

综 述

## 草坪草种质资源抗旱性及其改良研究进展

<sup>1</sup>胡化广 <sup>1</sup>刘建秀 <sup>1,2</sup>何 秋 <sup>1</sup>郑玉红

<sup>1</sup>(江苏省中国科学院植物研究所南京中山植物园 南京 210014)

<sup>2</sup>(南京农业大学园艺学院 南京 210095)

**摘要** 本文综述了草坪草抗旱性的形态学、生物学、解剖学和生理学等鉴定方法。介绍了草坪草适应干旱胁迫的形态和生理生化机制。对草坪草种质资源的抗旱性改良进展进行了概述。最后,对草坪草抗旱性研究中存在的问题和前景进行了讨论。

**关键词** 草坪草, 种质资源, 抗旱性, 鉴定, 机理, 改良

## Progress in Drought Resistance and Improvement of the Germplasm Resource of Turfgrass

<sup>1</sup>HU Hua-Guang <sup>1</sup>LIU Jian-Xiu <sup>1,2</sup>HE Qiu <sup>1</sup>ZHENG Yu-Hong

<sup>1</sup>(Nanjing Botanical Garden, Institute of Botany, Jiangsu Province and the Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014)

<sup>2</sup>(College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095)

**Abstract** This paper summarizes a large amount of research on the methods of morphologic, biologic, anatomic and physiologic identification of drought resistance of turfgrass. The main points introduced here are the morphology and physiology-biochemistry mechanisms of drought resistance and the improvement of the germplasm resource of turfgrass; Finally we discussed problems and prospects in drought resistance study carried out in turfgrass sciences.

**Key words** Turfgrass, Germplasm resource, Drought resistance, Identification, Mechanism, Improvement

水是生命之源,也是影响草坪草生命活动最重要的环境因子。目前,全球干旱和半干旱地区的面积占全球土地总面积的1/3(彭立新等,2002)。而在我国这个比例更大,达到1/2(高宁等,1995)。干旱胁迫是干旱与半干旱区限制草坪草生长的一个最主要的环境因子(Huang and Fry, 1998)。即使是湿润地区,短

期不寻常的干旱也会影响草坪草的生长和质量(Carrow, 1996a)。解决这个问题的途径有两条:一是改善环境条件以适应草坪草的生长;二是培育抗旱的草坪草种以适应环境(王钦和金岭梅, 1993)。

草坪草被誉为文明生活的象征,游览休憩的乐园,生态环境的卫士,运动健儿的摇篮。

国家自然科学基金项目(30371011)和科技部 863 项目(2002AA241061)资助。

通讯作者。Author for correspondence. E-mail: turfunit@yahoo.com. cn

收稿日期: 2005-03-21 接受日期: 2005-06-17 责任编辑: 白羽红

但是干旱缺水环境会严重影响草坪的景观功能、生态功能以及运动功能, 严重时候还会导致草坪草死亡, 因此草坪草的抗旱性研究非常重要。国内外草业科学家通过多年的研究, 在草坪草的抗旱性鉴定和机理方面做了大量的工作, 同时, 草坪草的种质资源的抗旱性改良也取得了一些进展。本文就这些工作进行简要总结, 并就草坪草抗旱性研究和改良中所存在的问题及前景进行讨论。

## 1 草坪草的抗旱性鉴定

抗旱性鉴定是草坪草抗旱研究中的重要工作之一。目前, 草坪草抗旱性鉴定方法主要有以下几种。

### 1.1 形态学鉴定

根系和叶片分别是植物吸水和失水的主要器官。在观察根系在土壤中的分布特点和叶片表面的宏观结构, 即可初步地判断草坪草的抗旱性强弱。李亚等(2002)研究了47份结缕草(*Zoysia japonica*)根系分布特点与地理分布的关系, 结果发现: 大多数土层中的不定根分布密度与纬度达到极显著或显著的正相关。一些草坪草的叶具有蜡质层和叶毛, 这使它们的蒸散率下降, 抗旱性增强; 结缕草叶表面因具有蜡质层, 而使它的蒸散率在草坪草中属中等偏下(Kim and Beard, 1988)。

### 1.2 生物鉴定法

**1.2.1 萎蔫系数** 萎蔫系数是草坪草出现干旱胁迫时的土壤含水量, 它是鉴定草坪草抗旱性强弱的常用指标, 也可以为草坪草的节水灌溉提供理论依据(邱亦维和韩烈保, 2002)。蒋齐等(1995)用测定不同干旱胁迫时间内表层土壤0~20 cm的含水量的方法对3种草坪草的14个品种的抗旱能力进行了鉴定。结果表明, 参试的3种草坪草抗旱性强弱次序为: 高羊茅(*Festuca arundinacean*) > 早熟禾(*Poa annua*) > 紫羊茅(*Festuca rubra*), 并认为这种方法可以作为草坪草抗旱性鉴定的通用方

