

四种结缕草属草坪草对土壤干旱胁迫的响应及抗旱性研究

余晓华^{1,2}, 张巨明³, 王明祖¹, 杨中艺², 辛国荣²

(1.仲恺农业技术学院, 广东 广州 510225; 2.中山大学 生命科学学院, 广东 广州 510275; 3.华南农业大学 南方草业中心, 广东 广州 510642)

摘要:在玻璃温室盆栽试验,以正常浇水为对照,测定土壤逐步干旱下4种结缕草属草坪草叶片相对含水量、质膜相对透性及脯氨酸含量的变化。结果表明,与对照相比,在干旱胁迫下4种草坪草叶片相对含水量下降,叶片质膜相对透性上升,脯氨酸含量剧增,但不同草种的变化幅度和进程不同。叶片质膜相对透性与叶片相对含水量呈显著负相关($P<0.05$),与脯氨酸含量呈显著或极显著正相关($P<0.01$)。较严重干旱下相对含水量、相对电导率和脯氨酸含量不同草种间存在显著差异。干旱下草坪草的脯氨酸含量与抗旱性呈显著负相关。4种草坪草抗旱能力强弱的顺序为:兰引3号>细叶结缕草>沟叶结缕草>日本结缕草。复水试验草坪外观观测结果与草种抗旱性强弱基本一致。

关键词: 干旱胁迫; 结缕草属; 相对含水量; 质膜透性; 脯氨酸
中图分类号: S 668.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2008)05-0121-04

我国干旱和水资源短缺问题日趋严重,南方湿润地区局部和季节性干旱也连年发生。随着社会经济的发展 and 人们对环境质量要求的日益提高,草坪在城市绿化及运动场中的应用越来越广泛。据统计,美国草坪总养护费用中水消耗占14.5%,仅次于劳力消耗而位居第二^[1]。城市中绿地用水与生产生活用水矛盾日益加剧,导致当前我国许多城市对兴建大草坪叫停。

禾本科结缕草属(*Zoysia Willd.*)草坪草在我国南北广泛使用,其抗逆性强、耐践踏且弹性良好,养护费用低,是建植运动型和城市开放型草坪的首选草种。1980年起在我国南方地区绿地上大面积推广使用主要是细叶结缕草(*Z. tenuifolia Willd. ex Trin.*)和沟叶结缕草(*Z. matrella (Linn) Merr.*)。2000年开始引入兰引3号草坪型结缕草(*Z. japonica cv. lanyin No. 3*),主要用于运动场草坪,如广东奥林匹克体育中心、重庆奥林匹克体育中心、浙江黄龙体育中心等。而日本结缕草(*Z. japonica steud.*)从辽东半岛南至海南岛、西至陕西关中均有野生种,是我国南北使用最为广泛的暖季型草坪草,既可用于绿化,又可做运动场草坪草,在华南地区也引

第一作者简介: 余晓华(1971-),女,硕士,讲师,中山大学在读博士。E-mail: yuxh61@21cn.com。
基金项目: 华南农业大学校长科学基金资助项目(4100-K05141)。
收稿日期: 2007-12-12

Investigation on Variation and Relationship in Mineral Element Content of Different Lilies in Yunnan

WANG Lu-xiang, LI Qi-wan, WANG Li-hua, SU Yan, LI Yan-gang

(Institute of Quality Standard and Testing Technology of Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650223, China)

Abstract: Five varieties of lily were chosen to be investigated the variation and relationship of S、P、K、Na、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu、Mn、Sr、B、Mo、Ni、Al. The results indicated that the correlation coefficients of K and Na, Ca and Sr, Zn and Mn were at very significant level; The correlation coefficients of P and Mg, Cu and Mo were at significant level; the others mineral elements were at the no significant level.
Key words: Lily; Mineral elements; Correlation analysis

种使用过。研究表明,利用抗旱低需水型草坪草建植的草坪能够节约用水达 50%以上^[2]。因此,研究结缕草的抗旱性对选育耐旱结缕草属新品种、节约水资源和实施城市绿化建设的可持续发展都具有重大意义。

