



宋华伟, 刘 颖, 曹荣祥, 等. 3 种结缕草及其⁶⁰Co-γ 辐射诱变新品系抗旱性比较[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(6): 55-61.

3 种结缕草及其⁶⁰Co-γ 辐射诱变新品系抗旱性比较

宋华伟, 刘 颖, 曹荣祥, 张巨明

(华南农业大学 林学与风景园林学院, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】探究 3 种结缕草 *Zoysia japonica* 及其⁶⁰Co-γ 辐射诱变选育的 6 种新品系间抗旱性的差异.【方法】以兰引Ⅲ号(LY)、ZS-1(ZS)和 ZS-SJZ(ZSS)3 种结缕草及其 6 种新品系为材料,在盆栽条件下进行干旱胁迫处理,在干旱胁迫处理后第 3、9、15 天测定叶片相对含水量、相对电导率、脯氨酸含量、可溶性总糖含量,同时观测草坪草盖度和颜色变化;干旱胁迫处理后复水,观测草坪草盖度和颜色变化.【结果和结论】随着干旱胁迫的加剧,结缕草叶片相对含水量不断下降,脯氨酸含量、可溶性总糖含量和相对电导率呈上升趋势,草坪盖度和颜色评分降低.通过隶属函数标准差系数赋予权重法对 9 份材料的抗旱性进行综合评价,抗旱性从强到弱依次为 ZSS-5 > ZS-3 > LY > LY-2 > ZS > ZS-4 > LY-1 > ZSS-6 > ZSS,新品系 ZSS-5、ZSS-6、ZS-3 抗旱性优于其亲本,说明结缕草可以通过辐射育种选育抗旱品种.

关键词:⁶⁰Co-γ 辐射; 结缕草; 辐射育种; 隶属函数; 抗旱性
中图分类号:Q345.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2015)06-0055-07

A comparison of drought resistance of three zoysiagrasses and their new strains induced by ⁶⁰Co-γ radiation

SONG Huawei, LIU Ying, CAO Rongxiang, ZHANG Juming

(College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract:【Objective】To evaluate the differences of drought resistance of three zoysiagarasses, *Zoysia japonica*, and their new strains induced by ⁶⁰Co-γ radiation. 【Method】Three zoysiagrasses including Lanyin No. Ⅲ (LY), ZS-1 (ZS) and ZS-SJZ (ZSS), and their six new strains were cultivated in pots under the drought stress condition. The relative water content, relative electrical conductivity, proline content and total soluble sugar content of leaves were measured on the 3rd, 9th and 15th day after the drought stress treatment. The turfgrass coverage and color were observed and evaluated during the drought stress. 【Result and conclusion】With the increase of drought stress, the relative water content of leaves decreased gradually and turfgrass coverage and color scores also reduced, whereas the proline content, total soluble sugar content and relative electrical conductivity of leaves had an upward trend. Through the comprehensive evaluation of drought resistance with subordinate function weights coefficient of standard deviation, the drought resistance ability ranks of the tested materials were as follows: ZSS-5 > ZS-3 > LY > LY-2 > ZS > ZS-4 > LY-1 > ZSS-6 > ZSS, which demonstrated that the drought resistance abilities of new strains ZSS-5, ZSS-6 and ZS-3 were stronger than those of their parents. The radiation breeding is an effective way to breed new drought-resistant zoysiagrass varieties.

Key words:⁶⁰Co-γ radiation; *Zoysia japonica*; radiation breeding; subordinate function; drought resistance

当前全球的气候变化使得干旱问题日益严重^[1]. 草坪草在生长发育过程中,通过地下器官吸收土壤水分进行蒸腾作用和调节组织功能,在土壤水分供应不足时,会引起植株生理机能紊乱,严重时造成草坪草死亡. 抗旱性是草坪草抗逆性的一个重要指标^[2-3]. 国内外研究表明,不同种甚至不同品种的草抗旱性差异很大,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^[4]. 因此,开展草坪草抗旱研究,对节约水资源、建设可持续的草坪生态系统有重要意义. 在草坪草抗旱性评价方面,很多方法已经得到应用,比如草坪质量评价法、形态学鉴定法、表征永久萎蔫系数法、生理指标评价以及综合评价法^[5]. Huang 等^[6]用冠层温度、叶绿素含量、相对含水量和茎干早生长量对 7 种暖季性草坪草在表层 0~40 cm 土壤干旱条件下的抗旱性进行了研究. 吕静等^[7]选取土壤含水量、叶片相对含水量、质膜透性、可溶性糖含量、丙二醛含量及脯氨酸含量等指标对 4 种暖季型草坪草的抗旱性作了排序.