法。郭爱桂等(2002)提出了草坪草表征永久萎蔫系数的概念, 即将草坪植物叶片达到85%以上萎蔫且过夜不恢复时的土壤含水量称为表征永久萎蔫点, 此时的土壤含水量越高, 抗旱性越差; 反之, 则越强。她用这种方法鉴定了3种暖季型草坪草的抗旱性强弱, 次序为狗牙根属(*Cynodon* sp.) > 结缕草属(*Zoysia*) > 假俭草属(*Eremochloa ophiuroides*)。

**1.2.2 草坪质量评分** 干旱胁迫时, 草坪草通过一系列的生理反应来适应干旱的环境, 并通过坪用质量最终加以表现出来。草坪质量评分有10分制的, 也有9分制的, 在干旱条件下, 草坪的得分越高其抗旱性就越强, 反之就越弱。应用草坪质量评分方法, Minner和Buter(1985)比较了55个草地早熟禾(*Poa pratensis*)品系, 34个多年生黑麦草(*Lolium perenne*)品系和42个细羊茅属(*Festuca*)品系的抗旱性, 结果发现: Majestic和H-7草地早熟禾以及Aristocrat、Bellatrix、Citation和Yorktown多年生黑麦草有较好的抗旱性, 而细叶羊茅在严重的土壤干旱条件下几乎没有景观价值。Hays等(1991)比较了10个狗牙根(*Cynodon dactylon*)品系的抗旱性, 结果发现: 45-3在2年的试验中得分都较高, 具有较好的抗旱能力。Bonos和Murphy(1999)比较了10个草地早熟禾品系的抗旱性, 结果发现: A82-1167 VT和Baltimore草地早熟禾在土壤干旱条件下, 得分较高, 具有良好的抗旱性。

### 1.3 叶片的显微结构

王艳和张绵(2000)从结缕草和早熟禾的叶片和鳞叶的解剖学角度, 阐明了结缕草比早熟禾抗旱的原因: 结缕草叶片的角质层发达, 维管束丰富, 叶肉组织排列紧密, 维管束间具有泡状细胞; 鳞叶具有较高的角质化程度, 并且表皮下具有木质化形成的维管束带, 从而使它的保水抗旱能力优于早熟禾。耿世磊等(2002)研究了3种暖季型草坪草叶片解剖结构与抗旱性的关系, 通过比较叶片解剖结构, 他指出,

台湾草(*Zoysia tenuifolia*)因具有较高的表皮角质化程度,“绞合”的泡状细胞,双层的主脉维管束鞘,较大的叶肉组织,而使其抗旱性强于狗牙根和海滨雀稗(*Paspalum vaginatum*)。

#### 1.4 与叶片水分代谢相关的生理指标

**1.4.1 叶片的水分状况** Huang等(1997a)研究发现,当表层土壤干旱时,不同草坪草叶片相对含水量的下降程度在不同类型的匍匐剪股颖(*Agrostis stolonifera*)中存在遗传差异。卢少云等(2003)对地毯草(*Axonopus compressus*)、沟叶结缕草(*Zoysia matrella*)和矮生狗牙根(*Cynodon dactylon* × *C. transvaalensis*)3种暖季型草坪逐渐干旱过程中的叶片相对含水量进行了研究,结果表明:地毯草对干旱反应最敏感,沟叶结缕草次之,狗牙根最不敏感。在不同程度的干旱胁迫处理下,假俭草(*Eremochloa ophiuroides*)修剪的生物量、相对含水量和青绿度出现不同程度的下降(Hook and Hanna, 1994)。

**1.4.2 叶片灼伤度或叶绿素降解和萎蔫度** 叶片灼伤度或叶绿素降解已被用作估计干旱胁迫程度的一种指标(Kim and Beard, 1988)。Sifers等(1990)以叶绿素降解为标准对几种草坪草的相对抗旱性进行了评价,抗旱强弱排序为:狗牙根 > 结缕草 > 野牛草(*Buchloe dactyloides*) > 高羊茅 > 钝叶草(*Stenotaphrum secundatum*)。Carrow(1996b)以叶片的灼伤度或叶绿素降解为标准对干旱胁迫过程中的7种草坪草的抗旱性强弱进行了评价,结果表明:Tifway 和 Common Bermuda 抗旱性最强,而梅尔结缕草的抗旱性最差。叶片萎蔫在叶片灼伤之前出现,叶片萎蔫症状中的叶卷曲和折叠通常认为是植物正在遭受中度水分胁迫(Sharp and Davies, 1989)。Huang等(1997a)在研究表层土壤干旱下7种暖季型草坪草的抗旱机理时发现,有些草坪草在叶片灼伤之前先出现叶绿素降解,而有些则相反,并比较得

