

草坪草抗性研究进展

刘 刊, 耿士均, 商海燕, 权俊娇, 王 波

(苏州大学园艺系, 江苏 苏州 215123)

摘要:草坪是人类生态系统的重要组成部分之一。近年来,随着我国人民生活水平的提高和观念的改变,草坪业发展迅速,草坪得到广泛应用。本文从种子发芽、根系构型、光合特征和生理生化参数等角度综述了草坪草在抗旱性、抗涝性、抗热性、抗寒性、抗盐性等方面的研究现状,草坪草的上述抗性的强弱因草坪草的品种和试验条件的不同而有明显的差异。同时,还综述了通过施用肥料、添加微生物和生长调节物质来提高草坪草的抗性,为进一步开展抗性研究提供一些思路,为提高植物抗性提供有效途径。

关键词:草坪草;抗性;进展

中图分类号:S812;Q945.7

文献标识码:A

文章编号:1001-0629(2012)07-1058-07

* 1

草坪指多年生低矮草本植物在天然形成或人工建植后经养护管理而形成的相对匀称、平整的草地植被。草坪草指能够经受一定修剪而形成草坪的草本植物^[1]。草坪不仅美化人类的生活环境,提供优美、舒适的活动和休憩场所,促进人类的身心健康,而且还具有重要的生态效益,它能固定表土、减少水土流失,净化空气、水源,改善小气候,降低噪声、光和视觉污染,调节大气温度与湿度,改良土壤结构、改造废地,减灾和防灾等。目前,草坪已被广泛应用于环境保护、城市建设、园林景观、体育场地、娱乐休闲等各个领域,体现了巨大的生态效益、美学价值和娱乐功能。

在干旱、洪涝、低温、高温、盐碱等不良环境条件下,草坪草均能够表现出一定限度的忍受能力,这种对不良环境的抵抗和忍耐能力被称为草坪草的抗性^[2]。研究草坪草在逆境条件下的生命活动规律和忍耐或抵抗机理既有重要的现实意义,也有重大的理论价值。

研究草坪草与温度^[3]、干旱胁迫^[4]、不同基质和不同盐分浓度^[5]之间的相互关系时,发现草坪草有一定的抗胁迫能力,而且这种能力可以因胁迫强度和草坪草品种的变化而变化。

1 草坪草抗旱性研究

抗旱性是指植物通过一定的抗旱方式在长期干旱胁迫状况下生存的能力^[6]。抗旱性是一个多种因

素相互作用构成的综合性状,单一的指标不能全面而准确地反映抗旱性的大小,应对所测的指标进行综合分析。评价抗旱性是多方面的,主要是研究草坪草在干旱条件下,渗透调节[脯氨酸(Pro)^[7-8]、可溶性糖(WSS)含量^[9]、蒸腾速率(T_r)^[10-11]、光合与呼吸作用^[12]、细胞膜透性^[13-14]、酶[超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)]^[15-16]活性以及植物体内激素水平等生理生化因子的响应情况,同时也有研究草坪质量^[17]、根系分布^[18]、叶面积、叶片相对含水量(RWC)^[11,19]、气孔开张度^[20]与草坪草抗旱性的响应情况,以及草坪草在萌发期的抗旱特性^[21]。

抗旱性因不同植物、器官、胁迫处理强度和时间而异。在草坪草的渗透调节物质中,以对 Pro 的研究最多。干旱胁迫下叶片 Pro 含量显著增加,且 Pro 高峰期出现的早晚、峰值的高低可以较好地反映出草坪草的抗旱能力^[7-8]。干旱胁迫时间越长,叶片中的 WSS 含量增加的越多^[9]。抗旱性强的品种具有较高的瞬时水分利用效率和较低的 T_r 、自由水含量、细胞间隙 CO_2 浓度(C_i)以及干旱胁迫下较小的相对电导率变化^[10]。在干旱胁迫下,钝叶草(*Stenotaphrum secundatum* cv. Bitter blue)的 RWC、 T_r 、光饱和点低于高羊茅(*Festuca arundinacea*),水分利用率、表观量子产额则高于高羊茅,钝叶草比高羊茅更具有高光效和水分利用率,更适应

收稿日期:2011-09-28 接受日期:2012-02-24
作者简介:刘刊(1987-),女,贵州遵义人,在读硕士生,研究方向为植物栽培与生理。E-mail:liukanliketvb@126.com
通信作者:王波 E-mail:wangb@suda.edu.cn