结缕草 *Zoysia japonica* 作为华南地区主要的草坪草种,具有低维护、耐践踏、耐瘠薄、抗病虫害以及耐盐碱等特性,其不论在坪用性状还是抗逆性等方面都存在很大的遗传变异,是一种很有发展潜力的草坪草^[8-9]. 在抗旱性方面,余晓华等^[10]通过测定叶片相对含水量、质膜相对透性及脯氨酸含量的变化对 4 种结缕草的抗旱能力进行了排序. 谢新春等^[11]通过盆栽试验,比较了兰引Ⅲ号、新品系 ZS-1 和 ZS-SJZ 等 3 个结缕草品种(系)的抗旱性强弱. 以上研究结果表明,结缕草的抗旱性品种间存在很大差异.

本试验以 3 种结缕草和经过⁶⁰Co-γ 辐射诱变选育的 6 种新品系为材料,在干旱胁迫条件下,通过测定叶片的相对电导率、脯氨酸含量、可溶性总糖含量、相对含水量等生理指标和盖度、颜色等表观性状,比较 3 种结缕草及其新品系的抗旱性,为草坪草抗性育种提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料共 9 种,包括兰引Ⅲ号结缕草 *Zoysia japonica* cv. Lanyin No. Ⅲ (LY) 及其新品系 LY-50-2 (LY-1)、LY-450-1 (LY-2); ZS-1 结缕草 *Zoysia japonica* spp. (ZS) 及其新品系 ZS-40-2 (ZS-3)、ZS-50-2 (ZS-4); ZS-SJZ 结缕草 *Zoysia japonica* spp. (ZSS) 及其新品系 ZSS-50-1 (ZSS-5)、ZSS-60-2 (ZSS-6). 其中,LY-1 和 LY-2 是利用⁶⁰Co-γ 射线以 0.14 Gy·min⁻¹ 的强度分别在 40 和 450 Gy 剂量下辐射 LY 筛选出的新品系; ZS-3、ZS-4 是利用同样方法辐射 ZS 筛选出的新品系; ZSS-5、ZSS-6 是辐射 ZSS 筛选出的新品系.

1.2 试验方法

盆栽试验设在华南农业大学农学院楼顶天台,地处 N 24°26'、E 118°04',属于亚热带海洋性季风气候,年平均气温为 21.8℃,最热月(7 月)多年平均气温为 28.5℃,最冷月(1 月)多年平均气温为 13.0℃,年降雨量约为 1 706.6 mm. 试验材料于 2013 年 7 月 18 日种植于花盆中(花盆口径为 20 cm、高为 17 cm),基质为普通细河沙与泥炭按质量比 3:1 的比例混合均匀,每个品种(系)种植 3 盆,共 27 盆,正常养护管理. 至 2013 年 11 月 15 日,所有材料的盖度均达到 100%,之后统一修剪,精心养护管理. 继续培养 20 d 后,于 12 月 4 日浇透水,开始干旱胁迫处理,在控水(一直不浇水)之后的第 3、9 和 15 天时取相同位置的叶片测定相关的生理指标,叶片采集的时间为当天上午 8 点左右,每盆取样 2.0 g. 试验过程中同时监测土壤含水量变化,确定干旱胁迫程度,第 3、9 和 15 天取样时的土壤含水量(*w*)分别为 18.76%、12.74% 和 2.43%. 干旱胁迫处理结束后复水,浇透水.

1.3 测定指标及方法

土壤含水量:利用 Field Scout TDR-100 土壤水分速测仪监测土层表面至土层以下 7.5 cm 处含水量,随机选取 3 处进行测定,取平均数. 叶片相对含水量(RWC):取不同处理的、剪碎混匀的新鲜叶片 0.2 g,除去表面灰尘,称其鲜质量,然后置于烘箱中,105℃杀青 15 min,80℃烘干 24 h,称其干质量,叶片相对含水量 = [(鲜质量 - 干质量)/鲜质量] × 100%^[12],重复 3 次. 叶片相对电导率(REC)采用 DDSJ-307 型电导率仪(上海精密科学仪器有限公司)测定;脯氨酸含量(Pro)采用磺基水杨酸提取茚三酮显色法测定;可溶性糖含量(TSC)采用蒽酮法测定^[13];重复 3 次.

盖度(Coverage):采用面积为 10 cm × 10 cm 的样方框,随机放置,方格内交叉点触及叶片的均算已覆盖. 计算已覆盖的交叉点的数目所占百分数,即为盖度. 颜色(Color):在结缕草生长稳定期,于 2 次施肥间期对颜色采用 9 分制评分方式进行打分. 颜色墨绿为 9 分,完全枯黄为 1 分,6 分为绿色(也为可以接受水平),中间级别则依此尺度打分.