出表层40 cm土壤干旱较20 cm干旱对所有草种叶绿素含量有更大的影响。

**1.4.3 蒸散速率** 草坪草的蒸散率在种间存在差异(赵炳祥等, 2003)。有人研究发现(Kim and Beard, 1988; Carrow, 1995),暖季型草坪草的夏季日平均最大蒸散率为3.0~10.0 mm/天;而冷季型草坪草夏季日平均最大蒸散率为2.7~12.6 mm/天。相关研究也表明,冷季型草坪草的种内不同品种之间的蒸散率也存在着差异,有些品种的差异不亚于种间;而暖季型草坪草的种内不同品种之间的蒸散率差异较小(Bowman and Macaulay, 1991; Beard *et al.*, 1992; Fernandez and Love, 1993; Huang and Gao, 1999; White *et al.*, 2001)。Shearman (1989)对20个草地早熟禾品种的蒸散率研究表明:蒸散率最低的为Enable,蒸散率最高的为Birka、Sydsport 和Merion,并且蒸散率随着温度的变化而变化。Beard等(1992)测定了24个狗牙根品种的蒸散率,3个生长季的测定结果表明,所有品种中最低和最高的差异程度仅为1 mm。Green等(1991)研究了结缕草属2个种、1个杂种的11个基因型的田间蒸散速率,结果表明,蒸散率在结缕草属间和种间不存在显著差异,这与Cansnoff等(1989)对10个暖季草坪草种的研究结果相类似。

近年来,国内学者也对草坪草的蒸散率进行了研究。丁小球等(2001)对3种草坪草蒸腾速率的日变化特点进行了研究,结果发现,3种草坪草蒸腾速率的大小顺序为:细叶结缕草 > 地毯草 > 假俭草。张新民等(2004)研究了6种草坪草在充分供水和限量供水两种条件下的蒸散量差异,在2种条件下6种草坪草的整个生长季的蒸散量排序一致,顺序为:高羊茅 > 草地早熟禾 > 多年生黑麦草 > 狗牙根 > 野牛草 > 结缕草。韩建国等(2001)对5种常见草种草坪的蒸散量进行了研究发现,在土壤水充足条件下,不同草坪蒸散量差异较大,顺序为:高羊茅 > 多年生黑麦草 > 草地早熟禾 > 狗牙

根 > 结缕草。

由于草坪草的蒸散率受到诸如冠层特性 (Devitt and Morris, 1989; Green *et al.*, 1990; Ebdon and Petrovic, 1998)、气孔行为 (Johns *et al.*, 1983)、土壤水分 (Ekern, 1966) 和气候 (Ebdon *et al.*, 1998) 的影响, 所以作者认为草坪草的蒸散率并不是鉴定草坪草抗旱性强弱的很好的指标。

**1.4.4 冠层温度** 冠层温度可以很好地反映作物的水分状况, 已被用作衡量干旱胁迫程度的一种指标 (Huang and Gao, 2000)。不同的草坪草种或者生态型在冠层温度上对干旱胁迫的反应不同, 有些在 20 cm 和 40 cm 土层干旱时冠层温度均增加, 有些只在 40 cm 土层干旱时才上升 (Huang *et al.*, 1997a)。Bonos 和 Murphy (1999) 研究发现, 在夏季高温和干旱胁迫下, 抗旱性较强的草地早熟禾比抗旱性弱的品种冠层温度低 5 。

#### 1.5 渗透调节物质的含量

高宁等 (1996) 比较了水分胁迫下 2 种抗旱性不同的草坪草苗期渗透调节能力, 认为抗旱性强的紫羊茅在各处理水平下的渗透调节能力均高于抗旱性弱的多年生黑麦草, 并表现出随水分胁迫程度的增加而呈一定程度增大的趋势。籍越等 (2000) 测定了干旱胁迫条件下 8 个草坪品种的可溶性糖和游离脯氨酸 (Pro) 的变化, 结果发现供试的 8 个草坪草品种在干旱胁迫条件下, 可溶性糖和游离脯氨酸都呈增加的趋势; 根据增加的程度得出抗旱性最强的是 Osprey、派尼和织女星, 抗旱性较弱的是午夜和公园。

#### 1.6 质膜的稳定性和保护酶活性

**1.6.1 质膜的稳定性** 胡果生等 (1999) 通过测定经干热和低温处理的草坪草样品的浸泡液的电导率, 并结合自然干热、低温条件下的表现, 比较了冷季型和暖季型草坪草的抗干热性能。冷季型草坪草耐干热性能在属间存在差异, 羊茅草属 > 早熟禾属 > 黑麦草属 > 剪

股颖属, 暖季型草坪草中地毯草属、假俭草、狗牙根和细叶结缕草耐干热性能较为理想。He 等 (1997) 对高羊茅、黑麦草、匍匐剪股颖和紫羊茅的研究认为电导率是草坪草抗旱性鉴定的一个很好的指标。Huang 和 Gao (2000) 在高羊茅的 6 个品系的根系研究中, 应用紫外线吸收的方法, 测定根部细胞渗漏的有机质数量, 以确定质膜的稳定性, 从而对不同的抗旱性进行比较。在干旱条件下受试品系的渗漏量均增加; 由于表层土壤较深层土壤易受干旱, 因而 0~20 cm 表层土壤中根系的渗漏量比 40~60 cm 土层增加得更多; 在相同的条件下, 不同品系的渗漏量不同。