于干旱环境^[11]。干旱胁迫显著降低了假俭草(*Eremochloa ophiuroides*)的最大荧光、可变荧光、PS II 最大光化学量子产量和 PS II 潜在活性及光合量子产额,而对基础荧光、光化学猝灭系数和非光化学猝灭系数没有产生显著影响^[12]。有研究表明^[13],与细胞膜的合成、细胞壁松弛、细胞膨压的维持和抗氧化防御有关的蛋白质可能促进多年生草对聚乙二醇(PEG)诱导水分胁迫的适应性。随着干旱胁迫的加剧,草坪草相对电导率呈增加趋势,草坪草的相对电导率与土壤含水量、Pro 含量之间呈极显著相关^[14]。对潜在的活性氧伤害植物有精细而复杂的防御体系,保护细胞膜与细胞器不受活性氧的伤害,以保证细胞的正常机能。陈雅君等^[15]采用温室盆栽、人工梯度控水干旱处理方法,分析了 POD、SOD 和 CAT 及丙二醛(MDA)在 4 个草地早熟禾(*Poa pratensis*)品种中的变化规律。结果表明,POD 和 SOD 活性在整个干旱过程中,均呈先增加后降低的趋势,而 CAT 活性呈下降趋势,MDA 含量呈上升趋势且品种间存在差异。不同保护酶的活性在不同品种中表现不同。荣秀连^[18]研究表明,干旱胁迫对高羊茅、黑麦草(*Lolium perenne*)、匍匐剪股颖(*Agrostis stolonifera*)的根系活力(RV)有一定的促进作用,并随着干旱胁迫强度的增大,促进作用越明显。轻度干旱胁迫下根系总长增大,总表面积、总体积均减小,随着干旱胁迫强度的增加,根系总长、总表面积、总体积均显著下降,复水后均出现补偿性生长。石永红等^[19]研究表明,随着干旱胁迫程度的加重,6 个黑麦草品种的 RWC 均有所下降。冯淑华^[20]研究表明,黑龙江省乡土品种扁秆早熟禾(*Poa pratensis* var. *anceps*)在干旱 21 d 时的气孔开放程度均比干旱 7 d 时的小。不同草坪草对抗干旱胁迫除了在调整植物生理生化参数方面有显著差异之外,在基因水平上也有显著差异。目前,对草坪草在干旱胁迫下的逆境诱导蛋白的研究还处于起步阶段。在逆境下植物的基因表达可能发生改变,植物会关闭一些正常表达的基因,启动一些与逆境相适应的基因。徐筱等^[22]研究发现 *AsEXPI* 基因的表达与草坪草品种的抗旱性显著正相关,即在耐旱草坪草品种上表达,而在不耐旱草坪草品种上不表达。干旱胁迫下,种子发芽率可以作为幼苗的抗旱性指标。种子的相对发芽率随 PEG 浓度的增加呈下降趋势。种子对低浓度 PEG 有一定的耐受程度,且在较低

PEG 浓度下能刺激种子的发芽率,当超过植物种子对干旱胁迫耐受程度时,种子就不能萌发^[21]。

2 草坪草抗涝性研究

目前有关草坪草耐淹性的研究较少,对淹水胁迫下草坪草的生理指标变化主要是 WSS^[23]、MDA^[24]、净光合速率(P_n)、叶绿素(Chl)^[25]、相对电导率、Pro 和 POD、SOD^[26]活性等。

刘可心等^[23]研究不同程度淹水对 8 种草坪草的 WSS 含量的影响,结果表明,草种淹水的时间与 WSS 含量之间存在正相关关系,草种受淹时间越长,其 WSS 含量越高,草种的生命力越弱。之后就不同程度淹水对 10 种草坪草的 MDA 含量的影响表明^[24],在半淹水的条件下,随淹水胁迫时间的延长,10 种草坪草的叶片 MDA 含量逐渐增加。在淹水胁迫下,根系缺氧也会影响叶片的光合作用。李萍萍和蒋洁^[25]研究了不同程度淹水对几种景观牧草光合作用的影响,结果表明,牧草淹水处理时间与牧草叶片 Chl 相对含量呈负相关,即牧草受淹时间越长,其 Chl 相对含量越低;耐淹性差的牧草淹水处理时间与 P_n 呈负相关,即牧草受淹时间越长,其 P_n 越小,牧草的生命力越弱。淹水胁迫下,植物通过抗氧化酶活性的增加,有效清除活性氧自由基,减轻其对细胞膜的伤害。胡化广等^[26]以结缕草(*Zoysia japonica*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)、高羊茅等 5 种草坪草为供试材料,发现随水涝时间的延长,叶片枯黄率逐渐增加,相对电导率、SOD 和 POD 活性以及 Pro 含量在淹水胁迫 15 d 时均比对照明显增加。