1.4 综合评价方法

采用隶属函数值赋予权重法^[14]进行抗旱性综合评价:

$$\mu(X_j) = \frac{X_j - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}, \tag{1}$$

$$\mu(X_j) = 1 - \frac{X_j - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}, \tag{2}$$

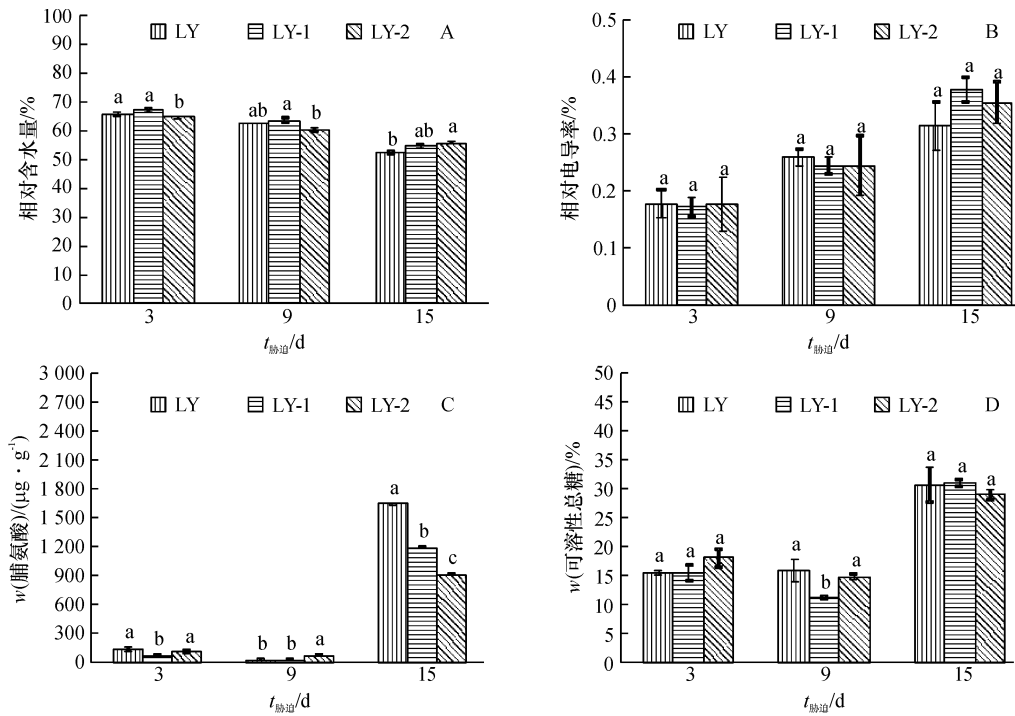
$$V_j = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2}}{\bar{X}_j}, \tag{3}$$

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j}, \tag{4}$$
$$D = \sum_{j=1}^n [\mu(X_j) \cdot W_j]. \tag{5}$$

式中, $\mu(X_j)$ 表示第 j 个指标的隶属函数值, 当 j 指标与抗旱性正相关采用(1)式, 负相关采用(2)式; X_j 表示第 j 个指标值; $X_{\min}$ 表示第 j 个指标最小值; $X_{\max}$ 表示第 j 个指标最大值, $\bar{X}_j$ 表示第 j 个指标平均值; X_{ij} 表示 i 材料 j 性状的隶属函数值; V_j 表示第 j 个指标标准差系数; W_j 表示第 j 个指标权重; D 表示各材料的综合评价值.

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 进行图表分析, 采用 SPSS 17.0 软件进行方差分析, 采用 Duncan's 法在 $P < 0.05$ 水平下进行多重比较.



各图中相同胁迫时间柱子上凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著 (Duncan's 法, $P > 0.05$).

图1 干旱胁迫对兰引Ⅲ号结缕草及新品系生理指标的影响

Fig.1 Effects of drought stress on physiological characteristics of *Zoysia japonica* cv. Lanyin No. III and its new strains

由表1可知,在干旱胁迫的第15天,LY结缕草及其新品系的叶片由于缺水颜色变浅,颜色分值呈现LY > LY-2 > LY-1;复水后,LY结缕草及其新品系的颜色都有所恢复,整体呈现LY > LY-1 > LY-2. LY

结缕草及其新品系的盖度随着胁迫的加剧而逐渐降低,在胁迫第15天时,盖度呈现LY-2 > LY-1 > LY;复水后,LY结缕草及其新品系恢复较快,呈现LY > LY-2 > LY-1,但三者之间无显著差异.