**1.6.2 保护酶活性** 测定干旱胁迫条件下保护酶的活性可以反映这些酶对活性氧的清除能力的强弱, 反映出草坪草的抗旱能力。周兴元等 (2003) 用 Pro、MDA 及 SOD 等几种生理指标研究了 4 种草坪草在土壤持续干旱胁迫下与抗旱的关系, 结果表明抗旱能力由强到弱依次为 328 杂交狗牙根 > 马尼拉 > 假俭草 > 马蹄金 (*Dichondra micranthus*)。

#### 1.7 综合鉴定

在实际的研究工作中, 并不是单纯地用某一个指标对草坪草的抗旱性进行鉴定, 而是采用上面提到的几个指标进行综合鉴定, 尤其对涉及抗旱性机理研究的一些指标更是如此, 这样得出不同草坪草的抗旱性更为科学准确。葛晋刚等 (2004) 以叶绿素含量、相对含水量、电导率和冠层温度 4 个指标对 7 种暖季型草坪草抗旱性进行了综合评价, 其抗旱性顺序依次为: 百喜草 (*Paspalum notatum flugge*) > 野牛草 > 马尼拉 = 结缕草 > 假俭草 > 钝叶草 > 地毯草。张往祥等 (2002) 通过叶片部分形态参数 (叶片舒展度、叶片卷曲度及叶片颜色变化等) 和生理参数 (叶片含水率和叶片质膜透性等) 的测定综合鉴定了 3 种暖季型草坪草的抗旱能力强弱, 顺序为: 矮生天堂狗牙根 > 马尼拉 > 假俭草。Huang 等 (1997a) 用冠层温

度、叶绿素含量、相对含水量和茎干早生长量对7种暖季性草坪草表层0~40 cm土壤干旱条件的抗旱性进行了研究,结果表明,PI509018海滨雀稗抗旱能力最强,而Emerald结缕草的抗旱力最弱。

## 2 草坪草的抗旱机理

### 2.1 草坪草抗旱的形态学机制

**2.1.1 地上部分特点** 草坪草在长期的进化过程中,形态上形成了对干旱逆境的适应性,有些草坪草叶表面有蜡质层和叶毛以减少水分蒸散;而有些草坪草叶片具有泡状细胞,使叶片在干旱时卷曲,减少水分蒸散(王艳和张绵,2000)。土壤水分不受限制时,不同的暖季型草坪草种间的草坪草蒸散与叶片背面的气孔密度呈显著负相关(Cansnoff *et al.*, 1989),但种内品种间没有表现出相关性(Green *et al.*, 1991; Athins *et al.*, 1991)。冷季型草坪草种间及种内的叶片气孔数目和草坪草的蒸散量无显著相关关系(Shearman,1989; Green *et al.*, 1990)。Perdomo等(1996)通过对草地早熟禾在干旱胁迫下冠层温度与空气的温差研究,认为保持气孔开放与草坪草良好的生长表现是相关的。除了气孔的位置和密度及开闭状态影响草坪草的蒸腾外,气孔的形状和大小也会影响到草坪草的蒸腾。

**2.1.2 地下部分的特点** 暖季型草坪草和一些冷季型草坪草具有地下茎。草坪草地下茎在深层土壤中分布的越多,在草坪草遭遇干旱时储存的水分或渗透调节物质就可能越多,从而可增强抗旱能力。郑玉红等(2003)研究了50份狗牙根无性系根状茎的分布与地理位置的关系后发现,狗牙根种源根状茎的深度、直径和密度均随纬度的增大而增大。

Beard(1989)注意到草坪草植物避旱性的一个重要组成部分就是发展和维持一个深层、扩展且具活力的根系。Keeley和Koski(1995)在半干旱气候的Colorado地区比较不同

基因型的早熟禾时发现,抗旱表现好的栽培种的根在土壤剖面中深层分布量最大。Hay等(1991)通过对10个狗牙根品系的研究认为:在逐渐干旱后60天,草坪质量与一定深度土层内的根系密度相关,最大的相关系数达到0.81。Marcum等(1995)通过对25个结缕草的研究认为:在水分限制条件下,最大根深(maximum root depth, MRD)、根系总重(total root weight, TRW)和根长密度(root length density, RLD)与草坪盖度呈正相关。Qian等(1997)认为Mustang高羊茅因具有较大的RLD、TRL(total root length)及SWD(soil water depletion)(土壤水分消耗率)而具有较好的抗旱性;而Meyer结缕草因其较浅的根系而抗旱性不如Mustang高羊茅。多年生草坪草的根的继续生长也是适应干旱和半干旱环境的一个重要特征(Weaver and Zink, 1955)。Carrow(1996b)在研究草坪草的抗旱性时发现,暖季型草坪草在夏季能继续发展根系,根长密度和总根长的变化能深入到胁迫土壤下层并保持较强的根活力,干旱条件下细根的数目和长度将增大。