3 草坪草抗热性研究

在高温胁迫下,植物的生长指标(发芽指数^[27]、叶片灼伤率^[28]、伤害率^[29]、生长率、RWC^[30])、形态结构(草坪质量、根系分布^[28]、根冠比、表皮蜡质^[31])、细胞解剖结构(叶绿体、线粒体)^[32-33]、光合与呼吸作用[Chl^[34]、类胡萝卜素(Car)、 P_n ^[35]]、渗透调节物质可溶性蛋白(SP)、WSS^[36]]、抗氧化酶活性(SOD^[37]、POD^[31]、CAT)、MDA 含量^[37]、叶片内源激素[脱落酸(ABA)、赤霉素(GA_3)、吲哚乙酸(IAA)^[36]]均发生大幅度变化,以使植物能够尽量维持正常的生长发育。

张鹤山等^[27]研究表明,随温度的升高,各品种种子相对发芽率和相对发芽指数逐渐下降;且随高温胁迫时间的延长,各品种叶片均出现不同程度的灼伤。随着温度的升高,12 个多年生黑麦草品种叶

片的伤害率均先增加,然后略有下降,最后又缓慢增加,表现出典型的“S”型曲线^[29]。李迪昂等^[30]研究表明,随高温胁迫时间的延长,各品种草坪草植株生长率均呈显著下降趋势,RWC 均呈先上升后下降的趋势。张巨明等^[28]研究表明,在高温胁迫下,草坪草热害症状最初表现为叶片发生萎蔫,生长减缓或停滞,但其最先反映在叶片灼伤率上,受害最终表现为草坪盖度和根系生长量的下降。王晓洁^[31]研究表明,高温胁迫下,狗牙根和黑麦草均有蜡质层增厚情况出现,以减少水分损失,增加抗高温胁迫的能力。在高温或干旱胁迫下,3 个多年生黑麦草品种叶肉细胞最敏感的细胞器是叶绿体,其次是线粒体^[32]。光合作用是植物物质转换和能量代谢的关键,对高温胁迫特别敏感。耐热品种在高温环境下,草坪草 Chl 含量越高,叶片的光合作用就越强,植物的生长状况就越好,抗性越强^[34]。Liu 和 Huang^[35]研究表明,耐热的植物维持较高的 P_n 、Chl、Car 含量,光合作用对不断增高的温度的响应主要是匍匐剪股颖的抗热性与维持较高的聚光能力和固碳活性有关。渗透调节是植物耐热和抵御高温的重要生理机制。在高温胁迫下,结缕草的叶片 WSS、SP、Pro 等渗透调节物质含量都有不同程度的增加^[36]。随高温胁迫时间的延长,高羊茅各株系的 MDA 含量变化均呈升高趋势,SOD 活性呈先升高后降低趋势^[37]。高温胁迫下,在不同时间内 POD 值亦呈先上升后下降趋势^[31];CAT 活性可以极显著提高,同时 ABA 含量增加,GA₃、IAA 含量下降^[36]。

4 草坪草抗寒性研究

抗寒性的强弱是草坪草又一重要特性。在低温胁迫下,草坪草在形态结构及生理生化上发生一定的变化来适应或者抵御逆境,主要表现为气孔、叶片解剖结构变化^[38-39],Chl 含量下降^[40],Pro 积累^[41-42],可溶性物质(如蛋白质^[43]、糖^[44]等)、酶^[43,45][抗坏血酸过氧化物酶(APX)、SOD、CAT、POD 等]的活性也变化,MDA 含量变化^[45],细胞膜系统变化^[46],因此出现了一系列代谢障碍,有毒物质积累以及异常代谢引起的某些必需的中间产物匮乏等。

狗牙根品种气孔的长度和宽度随着温度的降低呈减小趋势,而气孔密度随着温度的降低呈增大趋势,气孔宽度和密度越小的品种,耐寒性越强;叶片厚度越大、中脉维管束直径、大维管束直径越小的品

种,耐寒性越强^[38]。结缕草能对外界水分剧烈变化做出迅速反应,可以忍受较长时间的低温。而假俭草为典型的等面叶,叶表皮泡状细胞分化较少,低温时叶片只能对折而不能进一步卷曲,因此在抗寒时不能发生叶片收缩的适应性变化,抗寒能力低于结缕草^[39]。在不同低温胁迫下,高羊茅叶片 Chl 含量随胁迫时间的延长而下降,温度越低下降越快^[40]。杜永吉等^[41]研究表明,低温胁迫下,Pro 积累多的草坪草抗寒性强,结缕草“兰引 3 号”抗寒性最强。孙宗玖^[42]研究表明,Pro 含量高峰出现的早晚与植物抗寒能力的强弱有关;聚丙烯酰胺凝胶电泳发现抗寒性强的新农一号狗牙根(*C. dactylon* cv. Xinnong No. 1)的 POD 同工酶条数多于喀什狗牙根和天堂草。在低温胁迫下,耐寒的假俭草 5 号光合速率受抑制较小与叶片 WSS 含量积累较多有关,而对低温敏感草种的叶片 WSS 积累较少^[44]。随温度的降低,各品种的相对电导率都缓慢上升,MDA 含量呈现升高的趋势,特别是降到-5℃以后,增加趋势更加明显,SOD 活性都呈下降趋势^[45]。在低温胁迫下,4 种结缕草叶片中 H₂O₂ 和 MDA 含量增加,APX 活性持续降低,POD 和 CAT 活性先降低再升高,SP 在冷胁迫过程中持续增加^[43]。低温等外界伤害对植物的伤害首先作用于细胞膜上,即破坏细胞膜的完整性。目前,相对电导率已成为衡量植物受伤害程度的常用指标。池春玉等^[46]采用短期低温胁迫处理紫羊茅(*F. rubra*)、草地早熟禾优异和抢手股 3 种冷季型草坪草,结果表明,在 5℃低温胁迫下,相对电导率的增加表现为紫羊茅>优异>抢手股。