表1 干旱胁迫下兰引Ⅲ号结缕草及新品系颜色得分和盖度的变化¹⁾

Tab.1 Changes of color score and coverage of *Zoysia japonica* Lanyin No. III and its new strains under drought stress

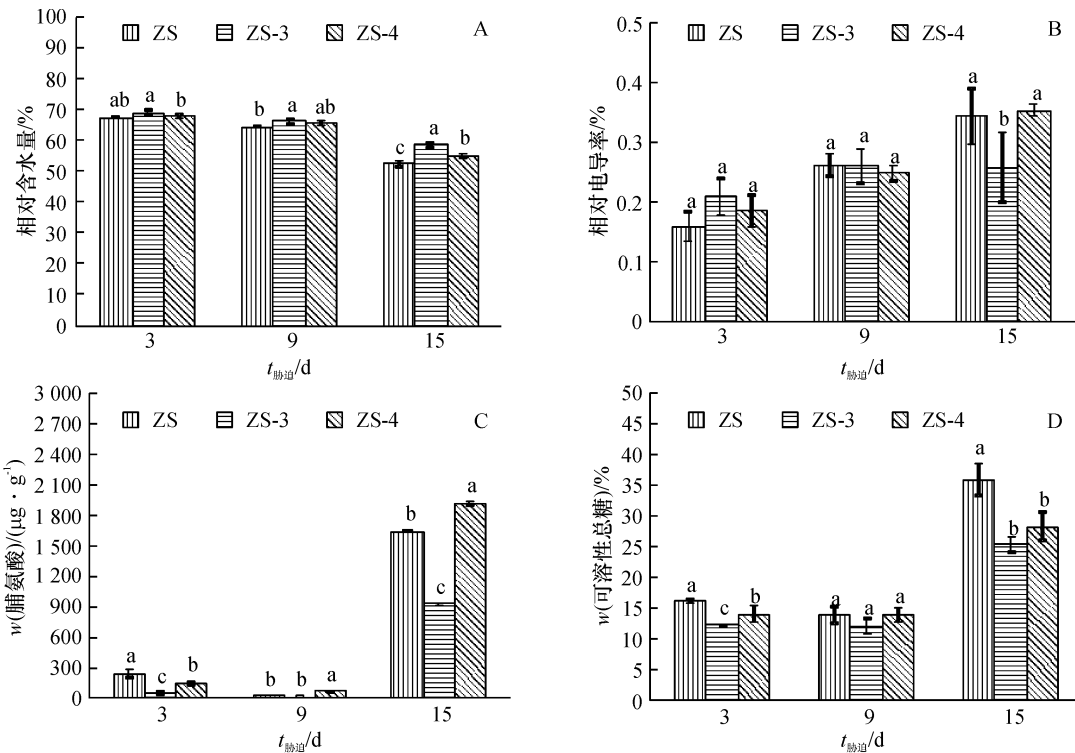
材料	颜色得分				盖度/%			
	3 d	9 d	15 d	复水	3 d	9 d	15 d	复水
LY	8.8 ± 0.3a	8.8 ± 0.3a	6.0 ± 0.5a	7.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	40.0 ± 10.1c	95.0 ± 0.0a
LY-1	8.8 ± 0.3a	8.8 ± 0.3a	4.0 ± 0.5b	6.5 ± 0.9a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	66.7 ± 28.9b	90.0 ± 0.0a
LY-2	8.0 ± 0.0b	8.0 ± 0.0b	4.7 ± 0.6b	6.2 ± 0.8a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	89.3 ± 7.0a	91.7 ± 2.9a

1) 表中数据为平均值 ± 标准误, 同列数据后凡是有一个相同小写字母者, 表示差异不显著 (Duncan's 法 $P > 0.05$).

2.2 ZS-1 结缕草及其新品系抗旱性比较

由图 2A 可以看出,整个时期 ZS 结缕草及其新品系 RWC 随着胁迫程度的增加而呈逐渐降低的趋势.在胁迫的第 15 天,ZS-3 和 ZS-4 的叶片 RWC 显著高于 ZS,且整体呈现 ZS-3 > ZS-4 > ZS. ZS 和 ZS-4 随着干旱胁迫的加剧其叶片 REC 逐渐增大,而 ZS-3 的叶片 REC 处于比较稳定的状态,在干旱胁迫处理

的第 15 d,ZS 和 ZS-4 叶片的 REC 显著高于 ZS-3(图 2B).在胁迫处理的第 3 d,ZS-3 的 Pro 质量分数显著低于 ZS 和 ZS-4,而在胁迫的第 15 天,ZS-4 的 Pro 质量分数显著高于 ZS 和 ZS-3,达到 $1\,922.04\,\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (图 2C).在整个干旱胁迫时期,ZS 的 TSC 质量分数始终高于 ZS-3 和 ZS-4,且在处理的第 3、15 天,达到了显著水平(图 2D).



各图中相同胁迫时间柱子上凡是有有一个相同小写字母者,表示差异不显著 (Duncan's 法, $P > 0.05$).