和草坪草抗旱性有关的另一个方面为根系活力,虽然根系的大小和空间分布影响根对养分和水分的吸收,但在干旱胁迫下根活力的维持对植物的抗旱能力更重要(Huang *et al.*, 1997b)。Sheffer等(1987)认为土壤耗水与根系的垂直分布相关,同一层土壤耗水,耐旱强的草土壤含水量低而根量较接近,说明耐旱性强的草根系活力更高。在干旱胁迫环境下,根为了适应干旱环境,其解剖结构也会发生变化。Huang和Fry(1998)发现高羊茅的2个品种Kentucky-31和MIC18在干旱胁迫14天和28天根解剖结构的变化,在两种干旱胁迫条件下,2个品种根表皮细胞消失,从而形成气腔;并认为根的这种变化是根适应干旱环境的一种策略。

### 2.2 草坪草抗旱的生理生化机制

**2.2.1 渗透调节** 在干旱胁迫下,植物体内会

积累一些具有渗透保护作用的渗透调节物质,在草坪草抗旱机理中研究最多的是干旱胁迫下脯氨酸的变化。孙彦等(2001)在研究8种草坪草种苗期干旱胁迫时发现,这些草坪草干旱时脯氨酸含量均增加。在干旱胁迫下,冰草叶片内游离脯氨酸含量将增加(王世杰和郭博,1993)。而卢少云等(2003)在研究3种暖季型草坪草在干旱条件下脯氨酸积累时却认为干旱下草坪草积累脯氨酸是伤害反应,与抗旱性无关。Jiang和Huang(2001)研究发现,草地早熟禾在干旱胁迫时渗透调节能力增加。

**2.2.2 抗氧化性保护系统** 草坪草在遭遇干旱时,保护酶活性会增加,清除活性氧的能力加强,从而减轻活性氧对膜脂的氧化伤害。Huang等(1998b)通过研究发现,在高温和干旱胁迫之下,高羊茅和草地早熟禾中MDA含量增加,而SOD和过氧化物酶(POD)的活性亦随胁迫延长而增加。Fu和Huang(2001)研究发现:当给予草地早熟禾和高羊茅表层20 cm土壤干旱而下层20 cm土壤供水处理后,植物体内SOD活性提高,植物体不受伤害,说明抗氧化保护系统参与了草坪草对干旱的适应。

**2.2.3 植物激素** Michelle等(2004)研究了草地早熟禾在土壤干旱条件下叶和根系的脱落酸(ABA)变化,结果表明:在0~20 cm表层土壤干旱条件下,根中的ABA增加了4~6倍;而在20~40 cm的土壤深度内ABA含量没有变化;在0~20 cm干旱条件下,叶的ABA含量也有增加。Wang等(2004)探讨了8个草地早熟禾品种ABA积累与抗旱性的关系,认为草地早熟禾叶中ABA含量随干旱胁迫天数呈线性递增,ABA的增加率与草坪质量下降率负相关,建议把ABA积累可以作为选育耐旱性草地早熟禾的生理指标。

### 2.3 协同作用机制

以上介绍了草坪草抗旱的形态学机制和生理生化机制,这些机制在不同层次上对草坪

草的抗旱性起作用。但是草坪草的各种抗旱机制并不是孤立地起作用,而是几种机制协同作用,尤其是生理生化机制。许多实验证明,水分胁迫诱导ABA产生,同时脯氨酸含量也增加,而复水后二者几乎同时下降(Udomprasert, 1999)。同时,ABA还能诱导细胞内Ca<sup>2+</sup>大量积累(Webb, 1997),显然ABA与渗透调节有关。另外,干旱诱导产生的ABA除了能激活干旱胁迫基因表达外,还能调节气孔的开闭,促进根系对水分和离子的吸收(尹艺林, 1996)。所有这些都证明植物的各种抗旱的生理生化机制不是单独地起作用,而是相互联系,协同作用的。

## 3 草坪草种质资源抗旱性改良

草坪学者除了改变环境条件以适应草坪草的生长外,还运用育种手段培育出抗旱性强的草坪草新品种以适应环境。在Terrance Riordan博士的领导下,野牛草的抗旱性育种已经取得了一些进展,推出了抗旱性品种NE84-609,计划用于美国南部的中央平原地区和西南部沙漠区域的高尔夫球场的障碍区,这个品种进入了1991年美国国家草坪草品种区域试验项目(NTEP)的试验(Kenna and Horst, 1993)。Abraham等(2004)将Texas早熟禾(父本)和草地早熟禾(母本)杂交,所得到的杂交后代抗旱性比母本有了提高。除了传统的系统选育和杂交育种手段用于抗旱性品种的改良外,转基因技术已经成功地用于草坪草种质资源的抗旱性改良。近年来,相继从拟南芥等植物中克隆出了一些受干旱诱导的基因,如蛋白激酶基因、光合基因、渗透调解基因、功能蛋白基因和果聚糖合成酶基因等(万东石等, 2003)。基因蓝是一种优秀转基因蓝色羊茅草,具有较强的耐旱性,能在干旱的沙砾土及瘠薄的盐碱土壤中生长,耐寒性也很强,且抗病虫害(史春生, 2004)。

