7 干旱胁迫下巨菌草幼苗叶片脯氨酸含量的变化

## 3 讨论

### 3.1 干旱胁迫对巨菌草幼苗水分状况的影响

干旱条件下植物叶片含水量及水分组成的变化是反映植

物抗旱能力的重要指标,相对含水量是衡量植物叶片保水能力的一个常用指标,也反映植物在逆境胁迫下的水分亏缺状况。大量的研究表明,植物在受到干旱胁迫后,含水量、相对含水量会受到影响,随着干旱胁迫程度的加强而降低<sup>[14,15]</sup>。本试验的结果与此相似,随着干旱胁迫的加重即土壤水分的减少,巨菌草幼苗叶片的含水量、相对含水量呈逐步下降的趋势。在干旱胁迫初期,降幅比较平缓,此时巨菌草体内保持了较高的含水量和保水能力,这有利于抵抗干旱<sup>[14]</sup>;随着胁迫时间的延长,巨菌草的含水量、相对含水量急剧下降,说明巨菌草只能耐受轻度的干旱。另外,相关分析表明,巨菌草幼苗叶片的含水量与相对含水量呈显著正相关( $r = 0.81^*$ );土壤含水量与巨菌草相对含水量呈极显著正相关( $r = 0.91^{**}$ ),但与叶片含水量相关不显著( $r = 0.68$ )。

水势与土壤-植物-大气循环系统中的水分运动规律密切相关<sup>[16]</sup>,是一个反映植物水分亏缺的直接指标,其变化可以反映植物对环境的适应情况,也可以反映环境对植物的影响程度。在干旱胁迫条件下植物叶水势降低越多,说明其体内遭受的水分亏缺越严重。从图 4 可知,在干旱胁迫条件下,巨菌草幼苗叶片水势呈现下降趋势,在干旱胁迫初中期的 0~3 d 下降平稳,以较高水势抵御干旱,说明巨菌草有较强的干旱适应能力,当土壤水分不足时在一定限度内能忍受水分亏缺。在干旱胁迫中后期的 3~6 d,巨菌草幼苗叶片水势降低极明显,最终降至 -3 MPa 以下,说明胁迫中后期巨菌草处于严重干旱状态,超过了其水分亏缺忍受的程度。

叶片处于土壤与大气之间,其水势的变化必定受两者的影响和控制,土壤-植物根系-叶片-大气组成了植物生长的水分传输系统,由土壤到大气的水势梯度决定了水分传输的速率,其中叶片水势是植物根系吸水及水分从植物体向外扩散的关键因素。干旱胁迫导致土壤水势下降,此时土壤中水的输送阻力升高,也即根系的吸水速率下降,根系与土壤间的水势差明显加大(图 4),导致植株内叶片水势相应降低<sup>[17]</sup>。相关分析表明,巨菌草幼苗 3 种水势之间都有极显著的正相关,其中根系与土壤水势的相关性( $r = 0.91^{**}$ )最高,叶片与根系水势的相关性( $r = 0.89^{**}$ )次之,叶片与土壤水势相关性( $r = 0.86^{**}$ )相对较小。

### 3.2 干旱胁迫对巨菌草幼苗渗透调节物质的影响

渗透调节是植物应对干旱胁迫的一种重要生理调节机制。在干旱胁迫下植物通过积累可溶性蛋白、脯氨酸及游离氨基酸等渗透调节物质,降低体内渗透势,维持细胞膨压,从而确保植株的正常生长,其累积量的多少可反映出植株所受干旱胁迫程度的高低<sup>[18-20]</sup>。

可溶性蛋白容易受到逆境胁迫的影响,是一种比较重要的有机调节物质,其含量可以作为植物抗逆性的指标。高含量的可溶性蛋白质有助于维持植物细胞较低的渗透势水平、增强耐脱水能力、保护细胞结构并且延缓衰老,以抵御干旱胁迫引起的伤害<sup>[21]</sup>。薛建鹏等的研究表明,2 种施肥处理的白桦叶片中可溶性蛋白的质量分数在干旱的前期和中期均呈上升的趋势,在后期急剧下降<sup>[22]</sup>,本试验的研究结果与此一致,随着干旱胁迫度的加深,巨菌草幼苗叶片的可溶性蛋白含量也呈先增加后减少的趋势。这说明在干旱胁迫的初中期,巨菌草幼苗主动提高可溶性蛋白的含量,保护植株免受干旱胁迫

迫伤害,表现出一定的耐受性。在干旱胁迫后期即重度胁迫阶段,巨菌草可溶性蛋白含量减少可能是由于蛋白酶的活性升高使其水解加快,游离氨基酸(包括脯氨酸)增加,以及干旱使 RNA 转录和翻译受到抑制,蛋白质合成减少所致<sup>[23]</sup>。

在逆境胁迫下,游离氨基酸可以维持细胞内水势,解除物质毒害和储存氮物质等。研究证实,在水分胁迫下,植物可通过游离氨基酸的累积参与渗透调节,通过渗透势的改变来维持膨压,进而抵御干旱的影响<sup>[24]</sup>。本研究中,在干旱胁迫条件下,随胁迫程度的加剧,巨菌草幼苗叶片内游离氨基酸含量持续增加,增加的游离氨基酸可以增强其保水和持水能力,提高其抗旱性。