5 草坪草抗盐性研究

盐胁迫下,草坪草通用改变自身的外部形态、调节渗透能力、采取脱水保护、改变膜透性、增加酶活性等来适应环境。发芽率,生物量^[47-48],绿叶率,株高,蓬径^[49],Pro 含量,细胞膜伤害率,MDA 含量,SP 含量,Chl 含量^[50],Car 含量,酶活性^[51], P_n ,植物根中的 K⁺、Na⁺ 向地上部运输的选择性(RS_{K⁺,Na⁺}值),气孔导度(G_s)^[52]及 K⁺/Na⁺^[53],Ca²⁺,氨基酸含量^[54]等生理生化指标能够突出而有效地反映出草坪草的耐盐能力。

盐胁迫不但降低草坪种子的发芽率,使萌发延迟,而且抑制幼苗生长。王娜和李海梅^[47]、张志等^[48]对高羊茅、紫羊茅、匍匐剪股颖和细弱剪股颖

(*A. tenuis*) 4 种草坪草种子在不同盐浓度胁迫下的发芽率、生物量进行了研究。结果表明,随着盐溶液浓度的增加,发芽率和生物量与对照相比均有所下降,变化幅度较大。随盐胁迫时间的延长,2 种蓝羊茅(*F. glauca*)的绿叶率、株高、蓬径均下降,观赏价值也受到严重影响^[49]。在不同浓度 NaCl 溶液胁迫下,6 个品种草坪草叶片 Pro 含量、细胞膜伤害率、MDA 含量、Chl 含量随盐溶液浓度的增加而增大,SP 含量随盐浓度的增加而减小^[50]。随着 NaCl 浓度的增加,高羊茅幼苗的 Car 含量和 SOD 活性总体呈上升趋势,POD 活性总体呈先升再降的趋势^[51]。周兴元^[52]从生长、生理、光合特性、营养元素吸收等方面,研究了假俭草、结缕草和沟叶结缕草(*Z. matrella*) 3 种草坪草在土壤盐分胁迫下的生理响应规律,随盐分胁迫强度的加大,草坪草的各金属离子与 Na^+ 浓度之比均下降, $\text{RS}_{\text{K}^+ \cdot \text{Na}^+}$ 值逐渐下降,假俭草与结缕草的 P_n 、 G_s 逐渐下降。NaCl 浓度的增加使高羊茅地上部干物质质量、 K^+ 的相对含量、 K^+/Na^+ 吸收降低, Na^+ 的相对含量增高;胁迫时间对 K^+ 、 Na^+ 含量的影响显著^[53]。Mansoor 和 Muhammad^[54]研究表明,狗牙根的耐盐性强是由于根对 Na^+ 的吸收受到抑制,同时对 K^+ 、 Ca^{2+} 的吸收增加,以及芽的光合能力较高和有机渗透调节物质的积累,如游离氨基酸、Pro。

6 草坪草双重胁迫研究

目前,已有一些关于双重胁迫协同效应的报道,如高温和干旱多是同时存在的,高温会加剧水分胁迫,研究双重胁迫以及多重胁迫有一定的现实意义。刘金荣等^[55]选用草地早熟禾的 5 个品种作为试验材料,研究干热胁迫和复水对草坪草光合生理的影响,结果显示,在干热胁迫初期,5 个草坪草品种的土壤含水量(SWC)和 P_n 、 T_r 、叶片荧光参数(F_v/F_m)呈下降趋势, G_s 、 C_i 却呈现出缓慢上升趋势;随着干热胁迫时间的延长,以上 6 个指标不同程度地呈现出明显的下降趋势。复水处理后,各个品种的 6 个指标明显恢复,复水 10 d 后均能恢复到正常供水值的 60% 以上。包永霞等^[56]对转 *DREB1A* 基因多年生黑麦草 T_1 代种子和多年生黑麦草非转化植株 F_1 代种子分别用 1.5% NaCl 溶液、15% PEG 溶液、1.5% NaCl+15% PEG 进行处理。结果表明,*DREB1A* 对 3 种胁迫的抗性强度为 $\text{NaCl} > \text{PEG} > \text{NaCl} + \text{PEG}$ 。RWC、存活率等指标的测定,结果表