## 4 研究展望

综上所述,生物鉴定法和叶片水分代谢等指标已经用于草坪草的抗旱性鉴定;草坪草为了适应干旱的环境,通过形态学和生理生化变化乃至调控基因调控以达到水分的最大获得与保持;同时,通过传统育种方法和转基因方法获得了具有抗旱性的草坪草品种。这些工作为草坪草抗旱性改良和干旱胁迫下的草坪管理提供了很好的理论基础。

但是,草坪草的抗旱性是由多基因控制的数量性状,其生理生化过程是各基因间以及基因和环境间相互作用、共同调节的结果(江香梅等,2001)。现在的研究仅仅是一个开始,以后对草坪草的抗旱性研究应该在以下几个方面加强:(1)研究抗旱性与外部性状的关系,为抗旱性品种选育提供简单易行的外部标记性状;(2)加强抗旱机理的研究,不应仅仅立足于田间与控制环境下的阶段时间内草坪草的抗

旱性研究,同时应结合其他相关研究从整体和不同水平进行综合的探讨;(3)加强草坪草抗旱性的分子生物学研究,摸清与抗旱有关的生理特性的调控基因,以期通过基因工程培育抗旱性强的新品种;(4)利用多种技术手段,加快草坪草种质资源的抗旱性改良,培育出更多的抗旱性强的草坪草品种。

草坪草灌溉用水是城市中竞争用水的一个重要方面,尤其是冷季型草坪草的耗水量更大。草坪草是城镇绿化中不可缺少的植物,但是,与农作物相比,在遭受干旱胁迫时,由于它们的重要性不同而导致水资源的分配不同,首当其冲受影响的是草坪草。为了缓解水资源危机,进行草坪草的抗旱性研究很重要。我国拥有丰富的草坪草资源,尤其是暖季型草坪草。我们可以对这些草坪草种质资源的抗旱性进行评价,选择出比较抗旱的种源,通过育种手段选育出抗旱性比较强的草坪草新品种,在生产上加以推广应用,以期减小水资源的压力。

## 参 考 文 献

- 丁小球,胡玉佳,王榕楷(2001)三种草坪草净光合速率和蒸腾速率的日变化特点研究. 草业科学, 18(2): 62-66
- 高宁,高辉远,石定燧,阿布来提,王俊玲,张晓平(1995)16种寒地型草坪草品种抗旱性及评定方法初探. 八一农学院学报, 18(1): 68-72
- 高宁,于道泉,高辉远,石定燧,阿布来提,王俊玲(1996)水分胁迫下两种抗旱性不同的草坪草苗期渗透调节能力的研究. 草食家禽, 9: 90-93
- 葛晋刚,宋刚,韩艳丽,杨士虎,戴文(2004)7种暖季型草坪草抗旱性的评价及其生理机制的研究. 江苏林业科技, 31(2): 12-15
- 耿世磊,赵晟,吴鸿(2002)三种草坪草的茎叶解剖结构及其坪用性状. 热带亚热带植物学报, 10: 145-151
- 郭爱桂,刘建秀,郭海林(2002)几种暖季型草坪草的抗旱性的初步鉴定. 草业科学, 19(8): 61-62
- 韩建国,潘全山,王培(2001)不同草种草坪蒸散量及各种草坪草抗旱性的研究. 草业学报, 10(4): 56-63
- 胡果生,黄承前,李轩(1999)草坪草耐干热低温性能研究. 中南林学院学报, 19(1): 39-43
- 籍越,孔德政,杨芳绒,刘辉志(2000)不同草坪草抗旱性的初步研究. 河南科学, 18: 412-414
- 江香梅,黄敏仁,王明麻(2001)植物抗盐碱、耐干旱基因工程研究进展. 南京林业大学学报(自然科学版), 25(5): 57-62
- 蒋齐,徐荣,唐桦(1995)冷地型草坪草耐旱能力的研究. 宁夏农林科技, (1): 17-20
- 李亚,凌萍萍,刘建秀,向其柏(2002)中国结缕草属植物地下部分分布和形态类型的多样性. 植物资源与环境学报, 11(2): 39-44
- 卢少云,陈斯平,陈思曼,梁萧,郭振飞(2003)三种暖季型草坪草在干旱条件下脯氨酸积累和抗氧化酶活性的变化. 园艺学报, 30: 303-306
- 彭立新,李德全,束怀瑞(2002)园艺植物水分胁迫生理季耐旱机制研究进展. 西北植物学报, 22: 1275-