关于植物抗旱性研究,多见牧草、沙漠植物、树种及农作物^[1-10]等在水分胁迫下生理变化与抗旱性的关系方面,对不同种草坪草的研究也比较多^[11-15],少见同一属草坪草种间的比较研究。该研究以具有较强的抗旱性和节水性,已成为我国南方地区最主要的草坪草种的 3 种结缕草^[16]和日本结缕草为研究对象,探讨其对水分胁迫的响应和抗旱生理机制,并评价其抗旱性,为绿地及运动场草坪草种选育和管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试草种为日本结缕草、细叶结缕草、沟叶结缕草和兰引 3 号结缕草,均取自仲恺农业技术学院草坪品种圃内。试验用土壤为壤土+草木屑+有机肥+河沙,按体积比 9:3:2:1 充分混匀,分装于长宽高 42 cm×31 cm×15.5 cm 方形塑料盆中。2005 年 5 月初,各草种按 8 行 8 列点植盆栽,置于自然光照下的玻璃温室中,正常修剪浇水等管理,10 月初成坪。各盆草于 10 月 31 日浇水至饱和,多余水分由盆底孔流出。每草种各 3 盆(即重复 3 次)从 11 月 1 日起停止浇水,使土壤逐渐干旱;同时每草种各 1 盆正常浇水(每隔 5 d 适量浇水 1 次)作对照,共 16 盆,随机排列。每隔 5 d 取叶测定。12 月 11 日观测后开始浇水,以后每隔 7 d 观测后适量浇水 1 次。

1.2 指标测定及数据处理

相对水分含量(RWC, %):叶片鲜重 W_t , 浸入蒸馏水中 3 h,得饱和鲜重 W_t , 105℃烘 4~6 h,至恒重 W_d , 计算 $RWC = (W_t - W_d) / (W_t - W_d)$ 。质膜相对透性(RPP):取植株同位鲜叶片 0.2 g 剪碎,抽真空,蒸馏水

浸泡、振荡后在常温下浸提 30 min,测定外渗液电导率 C_1 ,及沸水浴中浸提 15 min 的外渗液电导率 C_2 ,以相对电导率 $REL = C_1 / C_2 \times 100\%$ 表示。脯氨酸含量($\mu\text{g/g}$ 鲜重):茚三酮法,721 型分光光度计测定。复水后草坪颜色和盖度用 9 分制目测法评分,取平均值得综合评分^[8,11,17]。

数据方差分析和相关性分析应用 SAS 统计软件进行。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下 4 种结缕草叶片相对含水量

正常浇水下草坪草的叶片 RWC 稳定在 96%左右(表 1);干旱胁迫下 4 种草坪草叶片 RWC 皆呈现下降的趋势,但不同的草坪草的 RWC 下降速率不同。整个干旱胁迫过程中兰引 3 号的 RWC 降低幅度最小,特别是停止浇水后 10~20 d 降幅很小,而 25 d 时的 RWC 仍为对照的 92.1%;细叶结缕草和沟叶结缕草的 RWC 下降幅度相近;日本结缕草停止浇水 5 d 的 RWC 最低,至最终 25 d 降至对照的 79.7%,降幅最大(图 1A)。

在干旱胁迫前 20 d 内,RWC 变化 4 种草坪草种间差异不显著。干旱胁迫至 25 d 时,细叶结缕草和兰引 3 号均与日本结缕草的 RWC 差异显著($P \leq 0.05$,下同),而其它草种间的 RWC 差异不显著(表 1)。

表 1 逐步干旱下 4 种草坪草叶片相对含水量 %

草种	干旱天数/d									
	5		10		15		20		25	
	CK		CK		CK		CK		CK	
日本结缕草	95.1 a	99.4	94.4 a	98.9	91.7 a	99.5	86.5 a	94.9	73.2 b	91.83
细叶结缕草	96.2 a	98.8	94.4 a	100.0	93.3 a	99.1	89.9 a	99.7	86.7 a	96.89
沟叶结缕草	95.9 a	98.9	93.2 a	97.0	90.0 a	99.0	87.4 a	97.3	81.7 ab	91.11
兰引3号		98.6 a	99.1	95.9 a	99.4	92.8 a	95.8	88.3 a	92.2	86.5 a
结缕草										93.89