明,*DREB1A* 对 3 种胁迫的抗性强度为 $\text{PEG} > \text{NaCl} > \text{NaCl} + \text{PEG}$; *DREB1A* 对 3 种胁迫的抗性强度为 $\text{NaCl} > \text{NaCl} + \text{PEG} > \text{PEG}$ 。*DREB1A* 对 NaCl、PEG 单独胁迫和 NaCl+PEG 双重胁迫均具有一定程度抗性,比非转化植株的抗性明显增强。

7 提高草坪草抗性的途径

许多研究表明施肥能提高草坪草的抗性。焦晋川和陈琳^[57]在不同干旱程度下采用不同浓度钾肥对 3 个多年生黑麦草品种进行处理,干旱环境下一一定浓度的钾肥能显著促进种子发芽率、增大叶片厚度和根冠比,从而提高多年生黑麦草的抗旱能力。舒钰和刘晓东^[58]研究表明适当的施用磷肥能增强草坪草的抗旱能力。沈花^[59]研究了叶面喷施 N、P、K 营养对草地早熟禾耐热性的影响。结果表明,在高温胁迫下,叶面喷施 NH_4NO_3 和 $\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3$ 的效果较好,能够显著提高叶片的光化学效率、SOD、POD、CAT 活性和 Chl 含量,降低相对电导率、MDA 含量,而叶片喷施 KH_2PO_4 的效果相对较差。

也有研究表明微生物对植物抗性有促进作用。吉云秀和黄晓东^[60]从盐生植物根际土中分离得到 4 株含 1-氨基环丙烷-1-羧酸脱氨酶的植物促生菌,研究表明,4 株菌对 NaCl 盐分胁迫下的燕麦(*Avena sativa*)和黑麦草幼苗均表现出显著地缓解促生效应,其中假单胞菌属 S1 最显著。胡桂馨^[61]研究表明,带菌植株在干旱胁迫下,WSS 在干旱后期极显著高于不带菌植株,在极度干旱条件下,表现尤为明显;干旱胁迫下,带菌植株在抗旱形态特征表现均优于不带菌植株,其根量、卷叶率均高于不带菌植株;干旱后的恢复率带菌植株达到 70%,而不带菌植株不到 2%。

使用生长调节物质也能提高草坪草的抗性。刘建新等^[62]研究表明硅能提高盐胁迫下多年生黑麦草幼苗活性氧的清除能力,保护光合机构,改善光合功能,从而增强植株的耐盐性。同时适宜浓度的硼可通过提高盐胁迫下根系清除活性氧和渗透调节的能力,降低植株的膜脂过氧化,从而增强黑麦草的耐盐性^[63]。也有研究表明,硅除了促进 Pro 和蔗糖的显著增加,同时保持 SOD、POD、CAT 活性显著增大,特别是低温胁迫下的 MDA 趋于平缓。硅能提高草坪草的抗冷性,通过维持稳定的细胞膜和有益的细胞状态,随时应对低温胁迫诱导的氧化抗性^[64]。杜红豆等^[65]、付丽娟等^[66]研究表明,对草坪

草喷施水杨酸(SA)能够提高 Pro 含量,降低相对电导率和 MDA 含量,提高细胞 SOD、POD、CAT 等多种抗氧化酶的活性,说明喷施 SA 能够提高草坪草抗盐性。且 SA 根际浇灌有效促进了抗氧化保护酶活性的提高,减轻了干旱对黑麦草的伤害,增强了抗旱性^[67]。Rober 和 Shatters^[68]研究发现,乙烯利处理的‘Tifton85’狗牙根比未处理的所受到的干旱威胁小。马艳华^[69]研究表明,在黑麦草生长时期叶片喷施烯效唑,能提高黑麦草抗旱性。王齐等^[70]对 4 种草坪草进行连续干旱盆栽试验,结果表明,施加土壤改良剂 YNEC 后,不同的草种的施用效果反应不同,SOD、POD、CAT 活性值初期低于对照,而后又能高于对照,具有敏感的反应机制,可能是施加土壤改良剂后在一定程度上能提高植物抗旱性的主要原因。袁惠燕等^[71]研究表明,干旱条件下适量的保水剂可以提高土壤的含水量,对草坪草种子出苗及生长具有一定促进作用。随着保水剂用量增加,施用保水剂的草地早熟禾生长指标及生理指标(相对电导率、Pro、RWC、Chl、蛋白质)均比对照组明显提高,但各用量之间的差异显著性在各指标中表现不同^[72]。于明礼^[73]研究表明,在高温胁迫下,喷施多效唑后,草坪草的 Chl 含量下降速度减慢,Pro 积累缓慢,RWC 较高,细胞膜透性受高温伤害程度比较小。Lu 等^[74]研究 ABA 对三倍体狗牙根抗旱性的影响,表明在干旱胁迫下,经 ABA 处理的狗牙根的 SOD 和 CAT 活性以及 RWC 较高。