- 1281
- 邱亦维, 韩烈保 (2002) 灌溉对草坪草生长发育的影响. 草原与草坪, (2): 19-21
- 史春生 (2004) 抗旱型草坪草——“基因蓝”. 中国花卉报, 2004-07-20
- 孙彦, 杨青川, 张英华 (2001) 不同草坪草种及品种苗期干旱性比较. 草地学报, 9(1): 16-20
- 万东石, 李红玉, 张立新, 梁厚果 (2003) 植物体内干旱信号的传递与基因表达. 西北植物学报, 23: 151-157
- 王钦, 金岭梅 (1993) 草坪植物对干旱逆境的效应. 草业科学, 10(5): 54-59
- 王世杰, 郭博 (1993) 水分胁迫下冰草体内脱落酸与游离脯氨酸的积累关系. 甘肃农业大学学报, 28(1): 36-40
- 王艳, 张绵 (2000) 结缕草和早熟禾解剖结构与其抗旱性, 耐践踏性和弹性关系的对比研究. 辽宁大学学报(自然科学版), 27: 371-375
- 尹艺林 (1996) 脱落酸与植物抗旱性及其机理研究的进展. 安庆师范学院学报(自然科学版), 2(4): 61-63
- 张往祥, 周兴元, 曹福亮 (2002) 夏季土壤干旱对3种暖季性草坪草的形态景观和生理参数的影响. 江苏林业科技, 29(6): 8-14
- 张新民, 胡林, 边秀举, 雒昆利, 孙新章, 赵炳祥 (2004) 北方常用草坪草的蒸散量差异及耗水性评价. 草业学报, 13(1): 79-83
- 赵炳祥, 陈佐忠, 胡林, 张福锁 (2003) 草坪蒸散研究进展. 生态学报, 23: 148-157
- 郑玉红, 刘建秀, 陈树元 (2003) 我国狗牙根种质资源根状茎特征的研究. 草业学报, 12(2): 76-81
- 周兴元, 曹福亮, 陈国庆 (2003) 四种暖季性草坪草几种生理指标与抗旱性的关系研究. 草原与草坪, (4): 29-32
- Abraham EM, Huang BR, Bonos SA, Meyer WA (2004) Evaluation of drought resistance for Texas Bluegrass, Kentucky Bluegrass, and their hybrids. *Crop Science*, 44: 1746-1753
- Athins CE, Green RL, Sifers SL, Beard JB (1991) Evapotranspiration rates and growth characteristics of ten augustinegrass genotype. *HortScience*, 26: 1488-1491
- Beard JB (1989) Turfgrass water stress: drought resistance component physiological mechanism and species-genotype diversity. Proceedings of the sixth international turfgrass research conference, Tokyo, Japanese Society of Turfgrass, Tokyo, 1989, pp. 23-28
- Beard JB, Green RL, Sifers SL (1992) Evapotranspiration and leaf extension rates 24 well-watered, turf-type *Cynodon* genotypes. *HortScience*, 27: 986-988
- Bonos SA, Murphy JA (1999) Growth response and performance of Kentucky Bluegrass under summer stress. *Crop Science*, 39: 180-182
- Bowman DC, Macaulay L (1991) Comparison evapotranspiration rates of tall fescue cultivars. *HortScience*, 26: 122-123
- Cansnoff DM, Green RL, Beard JB (1989) Leaf blade stomata densities of ten warm-season perennial grasses and their evapotranspiration rates. Proceedings of the sixth international turfgrass research conference, Tokyo, Japanese Society of Turfgrass, Tokyo, 1989, pp. 129-131
- Carrow RN (1995) Drought resistance aspects of turfgrass in the southeast: evapotranspiration and crop coefficient. *Crop Science*, 35: 1685-1690
- Carrow RN (1996a) Drought avoidance characteristics of diverse tall fescue cultivars. *Crop Science*, 36: 371-377
- Carrow RN (1996b) Drought resistance aspects of turfgrasses in the southeast: root-shoot responses. *Crop Science*, 36: 687-694
- Devitt DA, Morris RL (1989) Growth of common bermudagrass as influenced by plant growth regulator, soil type and nitrogen fertility. *Journal of Environment Horticulture*, 7(1): 1-8
- Ebdon JS, Petrovic AM, Zobel RW (1998) Stability of evapotranspiration rates in Kentucky Bluegrass cultivars across low and high evaporative environments. *Crop Science*, 38: 135-142
- Ebdon JS, Petrovic AM (1998) Morphological and growth characteristics of low- and high-water use Kentucky Bluegrass cultivars. *Crop Science*, 38: 143-152
- Eckern PC (1966) Evapotranspiration by bermudagrass