图 2 干旱胁迫对 ZS-1 号结缕草及新品系生理指标的影响

Fig. 2 Effects of drought stress on physiological characteristics of *Zoysia japonica* 'ZS-1' and its new strains

由表 2 可知,在干旱胁迫的第 15 天,ZS 结缕草及其新品系的叶片由于缺水颜色变浅,颜色分值呈现 $ZS \approx ZS-3 > ZS-4$,复水后,ZS 结缕草及其新品系的颜色都有所恢复,整体呈现 $ZS-3 > ZS > ZS-4$,除第 9 天外,三者之间无显著差异. ZS 结缕草及其新

品系的盖度随着胁迫天数的增加而逐渐降低,在胁迫第 15 天时,盖度呈现 $ZS-3 > ZS > ZS-4$,复水后, ZS 结缕草及其新品系的盖度都有所增加,呈现 $ZS > ZS-3 = ZS-4$,除第 9 天外,三者之间无显著差异.

表 2 干旱胁迫下 ZS-1 结缕草及新品系颜色得分和盖度的变化¹⁾

材料	颜色得分				盖度/%			
	3 d	9 d	15 d	复水	3 d	9 d	15 d	复水
ZS	8.0 ± 0.5a	8.0 ± 0.5a	5.0 ± 0.5a	7.1 ± 0.9a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	61.7 ± 5.5ab	90.0 ± 8.7a
ZS-3	8.3 ± 0.3a	8.3 ± 0.3a	5.0 ± 0.5a	7.2 ± 0.3a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	75.3 ± 20.0a	85.0 ± 0.0a
ZS-4	8.3 ± 0.3a	8.3 ± 0.3a	3.0 ± 0.0b	6.5 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	52.3 ± 2.5b	85.0 ± 0.0a

1) 表中数据为平均值 ± 标准误,同列数据后凡是有有一个相同小写字母者,表示差异不显著 (Duncan's 法, $P > 0.05$).

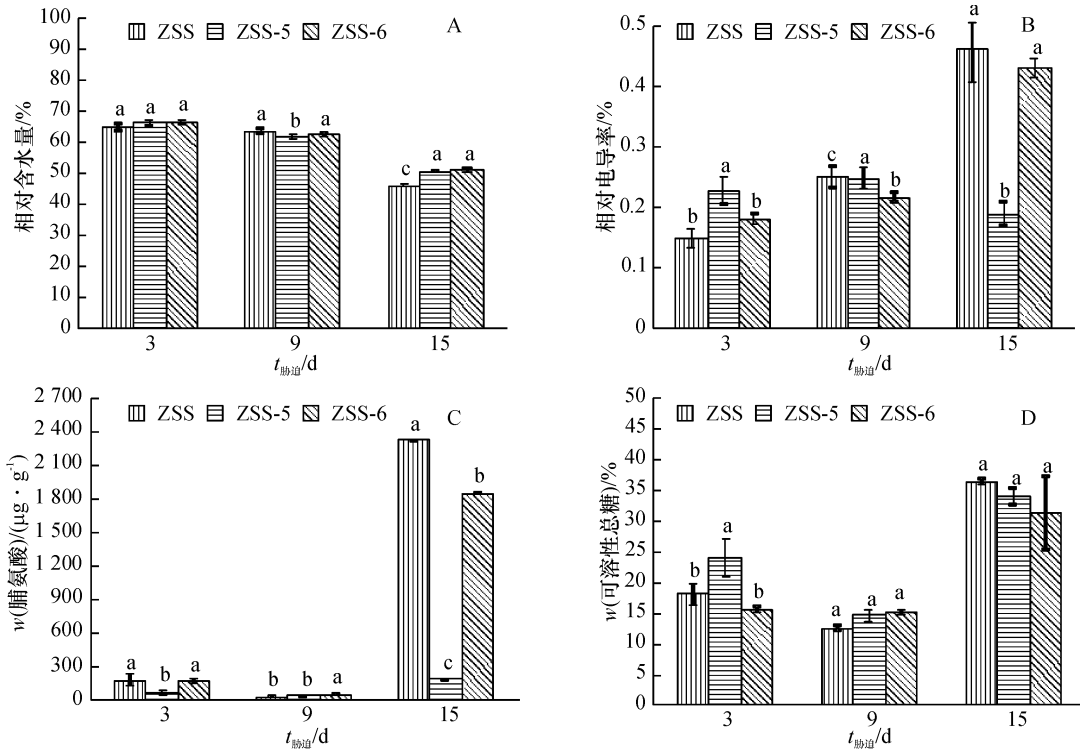
2.3 ZSS 结缕草及其新品系抗旱性比较

从图 3A 可以看出,整个干旱胁迫时期,ZSS 结缕草及其新品系 RWC 随着胁迫程度的增加而逐渐

降低.在胁迫的第 15 天,ZSS-5 和 ZSS-6 的叶片 RWC 显著高于 ZSS,且整体呈现 $ZSS-6 > ZSS-5 > ZSS$.随着干旱胁迫的加剧 ZSS 和 ZSS-6 叶片 REC 逐渐增大,