8 展望

植物的抗性是一个复杂的生物学现象,指标间存在相互作用,不应根据单个指标来衡量草坪草的抗性,应进行系统科学的研究,考虑多个指标(生理生化指标、形态指标、分子水平等)进行综合评价,才能更全面和深入地认识草坪草的抗逆机理。植物经历某种逆境后,能提高对另一些逆境的抵抗能力。而目前对双重胁迫、多重胁迫的研究较少,应加大这方面的研究,为草坪草的抗性鉴定和选育工作提供一定的科学参考。

参考文献

[1] 胡林,边秀举,阳新玲. 草坪科学与管理[M]. 北京:中国农业大学出版社,2001.
[2] 侯天荣. 植物生长调节剂对草坪草抗性生理的影响[J]. 贵州农业科学,2010,38(4):42-44.

[3] 宋采博,王波. 不同温度对白三叶种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 湖北农业科学,2009,48(11):2772-2774.
[4] 荣秀连,王波,刘刊,等. PEG-6000 模拟干旱胁迫对冷季型草坪种子萌发特性影响[J]. 北方园艺,2010(8):80-82.
[5] 李飒飒,王波,李颖. 不同基质和不同盐分浓度对绿化植物种子发芽的影响[J]. 草业与畜牧,2009(7):40-42.
[6] 徐炳成,山仑,黄占斌. 草坪草对干旱胁迫的反应及适应性研究进展[J]. 中国草地,2001,23(2):55-61.
[7] 万里强,李向林,石永红,等. PEG 胁迫下 4 个黑麦草品种生理生化指标响应与比较研究[J]. 草业学报,2010,19(1):83-88.
[8] 周兴元,曹福亮,陈国庆. 四种暖季型草坪草几种生理指标与抗旱性的关系研究[J]. 草原与草坪,2003(4):29-32.
[9] 辛金霞,戎郁萍,刘荣堂. 羊茅黑麦草、高羊茅及一年生黑麦草苗期抗旱生理初探[J]. 草原与草坪,2011(1):79-83.
[10] 李艳秋,尹伟伦,夏新莉. 干旱胁迫下四种冷季型草坪草的生理反应[J]. 草地学报,2007,15(2):164-167.
[11] 葛晋纲,蔡庆生,周兴元,等. 土壤干旱胁迫对 2 种不同光合类型草坪草的光合特性和水分利用率的影响[J]. 草业科学,2005,22(4):103-107.
[12] 代微然,任健,墨继光. 干旱胁迫对假俭草叶绿素荧光特性的影响[J]. 草原与草坪,2010(5):1-5.
[13] Xu C P, Huang B R. Differential proteomic responses to water stress induced by PEG in two creeping bentgrass cultivars differing in stress tolerance[J]. Journal of Plant Physiology,2010(167):1477-1485.
[14] 杜继琼,曹社会. 二种冷季型草坪草对土壤干旱胁迫的生理反应[J]. 西北农业学报,2007,16(3):60-63.
[15] 陈雅君,祖元刚,刘慧民,等. 干旱对草地早熟禾膜质过氧化酶和保护酶活性的影响[J]. 中国草地学报,2008,30(5):32-36.
[16] 金忠民. 干旱胁迫对三种冷季型草坪草保护酶的影响[J]. 北方园艺,2008(9):120-122.
[17] 段碧华,尹伟伦,韩宝平,等. 不同 PEG-6000 溶液浓度处理下几种冷季型草坪草抗旱性比较研究[J]. 中国农学通报,2005,21(8):247-251.
[18] 荣秀连. 三种冷季型草坪草抗旱性研究与评价[D]. 苏州:苏州大学,2010.
[19] 石永红,万里强,刘建宁,等. 干旱胁迫对 6 个坪用多年生黑麦草品种抗旱性的影响[J]. 草地学报,2009,17(1):52-57.
[20] 冯淑华. 早熟禾不同品种苗期抗旱性研究[D]. 哈尔