- sod, *Cynodon dactylon* L. per., in Hawaii. *Agronomy Journal*, **58**: 387-390
- Fernandez GCJ, Love B (1993) Comparing turfgrass cumulative evapotranspiration curves. *HortScience*, **28**: 732-734
- Fu J, Huang BR (2001) Involvement of antioxidant and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. *Environmets Experiment Botany*, **45**: 105-114
- Green RL, Beard JB, Cansnoff DM (1990) Leaf blade stomatal characterizations and evapotranspiration rates of 12 cool-season perennial grasses. *HortScience*, **25**: 760-761
- Green RL, Sifers SJ, Athins CE, Beard JB (1991) Evapotranspiration rates of 11 *Zoysia* genotypes. *HortScience*, **26**: 264-266
- Hays KL, Barber JF, Kenna MP, McCollum TG (1991) Drought avoidance mechanisms of selected bermudagrass genotype. *HortScience*, **26**: 180-182
- He YL, Wang HL, Sheng J, Qi Q (1997) Studies on heat-tolerance mechanism of cool-season turfgrasses. : Changes of cell membrane permeability of isolated leaves under sudden heat and drought stress and indentification of stress tolerance. *Journal of Shanghai Agricultural College*, **15**: 209-214
- Hook JE, Hanna WW (1994) Drought resistance in centipedegrass cultivars. *HortScience*, **29**: 1528-1531
- Huang BR, Duncan R, Carrow RN (1997a) Drought-resistance mechanisms of seven warm-season turfgrass under surface soil drying. . Shoot response. *Crop Science*, **37**: 1858-1863
- Huang BR, Duncan RR, Carrow RN (1997b) Drought-resistance mechanisms of selected seven-season turfgrass under surface soil drying. . Root aspects. *Crop Science*, **37**: 1863-1869
- Huang BR, Fry JD (1998) Root anatomical physiological and morphological responses to drought stress for tall fescue cultivars. *Crop Science*, **38**: 1017-1022
- Huang BR, Liu X, Fry JD (1998) Shoot physiological responses of two bentgrass cultivars to high temperature and soil aeration. *Crop Science*, **38**: 1214-1219
- Huang BR, Gao HW (1999) Physiological responses of diverse tall fescue cultivars to drought stress. *HortScience*, **34**: 897-901
- Huang BR, Gao HW (2000) Root physiological characteristic associated with drought resistance in tall fescue cultivars. *Crop Science*, **40**:196-203
- Jiang YW, Huang BR (2001) Osmotic adjustment and root growth associated with drought preconditioning-enhanced heat tolerance in Kentucky Bluegrass. *Crop Science*, **41**: 1168-1173
- Johns D, Beard JB, van Bavel CHM (1983) Resistance to evapotranspiration from a St. Augustinegrass turf canopy. *Agronomy Journal*, **75**: 419-422
- Keeley SJ, Koski AJ (1995) Drought avoidance in the Kentuchky Bluegrass. In: Maison W ed, *Agronomy Abstracts*. ISSCT, Maryland,USA, pp. 154-154
- Kenna MF, Horst GL (1993) Turgrass water conservation and quality. In: Carrow RN, Christians NE, Shearman RC eds, *International Turgrass Society Research Journal* No. 7, Intertec Publishing Crop, Overland Park, Kansas, USA, pp.99-111
- Kim KS, Beard JB (1988) Comparative evapotranspiration rates and associated plant morphological characteristics. *Crop Science*, **28**: 328-331
- Marcum KB, Engelke MC, Morton SJ, White RH (1995) Rooting characteristics and associated drought resistance of zoysiagrass. *Agronomy Journal*, **87**: 534-538
- McAinsh MR, Brownlee C, Hetherington AM (1997) Calcium ions as second messengers in guard cell signal transduction. *Physiologia Plantarum*, **100**: 16-29
- Michelle DC, Wang ZL, Huang BR (2004) Physiological adaptation of Kentuchky Bluegrass to localized soil drying. *Crop Science*, **44**: 1307-1314
- Minner DD, Buter JD (1985) Drought tolerance of cool season turfgrass. *Proceedings of the fifth international turfgrass research conference*, Versailles France, INRA Puliacation, Versailles France,1985, pp. 534-538
- Perdomo P, Murphy JA, Berkowits GA (1996) Physi-

- ological changes associated with performance of Kentucky bluegrass cultivars during summer stress. *HortScience*, **31**: 1182-1186
- Qian YL, Fry JD, Upham WS (1997) Rooting and drought avoidance of warm-season turfgrass and tall fescue in Kansas. *Crop Science*, **37**: 905-910
- Sharp RE, Davies WJ (1989) Regulation by roots and shoots of water stressed maize plant. *Planta*, **147**: 43-49
- Shearman RC (1989) Kentucky Bluegrass cultivars evapotranspiration rates. *HortScience*, **21**: 455-457
- Sheffer KM, Dunn JH, Minner DD (1987) Summer drought response and rooting depth of three cool-season turfgrass. *HortScience*, **22**: 296-297
- Sifers SI, Beard JB, Hall MH (1990) Comparative dehydration avoidance and drought resistance among major warm-turfgrass species and cultivar. In: Sifers SI ed, Texas Turfgrass Research-1990. Texas Agricultural Experiment Station Publication, Texas, USA, pp. 201-205
- Udomprasert N (1999) Effect of water stress at tasselling on proline and ABA levels and yield of maize. *Kasetsart Journal Natural Science*, **33**: 310-316
- Wang ZL, Huang BR, Bonos SA, Meyer WA (2004) Abscisic acid accumulation in relation to drought tolerance in Kentucky Bluegrass. *HortScience*, **39**: 1133-1137
- Weaver JE, Zink E (1955) Length of life root ten species of perennial range and pasture grasses. *Plant Physiology*, **45**: 201-217
- White RH, Engelke MC, Anderson SJ, Ruemmele BA, Marcum KB, Taylor GR (2001) Zoysiagrass water relation. *Crop Science*, **41**: 133-138