注:同一列数字后不同大小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平上差异显著 下同。

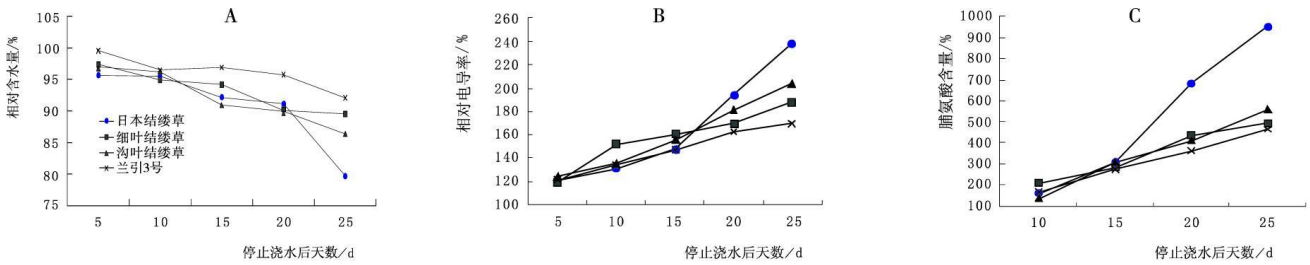


图 1 4 种草的相对于对照的叶片相对含水量、相对电导率、脯氨酸含量

2.2 干旱胁迫下 4 种结缕草质膜透性的变化

4 种草坪草与各自的对照相比,质膜透性都随着干旱加剧而增大(图 1B)。增幅最大的为日本结缕草,REL 由 5 d 时是对照的 120.1%增至 25 d 时的 237.4%。幅

最小的为兰引 3 号结缕草;细叶结缕草和沟叶结缕草的 REL 与各自对照的比值相近,但都略高于兰引 3 号结缕草的。在干旱胁迫的前 15 d 内,4 种草的 REL 种间差异显著;20 d 和 25 d 时 4 种草的 REL 种间差异极显著,

日本结缕草的 *REL* 极显著高于其它草种, 而兰引 3 号结缕草的 *REL* 显著低于其它草种(表 2)。

表 2 逐步干旱下 4 种草坪草的相对电导率 %										
草种	干旱天数/d									
	5		10		15		20		25	
	CK		CK		CK		CK		CK	
日本结缕草	23.6 a	19.6	24.7 b	18.7	38.7 a	26.2	41.9 a	21.6	43.0 A	18.11
细叶结缕草	27.1 a	22.7	31.7 a	20.9	32.8 b	20.4	35.7 B	21.1	37.8 B	20.19
沟叶结缕草	24.5 ab	19.8	30.1 ab	22.3	33.2 b	21.4	36.4 B	20.1	39.5 B	19.44
兰引 3 号结缕草	22.9 b	18.9	24.4 b	18.2	30.4 b	20.7	31.9 C	19.7	33.1 C	19.52

2.3 干旱胁迫下 4 种结缕草叶片内游离脯氨酸含量的变化

4 种草坪草叶片内游离脯氨酸含量受干旱胁迫的影响均明显高于对照, 且呈增加趋势(表 3), 表明在水分胁迫条件下会造成体内游离脯氨酸的累积。

日本结缕草的脯氨酸含量增幅最大, 由干旱胁迫 10 d 时是对照的 163.6% 上升到 25 d 的 950.7%, 其中以 15 d 后增幅最大; 其它 3 种草坪草的脯氨酸含量增幅一直相近, 最终仍以兰引 3 号结缕草增幅最小(图 1C)。

停止浇水 10、15 d 时脯氨酸含量草种间差异不显著, 而 20、25 d 时日本结缕草与其它草种间差异极显著(表 3)。

2.4 复水后草坪质量综合评分

复水后颜色盖度观测结果表明恢复较好的依次为细叶结缕草、兰引 3 号结缕草、沟叶结缕草和日本结缕草(图 2)。

表 4 4 种草坪草的相对电导率与其相对含水量和脯氨酸含量相关分析								
	相对含水量				脯氨酸含量			
	<i>Z. japonica</i>	<i>Z. tenuifolia</i>	<i>Z. matrella</i>	<i>Z. japonica. cv</i>	<i>Z. japonica</i>	<i>Z. tenuifolia</i>	<i>Z. matrella</i>	<i>Z. japonica. cv</i>
<i>Z. japonica</i>	−0. 936 *				0. 997 **			
<i>Z. tenuifolia</i>		−0. 934 *				0. 999 **		
<i>Z. matrella</i>			−0. 973 *				0. 990 *	
<i>Z. japonica</i>				−0. 894 *				0. 998 *

注 * 和 ** 分别表示 $P\leq0.05$ 和 $P\leq0.01$ 的水平, $n=5$ 。

3 讨论

相对含水量和相对电导率常作为鉴定植物抗旱性指标。在水分胁迫下, 叶片含水量减少得越多, 则草坪草所受的干旱伤害越大, 该草种的抗旱能力就越弱^[8]。在干旱胁迫下, 细胞膜结构受到伤害而引起细胞膜透性增大, 细胞内含物外渗, 外渗液电导率增大; 相对电导率增加得越多, 则植物受伤害的程度越大。抗性强的作物品种在干旱胁迫下相对含水量降幅小, 相对电导率上升慢^[11]。研究中兰引 3 号在干旱胁迫下相对含水量降幅最小, 相对电导率升高最慢, 表明其耐旱性最强; 细叶结缕草、沟叶结缕草次之, 而日本结缕草耐旱性最弱。