脯氨酸溶解度高,水合作用强,可提高原生质渗透压,防止和减少水分散失,对原生质有保护作用<sup>[25]</sup>。本研究中,干旱胁迫较严重时,巨菌草幼苗叶片脯氨酸含量大幅度提高,胁迫越重,积累越多,是正常供水的近 14 倍,这说明在轻微干旱胁迫情况下,巨菌草幼苗可以保持正常状态。随着胁迫程度的加剧,脯氨酸含量急剧增加,是巨菌草对干旱环境的一种适应,这与黄承建等对苧麻的研究结果<sup>[26]</sup>一致。相关分析表明,巨菌草幼苗叶片脯氨酸含量和游离氨基酸含量存在极显著的正相关( $r = 0.99^{**}$ )关系,说明脯氨酸是游离氨基酸中最有效的渗透调节物质。干旱胁迫时,巨菌草叶片内可溶性蛋白、游离氨基酸和脯氨酸大量积累是其主动进行渗透调节的一种反应,也反映出其对干旱环境的适应性变化,提高了其抗逆适应性。

#### 4 结论

综上所述,巨菌草幼苗在干旱胁迫作用下,通过调整水分代谢,提高可溶性蛋白、游离氨基酸和脯氨酸含量来增强自身的抗旱性,有效防止了渗透胁迫等对植物的伤害,初步证明巨菌草幼苗对干旱胁迫有较强的适应能力。作为优质高产的菌草,巨菌草适合在干旱少雨的荒漠区、干旱坡地、沙荒地及干旱瘠薄山地大力推广种植。

#### 参考文献:

- [1] 卢麒麟,唐丽荣,林雯怡,等. 巨菌草制备纳米纤维素及其表征[J]. 草业科学,2013,30(2):301-305.
- [2] 丁 铭,白 璐,王龙清. 巨菌草引进试验及栽培种植技术[J]. 农村科技,2013(12):60-61.
- [3] 李志文. 巨菌草作为能源草的特性研究[J]. 农业工程技术·新能源产业,2013(6):12-15.
- [4] 郭新红,喻达时,王 婕,等. 6 种植物中木质纤维素含量的比较研究[J]. 湖南大学学报:自然科学版,2008,35(9):76-78.
- [5] 林兴生,林占熺,林冬梅,等. 不同种植年限的巨菌草对植物和昆虫多样性的影响[J]. 应用生态学报,2012,23(10):2849-2854.
- [6] 林兴生,林占熺,林冬梅,等. 低温胁迫 5 种菌草的抗寒性评价

- [J]. 草业学报,2013,22(2):227-234.
- [7] 林兴生,林占熺,林冬梅,等. 5 种菌草苗期抗盐性的评价[J]. 福建农林大学学报:自然科学版,2013,42(2):195-201.
- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2000:289.
- [9] 邹 琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000:11-12.
- [10] 宋敏超,杜广明,冯朝阳,等. 呼伦贝尔典型草原四种优势植物水势日变化规律研究[J]. 中国草地学报,2012,34(5):114-119.
- [11] 李合生,孙 群,赵世杰,等. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:258-259.
- [12] 陈少裕. 膜脂过氧化对植物细胞的伤害[J]. 植物生理学通讯,1991,7(2):84-90.
- [13] 季 杨,张新全,彭 燕,等. 干旱胁迫对鸭茅根、叶保护酶活性、渗透物质含量及膜脂过氧化作用的影响[J]. 草业学报,2014,23(3):144-151.
- [14] 龚记熠,彭毅秋,张冬林,等. 干旱胁迫对引种辣椒生长特性的影响[J]. 广东农业科学,2014,41(2):54-56,69.
- [15] 王东清,李国旗,王 磊. 干旱胁迫下红麻和大麻状罗布麻水分生理及光合作用特征研究[J]. 西北植物学报,2012,32(6):1198-1205.
- [16] 付爱红,陈亚宁,李卫红,等. 干旱、盐胁迫下的植物水势研究与进展[J]. 中国沙漠,2005,25(5):744-749.
- [17] 王百田,张府娥. 黄土高原主要造林树种苗木蒸腾耗水特性[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2003,27(6):93-97.
- [18] 蔡志翔,许建兰,张斌斌,等. 桃不同砧木类型对持续干旱的响应及其抗旱性评价[J]. 江苏农业学报,2013,29(4):851-856.
- [19] 王东清,李国旗,苏德喜. 干旱胁迫对两种罗布麻渗透调节物质积累和保护酶活性的影响[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(12):177-181.
- [20] 张小娟,宋 涛,甄晓辉,等. 模拟干旱胁迫对转 C<sub>4</sub> 双基因水稻幼苗光合功能及部分抗氧化酶活性的影响[J]. 江苏农业学报,2014,30(4):709-715.
- [21] 时冉冉,刘志华. 干旱胁迫对苜蓿抗氧化酶和渗透调节物质的影响[J]. 草地学报,2010,18(5):673-677.
- [22] 薛建鹏,王秋玉,任 欢. 干旱胁迫下白桦主要生理指标的变化及相互关系[J]. 东北林业大学学报,2007,35(8):12-15.
- [23] 谢志玉,张文辉,刘新成. 干旱胁迫对文冠果幼苗生长和生理生化特征的影响[J]. 西北植物学报,2010,30(5):948-954.
- [24] Bohnert H J, Nelson D E, Jensen R G. Adaptations to environmental stresses[J]. The Plant Cell,1995(7):1099-1111.
- [25] Anjum S A, Xie X Y, Wang L C, et al. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress[J]. African Journal of Agricultural Research,2011,6(9):2026-2032.
- [26] 黄承建,赵思毅,王龙昌,等. 干旱胁迫对杂交苧麻脯氨酸积累、膜脂过氧化及抗氧化酶活性的影响[J]. 中国麻业科学,2013,35(2):57-62.