- 滨:东北林业大学,2003.
- [21] 辛金霞,李春燕,刘荣堂,等. 一年生黑麦草、高羊茅及杂交羊茅黑麦草种子萌发期抗旱性研究[J]. 湖南农业科学,2010(5):121-124.
- [22] 徐筱,黄炳如,徐吉臣. 剪股颖 *AsEXPI* 基因的抗旱性分析[J]. 北京林业大学学报,2010,32(5):126-131.
- [23] 刘可心,张哲,何玲玲,等. 不同程度淹水对 8 种草种的可溶性糖含量的影响[J]. 草业与畜牧,2009(2):25-27,53.
- [24] 刘可心,张哲,何玲玲,等. 不同程度淹水对 10 种草种的 MDA 含量的影响[J]. 草业与畜牧,2010(2):20-22.
- [25] 李萍萍,蒋洁. 不同程度淹水对几种景观牧草光合作用的影响[J]. 江苏农业科学,2004(4):180-183.
- [26] 胡化广,张振铭,沈晓华. 五种草坪草对水涝胁迫的反应及耐涝评价[J]. 草地学报,2011,19(2):253-256.
- [27] 张鹤山,刘洋,田宏,等. 19 个紫花苜蓿品种的耐热性研究[J]. 中国草地学报,2008,30(6):16-21.
- [28] 张巨明,解新明,董朝霞. 高温胁迫下冷季型草坪草的耐热性评价[J]. 草业科学,2007,24(2):105-109.
- [29] 石永红,万里强,刘建宁,等. 多年生黑麦草高温半致死温度与耐热性研究[J]. 草业科学,2010,27(2):104-108.
- [30] 李迪昂,孙彦,张芸芸,等. 不同种类冷季型草坪草品种耐热性筛选研究[J]. 北方园艺,2009(4):185-187.
- [31] 王晓洁. 温度对两种类型草坪草生理生化的影响[D]. 长沙:湖南农业大学,2008.
- [32] 万里强,石永红,李向林,等. 高温干旱胁迫下三个多年生黑麦草品种叶绿体和线粒体超微结构的变化[J]. 草业学报,2009,18(1):25-31.
- [33] Xu S, Li J L, Zhang X Q, *et al.* Effects of heat acclimation pretreatment on changes of membrane lipid peroxidation, antioxidant metabolites, and ultrastructure of chloroplasts in two cool-season turfgrass species under heat stress[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2006(56):274-285.
- [34] 龚雪梅. 高羊茅草坪草抗热性生理研究[J]. 北方园艺,2010(19):91-93.
- [35] Liu X Z, Huang B R. Photosynthetic acclimation to high temperatures associated with heat tolerance in creeping bentgrass[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2008(165):1947-1953.
- [36] 黄锦文. 结缕草温度胁迫的生理响应及其分子机制研究[D]. 福州:福建农林大学,2009.
- [37] 周中亮,包满珠,王文恩. 高温胁迫对 6 个高羊茅株系生理指标的影响[J]. 草业科学,2011,28(7):1284-1290.
- [38] 李秋丽. 4 个狗牙根品种(系)的耐寒性评价[D]. 武汉:华中农业大学,2010.
- [39] 谭雯. 低温胁迫下暖季型草坪抗寒性比较研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2008.
- [40] 张志,王世发,徐洪国,等. 低温胁迫对高羊茅生长影响的研究[J]. 草业科学,2009,26(5):185-188.
- [41] 杜永吉,于磊,鲁为华,等. 低温胁迫下结缕草品种的抗寒性差异[J]. 中国草地学报,2008,30(5):116-120.
- [42] 孙宗玖. 低温胁迫下新农一号狗牙根、喀什狗牙根及天堂草抗寒性比较研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2006.
- [43] 王艳,李建龙,邓蕾,等. 4 种结缕草在南京地区的田间表现及耐寒性差异[J]. 中国草地学报,2009,31(6):33-38.
- [44] 何会蓉,李志东,周而卫,等. 几种暖季型草坪草对低温的生理反应[J]. 草地学报,2008,16(2):150-153.
- [45] 滕祥金,王莹,张晶红,等. 4 个多年生黑麦草品种抗寒性研究[J]. 中国农学通报,2011,27(12):169-171.
- [46] 池春玉,连永权,李文君,等. 低温胁迫下三种冷季型草坪草的抗寒性变化[J]. 安徽农学通报,2007,13(7):41-43.
- [47] 王娜,李海梅. 冷季型草坪草耐盐性研究[J]. 湖北农业科学,2011,50(10):2047-2051.
- [48] 张志,刘敏,梁艳,等. 盐胁迫对 3 种冷季型草坪草生长的影响[J]. 生态环境学报,2009,18(5):1877-1880.
- [49] 李凯. 两个蓝羊茅品种的抗盐性研究[D]. 保定:河北农业大学,2009.
- [50] 董萌. 六个冷季型草坪草品种单盐胁迫下的耐盐性研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2007.
- [51] 赵功强,赵萍. 8 个高羊茅品种幼苗期抗盐性比较[J]. 安徽农业科学,2008,36(20):8447-8449,8452.
- [52] 周兴元. 几种暖季型草坪草耐盐及耐荫性研究[D]. 南京:南京林业大学,2004.
- [53] 李品芳,杨志成. NaCl 胁迫下高羊茅生长及 K^+ 、 Na^+ 吸收与运输的动态变化[J]. 草业学报,2005,14(4):58-64.
- [54] Mansoor H, Muhammad A. Physiological and biochemical adaptations of *Cynodon dactylon* (L.) Pers. from the Salt Range (Pakistan) to salinity stress[J]. *Flora*, 2008(203):683-694.
- [55] 刘金荣,杜建雄,谢晓蓉. 干热胁迫和复水对草坪草光合生理生态特性的影响[J]. 生态学报,2009,29(5):