许多研究表明脯氨酸是植物适应干旱胁迫等逆境

表 3 逐步干旱下 4 种草坪草的脯氨酸含量

草种	干旱天数/d							
	10		15		20		25	
	CK		CK		CK		CK	
日本结缕草	79.3 a	48.5	95.6 a	31.0	143.8 A	21.0	318.5 A	33.5
细叶结缕草	61.8 a	29.0	88.5 a	31.0	175.2 B	40.0	205.2 B	41.5
沟叶结缕草	61.0 a	43.5	122.5 a	39.5	151.8 B	36.8	229.3 B	41.0
兰引 3 号结缕草	76.7 a	46.0	106.8 a	38.5	158.8 B	43.5	193.5 B	41.5

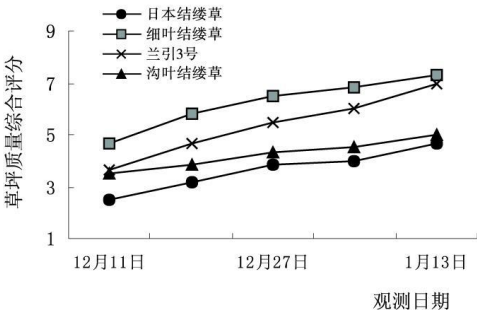


图 2 复水后各草坪草颜色盖度综合评分

2.5 4 种草坪草的 *RWC*、相对电导率和脯氨酸含量相关分析

简单相关分析结果表明, 日本结缕草、细叶结缕草、沟叶结缕草及兰引 3 号结缕草的相对含水量与各自的相对电导率呈显著负相关; 其相对电导率与各自的脯氨酸含量呈极显著或显著正相关(相关系数见表 4), 而 4 种草坪草的相对含水量与其脯氨酸含量并不完全都显著相关。

条件下的一种渗透调节物质, 干旱下植物通过代谢活动增加细胞溶质浓度, 降低渗透势, 维持膨压, 保护膜结构的完整性, 稳定酶等生物大分子结构, 具有渗透调节作用; 干旱下植物脯氨酸的积累可能具有清除活性氧、作为氮的存储库和电子受体的作用等^[9, 18]。研究表明, 水分胁迫下白梭梭(*Haloxylon persicum*)同化枝、常绿和落叶灌木、少浆旱生植物、树种苗木、小麦、草坪草如‘Meyer’结缕草品种等的脯氨酸积累是减少干旱对其伤害的保护性生理反应, 是其适应干旱胁迫的重要机制^[3-6, 8-9]。因此, 脯氨酸积累量高低可作为植物抗旱性评价的指标^[18]。

研究中干旱下 4 种结缕草脯氨酸含量都剧增, 但抗

旱性强的兰引 3 号的脯氨酸增加幅度最小, 而耐旱性最弱的日本结缕草积累的最多, 脯氨酸含量高低与抗旱性强弱呈负相关, 与卢少云等研究一致^[7-8, 11, 14]。当然干旱下脯氨酸的积累可能还同时与其它因素有关^[4, 15]。

研究中各草种叶片的脯氨酸含量比质膜透性较早反应出种间差异, 而叶片含水量只有试验末期才反应出种间差异, 说明脯氨酸的积累是植物对干旱反应敏感生理特征。

研究表明, 不同品种的结缕草在需水机制上存在着内在的基因型差异^[2]。该研究仅探讨了干旱胁迫条件下结缕草地上部分叶片的生理响应, 从地下部分的根系入手, 研究这几种结缕草在干旱胁迫下的根系响应, 如根系的细胞膜透性、脯氨酸积累、根系活力等生理变化, 需要进一步的研究。

参考文献

[1] 赵炳祥, 陈佐忠, 胡林. 草坪蒸散研究进展[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 148-157.
[2] WHITE R H, ENGELKE M G, MORTON S T, et al. Irrigation Water Requirement of Zoysiagrass[J]. Int. Turfgrass Soc. Res. J., 1993, 7: 587-593.
[3] Ruan Xiao, Wang Qiang, Chen Yaning, et al. Physio-ecological response of Haloxylon persicum photosynthetic shoots to drought stress[J]. Front. For. China, 2006(2): 176-181.
[4] Ain-Lhout F, Zunzunegui M, Diaz Barradas M G et al. Comparison of proline accumulation in two mediterranean shrubs subjected to natural and experimental water deficit[J]. Plant and Soil, 2001, 230: 175-183.
[5] 张金林, 陈托兄, 王锁民. 阿拉善荒漠区几种抗旱植物游离氨基酸和游离脯氨酸的分布特征[J]. 中国沙漠, 2004, 24(4): 493-498.