而 ZSS-5 的叶片 REC 则呈先升高后降低的状态,在处理的第 15 天,新品系 ZSS-5 的叶片 REC 显著低于 ZSS 和 ZSS-6(图 3B). ZSS 在干旱胁迫处理的第 15 天,Pro 质量分数急剧增加,达到 $2\,326.32\,\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,显著高于 ZSS-5 和 ZSS-6,整个胁迫期间 ZSS-5 的 Pro

质量分数一直处于比较稳定的状态(图 3C). ZSS 及其 2 个新品系的 TSC 质量分数在整个干旱胁迫期间先下降后上升,在处理的第 3 天,ZSS-5 的 TSC 质量分数显著高于 ZSS-6 和 ZSS,其余时期没有显著差异(图 3D).



各图中相同胁迫时间柱子上凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著 (Duncan's 法, $P>0.05$).

图3 干旱胁迫对 ZSS-SJZ 结缕草及新品系生理指标的影响

Fig. 3 Effect of drought stress on physiological characteristics of *Zoysia japonica* ‘ZSS’ and its new strains

由表 3 可知,在干旱胁迫的第 15 天,ZSS 结缕草及其新品系的叶片由于缺水颜色变浅,颜色分值呈现 $\text{ZSS-5} > \text{ZSS} \approx \text{ZSS-6}$;复水后,ZSS 结缕草及其新品系的颜色都有所恢复,整体呈现 $\text{ZSS-5} \approx \text{ZSS-6} > \text{ZSS}$,且新品系 ZSS-5 的叶片颜色一直处于深绿

的状态. ZSS 结缕草及其新品系的盖度随着胁迫的加剧而逐渐降低,在胁迫第 15 天时,盖度呈现 $\text{ZSS-5} > \text{ZSS} > \text{ZSS-6}$;复水后,ZSS 结缕草及其新品系的盖度都有所增加,且新品系 ZSS-5 的盖度一直维持在 100%.

表3 干旱胁迫下 ZSS-SJZ 结缕草及新品系颜色得分和盖度的变化¹⁾

材料	颜色得分				盖度/%			
	3 d	9 d	15 d	复水	3 d	9 d	15 d	复水
ZSS	$7.7 \pm 0.3\text{b}$	$7.7 \pm 0.3\text{b}$	$3.0 \pm 0.5\text{b}$	$6.5 \pm 0.5\text{b}$	$100.0 \pm 0.0\text{a}$	$100.0 \pm 0.0\text{a}$	$20.3 \pm 10.2\text{b}$	$85.0 \pm 10.0\text{b}$
ZSS-5	$8.8 \pm 0.3\text{a}$	$8.8 \pm 0.3\text{a}$	$8.5 \pm 0.0\text{a}$	$8.8 \pm 0.3\text{a}$	$100.0 \pm 0.0\text{a}$	$100.0 \pm 0.0\text{a}$	$100.0 \pm 0.0\text{a}$	$100.0 \pm 0.0\text{a}$
ZSS-6	$8.7 \pm 0.3\text{a}$	$8.7 \pm 0.3\text{a}$	$3.0 \pm 0.5\text{b}$	$6.2 \pm 1.0\text{b}$	$100.0 \pm 0.0\text{a}$	$100.0 \pm 0.0\text{a}$	$43.7 \pm 10.4\text{b}$	$81.7 \pm 5.8\text{b}$

1)表中数据为平均值±标准误,同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著 (Duncan's 法, $P>0.05$).

2.4 结缕草及其新品系抗旱性综合评价

采用标准差系数赋予权重法,选用叶片相对含水量、脯氨酸含量、相对电导率、可溶性总糖含量、盖度和颜色共 6 项指标,对 3 种结缕草及其 6 种新品系材料的抗旱性进行了综合评价. 综合评价价值 (D) 为

各种质材料在干旱胁迫下的抗旱性综合评价价值, D 值越大,表明抗旱性越强. 由表 4 可以看出,3 种结缕草及其新品系抗旱性从强到弱依次为 $\text{ZSS-5} > \text{ZS-3} > \text{LY} > \text{LY-2} > \text{ZS} > \text{ZS-4} > \text{LY-1} > \text{ZSS-6} > \text{ZSS}$.