- 2694-2700.
- [56] 包永霞, 满达, 韩烈保. NaCl、PEG 双重胁迫下转 *DREB1A* 基因多年生黑麦草 T_1 代萌发期抗性研究[J]. 中国草地学报, 2011, 33(2): 82-87.
- [57] 焦晋川, 陈琳. 钾肥对多年生黑麦草抗旱性的影响[J]. 草业科学, 2008, 225(8): 139-142.
- [58] 舒钰, 刘晓东. PEG 模拟干旱胁迫下磷肥对 2 种草坪草苗期抗旱性的影响[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(12): 43-45.
- [59] 沈花. 植物营养对草地早熟禾耐热性状的调控研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.
- [60] 吉云秀, 黄晓东. 不同盐分条件下植物促生菌对燕麦和黑麦草幼苗的促生效应[J]. 中国土壤与肥料, 2008(2): 65-68.
- [61] 胡桂馨. 干旱胁迫下内生真菌对高羊茅的生理特性影响的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2000.
- [62] 刘建新, 胡浩斌, 王鑫. 硅对盐胁迫下黑麦草幼苗活性氧代谢和光合参数的影响[J]. 中国草地学报, 2008, 30(5): 25-31.
- [63] 刘建新, 王瑞娟, 王鑫. 镧对 NaCl 胁迫下黑麦草幼苗根系生理特性的影响[J]. 中国草地学报, 2010, 32(6): 46-51.
- [64] He Y M, Xiao H D, Wang H Z, *et al.* Effect of silicon on chilling-induced changes of solutes, antioxidants, and membrane stability in seashore paspalum turfgrass [J]. Acta Physiological Plant, 2010 (32): 487-494.
- [65] 杜红豆, 付丽娟, 孟雪娇, 等. 喷施水杨酸对 2 种草坪草抗盐性的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(10): 157-160.
- [66] 付丽娟, 杜红豆, 王锐, 等. 喷施 SA 对黑麦草抗盐性的影响[J]. 北方园艺, 2011(6): 68-71.
- [67] 刘杰. 水杨酸对黑麦草抗旱性的影响[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2009.
- [68] Rober G, Shatters J R. Ethephon induced changes in vegetative growth of 'Tifton 85' bermudagrass[J]. Crop Science, 1998, 38(1): 97-103.
- [69] 马艳华. 烯效唑对黑麦草抗旱生理特性影响的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2009.
- [70] 王齐, 孙吉雄, 王有国, 等. 草坪施用土壤改良剂对干旱胁迫的缓解效应[J]. 草原与草坪, 2008(6): 35-38.
- [71] 袁惠燕, 包文华, 方芳, 等. 保水剂对土壤含水率与暖地型草坪草种子萌发的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(35): 19979, 19989.
- [72] 刘迪. 保水剂对草地早熟禾生长及抗旱性的影响[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2008.
- [73] 于明礼. 多效唑对高羊茅草坪草生长和抗热性的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(1): 190-191, 241.
- [74] Lu S Y, Su W, Li H H, *et al.* Absciscic acid improves drought tolerance of triploid bermudagrass and involves H_2O_2 - and NO-induced antioxidant enzyme activities [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2009(47): 132-138.

Advance in the turfgrass resistance

LIU Kan, GENG Shi-jun, SHANG Hai-yan, QUAN Jun-jiao, WANG Bo

(Department of Horticulture, Soochow University, Suzhou 215123, China)

Abstract: The turf is one of important components of human ecosystem. Recently, the turf was widely planted and turf industry developed fast in China with the improvement of human life level and the concept. This study summarized the recent advances in drought, submergence, heat, cold, salinity resistance of turfgrass from seed germination, root configuration, photosynthetic characteristics, physiological and biochemical parameters of plants. The stress resistance of turfgrass varied with the species and experimental conditions. Meanwhile, this study reviewed the ways to improve turfgrass resistance from application of fertilizers, micro-organisms and growth regulators, which will provide some concepts and approaches for turfgrass resistance.

Key words: turfgrass; resistance; advance

Corresponding author: WANG Bo E-mail: wangb@suda.edu.cn