[6] 陈少瑜, 朗南军, 李吉跃, 等. 干旱胁迫下 3 树种苗木叶片相对含水量、质膜透性和脯氨酸含量的变化[J]. 西部林业科学, 2004, 33(3): 1-5.
[7] 史燕山, 骆建霞, 王煦, 等. 五种草本植物抗旱性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(5): 130-134.
[8] 谷燕蓉, 张国芳, 孟林. 四种牧草幼苗对水分胁迫的相应及其抗旱性[J]. 四川草原, 2005(4): 4-7.
[9] 张烈, 沈秀瑛, 孙彩霞. 水分胁迫下小麦叶片渗透调节与抗旱性的研究[J]. 华北农学报, 1999, 14(1): 38-41.
[10] 洪法水, 李曼和. 自然干旱胁迫下小麦品种游离脯氨酸积累与抗旱性的关系[J]. 安徽农业科学, 1991(4): 311-314.
[11] 卢少云, 陈斯平, 陈斯曼, 等. 三种暖季型草坪草在干旱条件下脯氨酸含量和抗氧化酶活性的变化[J]. 园艺学报, 2003, 30(3): 303-306.
[12] 周兴元, 曹福亮, 刘国华. 两种暖季型草坪禾草对土壤持续干旱胁迫的生理反应[J]. 草业学报, 2004, 13(1): 84-88.
[13] 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.
[14] Hanson A D, Nelsen C E, Pedersen A R et al. Capacity for proline accumulation during water stress in barley and its implication for drought resistance[J]. Crop Sci, 1979, 19: 489-493.
[15] 韩建国, 潘全山, 王培. 不同草坪草蒸散量及各草坪草抗旱性的研究[J]. 草业学报, 2001, 10(4): 56-63.
[16] 张巨明, 张小虎, 刘照辉. 暖季型草坪草的引种与评价[J]. 草业科学, 1996, 13(6): 35-41.
[17] 张云贵, 覃广泉, 刘祥云. 生物化学实验指导[M]. 天津: 天津大学出版社, 2001.
[18] KAVI KISHOR R P, HONG Z MIAO G H, et al. Over expression of Δ^1 -pyrroline-5-carboxylate synthetase increases proline production and confer osmo tolerance in plants[J]. Plant Physiol, 1995, 108: 1387-1394.
[19] 徐秀梅, 杨万仁, 刘东宁. 干旱区 20 个紫花苜蓿品种抗旱性研究[J]. 种子, 2004, 23(11): 21-24.

Response and Resistance of Four Turfgrasses of *Zoysia* Willd. to Drought Stress

YU Xiao-hua^{1,2}, ZHANG Ju-ming³, WANG Ming-zu¹, YANG Zhong-yi¹, XIN Guo-rong²

(1. Zhongkai University of Agriculture and Technology, Guangzhou, Guangdong 510225, China; 2. School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangzhou 510275, China; 3. South Grass Research Center, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

Abstract: Relative water content, plasma-membrane permeability and proline content were measured in the leaves of four turfgrasses of *Zoysia* Willd. Using stopping water supply as treatment and watering normally as control in greenhouse. The results showed that under water stress condition the relative water content decreased, the plasma membrane permeability enhanced, and the proline accumulated acutely in their leaves. The relative water content, plasma-membrane permeability and proline content were significantly different between four turfgrasses under severe soil drought stress. The relative water content was significantly negatively related to plasma-membrane permeability, and plasma-membrane permeability was significantly or very significantly positively related to proline content for four species. According to analysis of physiological characters and natural performance, the ranks of drought resistance of four turfgrasses were *Zoysia japonica* cv. Lanyin No.3 > *Zoysia tenuifolia* Willd. ex Trin > *Zoysia matrella* (Linn) Merr > *Zoysia japonica* steud.

Key words: Drought stress; *Zoysia* Willd.; Relative water content; Plasma-membrane permeability; Proline