表 4 干旱胁迫条件下结缕草隶属函数值¹⁾

Tab. 4 Subordinate function values of zoysiagrasses under drought stress

材料	隶属函数值						<i>D</i>	排序
	<i>X</i> ₁	<i>X</i> ₂	<i>X</i> ₃	<i>X</i> ₄	<i>X</i> ₅	<i>X</i> ₆		
LY	0.520	0.670	0.540	0.530	0.250	0.550	0.506	3
LY-1	0.680	0.470	0.310	0.490	0.580	0.180	0.419	7
LY-2	0.800	0.300	0.390	0.680	0.870	0.300	0.499	4
ZS	0.500	0.680	0.440	0.050	0.520	0.360	0.484	5
ZS-3	1.000	0.350	0.750	1.000	0.690	0.360	0.563	2
ZS-4	0.730	0.810	0.400	0.730	0.400	0.000	0.460	6
ZSS	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.279	9
ZSS-5	0.370	0.000	1.000	0.220	1.000	1.000	0.641	1
ZSS-6	0.410	0.780	0.110	0.460	0.290	0.000	0.353	8
权重	0.040	0.279	0.139	0.070	0.245	0.227		

1) 表中 *X*₁、*X*₂、*X*₃、*X*₄、*X*₅、*X*₆ 分别表示叶片相对含水量、脯氨酸含量、相对电导率、可溶性总糖含量、盖度、颜色等指标的隶属函数值, *D* 表示综合评价值。

3 讨论与结论

RWC 是植物抗旱分析的重要生理指标之一,可反映植物水分亏缺程度,RWC 的大小可部分反映植物的抗旱能力。在水分胁迫下,RWC 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^[15]。本研究结果表明,随着干旱胁迫程度的增加,9 种材料叶片相对含水量均有所下降。在干旱胁迫的第 15 天,新品系 ZSS-5 和 ZS-3 的 REC 下降幅度小于其亲本,表明在相同干旱胁迫下,新品系植物对水分的利用效率更高,叶片的保水能力更好,说明其有更好的抗旱性。试验测定结果显示,LY-2 和 ZS-4 的 RWC 较高,表明其叶片保水能力相对较强,但该结果与综合评价结果并不是完全一致,说明用单一指标评价抗旱性可能导致片面性。

细胞原生质膜对干旱胁迫非常敏感,干旱胁迫下植物细胞由于脱水伤害导致质膜相对透性增大,从而使细胞内的电解质外渗,导致电导率增大^[16],因此 REC 的高低可直接用来衡量草坪草的抗旱能力。在相同干旱胁迫下,质膜透性增大的速度越大,说明植物的抗旱性越弱^[17]。本研究结果表明,在干旱胁迫的第 15 天,ZS-3 和 ZSS-5 的 REC 显著低于各自亲本对照,表明二者具有较强的抗旱性。

植物在严重干旱状态下,Pro 和 TSC 作为渗透调节物质在植物体内的合成会增加^[18-19]。周兴元等^[20]研究指出可将脯氨酸含量作为评价植物抗旱性的指标之一。余光辉^[21]在假俭草 *Eremochloa ophiuriodes* (Munro) Hack 上的研究结果验证了这一结论。抗旱性弱的草种游离脯氨酸积累更为敏感,积累的量比抗旱性强的草种多^[22]。本研究结果表明,在整个干旱

时期,所有材料的 Pro 和 TSC 含量整体呈增大的趋势,其中 ZS-3 和 ZSS-5 的 Pro 和 TSC 含量均显著低于各自亲本对照,体内积累的含量也较低,说明其具有较强的抗旱性。Cai 等^[23]认为,抗旱性强的品种脯氨酸累积增多。上述 2 种截然相反的观点可能的原因是,在干旱胁迫条件下不同植物对 Pro 和 TSC 敏感性不同,因而存在调节程度的差别。

干旱胁迫下,植物叶片的适应性变化将有利于水分的保持和水分利用效率的提高^[24]。通常采用草坪的综合评分来衡量茎叶的形态变化,可以较为直观地说明草种的抗旱性^[25]。本研究结果表明,在干旱胁迫的第 9 天,土壤含水量(*w*)平均为 12.74%,所有的结缕草材料均能正常生长,叶片色泽正常,盖度保持 100%;但在干旱胁迫的第 15 天时,土壤含水量平均为 2.43%,大部分材料地上部生长减缓,叶片枯黄、卷曲或对折,盖度减小,这与梁国玲等^[3]的研究结果相似。干旱胁迫的第 15 天,LY-2、ZS-3、ZSS-5 的盖度高于其亲本,萎蔫率低于亲本,并且复水之后恢复效果也较好,表明这些新品系对于干旱胁迫的适应能力较强。

植物的抗旱性由多基因控制,是由多种因素相互作用而构成的一个较为复杂的综合性状。其中每一个因素与抗旱性本质之间存在着一定的联系或相关^[26]。单一的抗旱指标不能对植物的抗旱性做出评价,需从整体上将生理指标和形态指标综合起来进行评价才能得出结论^[27]。本研究选用 3 种结缕草和经过⁶⁰Co- γ 辐射诱变之后筛选的 6 种新品系为材料,通过对叶片的相对含水量、相对电导率、脯氨酸含量、可溶性总糖含量、盖度和颜色等指标的测定,利用隶属函数加权法对 9 种材料的抗旱性进行了综合

评价,得出抗旱性从强到弱依次为 ZSS-5 > ZS-3 > LY > LY-2 > ZS > ZS-4 > LY-1 > ZSS-6 > ZSS. 说明结缕草可通过辐射育种选育出抗旱品种,这为草坪草抗旱育种奠定基础.

参考文献:

[1] WANG W X, VINOCUR B, ALTMAN A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance[J]. *Planta*, 2003, 218(1):1-14.

[2] 徐炳成,山仑. 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.

[3] 梁国玲,周青平,颜红波,等. 羊茅属4种牧草苗期抗旱性鉴定[J]. *草地学报*, 2009,17(2):206-212.

[4] WHITE R H, ENGELKE M C, MORTON S T, et al. Irrigation water requirement of zoysiagrass[J]. *Int Turfgrass Soc Res J*, 1993, 7:587-593.

[5] 胡化广,刘建秀,宣继萍,等. 结缕草属植物的抗旱性初步评价[J]. *草业学报*, 2007,16(1):47-51.

[6] HUANG B, DUNCAN R R, CARROW R N. Drought-resistance mechanisms of seven warm-season turfgrasses under surface soil drying: II: Root aspects[J]. *Crop Sci*, 1997,37(6):1863-1869.

[7] 吕静,刘卫东,王丽,等. 4种暖季型草坪草的抗旱性分析[J]. *中南林业科技大学学报*, 2010,30(3):100-104.

[8] 宣继萍. 结缕草属(*Zoysia* Willd.)植物种质资源多样性研究[D]. 南京:南京农业大学, 2008.

[9] JOONKI K, INJA S, SEOYOUNG S, et al. Production of unbolting lines through gamma-ray irradiation mutagenesis in genetically modified herbicide-tolerant *Zoysia japonica* [J]. *Breeding Sci*, 2009,59(1):103-105.

[10] 余晓华,张巨明,王明祖,等. 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[J]. *北方园艺*, 2008(5):121-124.

[11] 谢新春,解彦峰,张巨明,等. 干旱胁迫下3种结缕草的抗旱性分析[J]. *广东农业科学*, 2014,41(17):38-41.

[12] 高俊风. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社, 2006:15.

[13] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高

等教育出版社, 2010:174-176.

[14] 张荟荟,甄世财,张一弓,等. 12份苜蓿种质材料苗期抗旱性综合评价[J]. *草业科学*, 2014,31(4):737-742.

[15] 胡化广,张振铭,郭敏. 四种草坪草对干旱胁迫的反应及抗旱性评价[J]. *节水灌溉*, 2011(11):37-40.

[16] BLUM A, EBERCON A. Cell membrane stability as measure of drought and heat tolerance in wheat[J], *Crop Sci*, 1980,21(1):43-47.

[17] LARKINDALE J, HUANG B. Changes of lipid composition and saturation level in leaves and roots for heat-stressed and heat-acclimated creeping bentgrass[J]. *Environ Exp Bot*, 2004,51(1):57-67.

[18] 刘刊,耿士均,商海燕,等. 草坪草抗性研究进展[J]. *草业科学*, 2012,29(7):7.

[19] 马芳蕾. 芒属五种观赏草的抗旱性研究[D]. 福州:福建农林大学, 2014.

[20] 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.

[21] 余光辉. 水分胁迫下假俭草脯氨酸累积的ABA、Ca²⁺调节[D]. 广州:华南师范大学, 2003.

[22] 田福平,路远,张小甫,等. 苜蓿新品种(系)的抗旱性综合评价[J]. *江苏农业科学*, 2014,42(1):160-163.

[23] CAI H, WU F, YANG W. Effect of simulated drought stress on antioxidant enzyme system of four native species in the ecotone between the Minjiang dry valley and mountain forest[J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2010,16(4):478-482.

[24] 刘颖,张巨明. 暖季型草坪草对干旱胁迫的反应[J]. *草业科学*, 2013,30(11):1732-1738.

[25] JIANG Y, HUANG B. Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation[J]. *Crop Sci*, 2001,41(2):436-442.

[26] 降云峰,赵晋锋,马宏斌,等. 作物干旱研究进展[J]. *中国农学通报*, 2013,29(3):1-10.

[27] 王志泰,马瑞,马彦军,等. 利用隶属函数法分析胡枝子抗旱性[J]. *干旱区资源与环境*, 2013,27(9):121-123.

【责任编辑 周志红】