

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0348

隋永超, 冷暖, 姜赫男, 武雪, 罗智浩, 叶昊坤, 冯玉宇, 许立新. 乙烯利对干旱胁迫下草地早熟禾生理指标的影响. 草业科学, 2018, 35(4): 822-828.

Sui Y C, Leng N, Jiang H N, Wu X, Luo Z H, Ye H K, Feng Y Y, Xu L X. Effect of ethephon on physiological indexes of Kentucky bluegrass under drought stress. Pratacultural Science, 2018, 35(4): 822-828.

乙烯利对干旱胁迫下草地早熟禾 生理指标的影响

隋永超¹, 冷暖¹, 姜赫男¹, 武雪¹, 罗智浩¹,
叶昊坤¹, 冯玉宇², 许立新¹

(1. 北京林业大学草坪研究所, 北京 100083; 2. 苏州植物园, 江苏 苏州 215131)

摘要:以草地早熟禾(*Poa pratensis*)‘Nuglade’品种为试验材料, 研究叶片喷施乙烯利对草地早熟禾在水分充足、干旱及复水恢复 3 种处理下叶片电解质渗透率、叶绿素、可溶性蛋白、丙二醛(MDA)等生理指标的影响。结果表明, 乙烯利与对照组(CK)相比, 乙烯利在干旱胁迫下保持更高的叶片相对含水量 23.5%(对照为 11.5%)和更低的电解质渗透率 68.1%(对照为 90.7%)及 MDA 含量 $53.90 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ (对照检查 $131.62 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$), 且复水后的电解质渗透率恢复程度更好; 此外乙烯利处理提高了复水恢复过程草地早熟禾的可溶性蛋白含量; 说明, 叶片喷施乙烯利能够缓解草地早熟禾的干旱胁迫损伤, 并促进干旱后的复水恢复。

关键词:相对含水量; 电解质渗透率; 可溶性蛋白; 丙二醛

中图分类号: S543⁺.901; Q945.78

文献标志码: A

文章编号: 1001-0629(2018)04-0822-07*

Effect of ethephon on physiological indexes of Kentucky bluegrass under drought stress

Sui Yong-chao¹, Leng Nuan¹, Jiang He-nan¹, Wu Xue¹,
Luo Zhi-hao¹, Ye Hao-kun¹, Feng Yu-yu², Xu Li-xin¹

(1. Turfgrass Research Institute of Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Suzhou Botanical Garden, Suzhou 215131, Jiangsu, China)

Abstract: Kentucky bluegrass cultivar “Nuglade” plants were divided into two groups-ethephon treated (ETH) and non-ethephon treated control group (CK). These groups of plants were subjected to three treatment conditions: well-watered, drought, and re-watering. The effects of ethephon on the drought responses of Kentucky bluegrass were studied by measuring physiological indicators such as electrolyte leakage and chlorophyll, soluble protein, and malondialdehyde (MDA) content. Under drought stress, ‘Nuglade’ treated with ethephon was able to maintain a higher leaf relative water content of 23.47% (with that of the control group being 11.5%) and lower membrane stability expressed as EL 68.1% (with that of the control group being 90.7%). During re-watering, the EL of the ethephon group recovered to that of unstressed plants. Under drought stress, the MDA content in ETH plants was lower than that in the control group. The SP content of the ETH group was also higher than that in the CK group under re-watering conditions; Our results indicated that spraying ethephon on the leaves of Kentucky bluegrass could improve performance and promote the recovery of physiological indexes

* 收稿日期: 2017-06-23 接受日期: 2017-11-21

基金项目: 中国林学会青年人才托举工程(2015QNRC001)

第一作者: 隋永超(1994-), 男, 北京人, 在读硕士生, 主要从事草地植物遗传育种研究。E-mail: 1815118314@qq.com

通信作者: 许立新(1985-), 女, 山西大同人, 副教授, 博士, 主要从事草地植物遗传育种研究。E-mail: lixinxu@bjfu.edu.cn

during re-watering.

Key words: relative water content; electrolyte leakage; soluble protein; malondialdehyde

Corresponding author: Xu Li-xin E-mail:lixinxu@bjfu.edu.cn

随着我国社会经济逐渐发达,人口数量逐渐膨胀,水资源短缺的问题日益严重,直接导致了我国干旱区域的扩大和区域干旱化。干旱是限制草坪草生长的主要因子,当植物受到干旱胁迫时自身会对不良环境做出响应,影响草坪外观质量^[1]。

草地早熟禾(*Poa pratensis*)是我国北方常用的绿化草坪草和运动场草坪草,因具有株体低矮、持绿期较长、抗性较好等特点被广泛应用于草坪以及绿地的建植^[2]。在草坪养护管理中,灌溉是不可或缺的管理养护措施。使用生长调节剂能够提高草坪草抗旱性,从而降低灌溉用水量成为广受关注的研究热点。

乙烯是植物五大激素之一,具有促进种子萌发,增强植物抗逆性等作用。由于乙烯以气体状态存在,在试验操作中难度较大,通常情况下用乙烯利来代替乙烯^[3]。目前国内关于喷施乙烯利对植物产生影响的研究多以玉米(*Zea mays*)、花生(*Arachis hypogaea*)、小麦(*Triticum aestivum*)等农作物为主,而对草坪草的相关研究较少。高波等人^[4]发现,喷洒低浓度乙烯利(150 mL·hm⁻²)并适当增加种植密度可以获得更高的产量。另外王昭静^[5]的研究指出,在花生的幼果期喷施200~500 mg·L⁻¹的乙烯利和叶面肥,既能促进花生增产又能维持花生植株生长的养分环境。翁惠玉和武总信^[6]发现,666.67 m²喷施20 g有效成分的乙烯利时,每666.67 m²增产小麦32~48 kg,增产率达10.22%~22.86%。国外相关研究发现,乙烯利喷施处理草坪草可以有效抑制草坪草的生长速度并控制根的干重^[7],但对草坪草抗旱性影响的相关研究较少。此外,Shatters等^[8]研究表明,乙烯利组处理的狗牙根(*Cynodon dactylon*)比对照组所受到的干旱损伤小,推测乙烯利对草坪草具有节水和增强抗旱的能力。

韩露^[9]发现,乙烯利的浓度是影响草坪草不同发育阶段生理指标的重要决定因素,并得出结论:低浓度(200 mg·L⁻¹)的乙烯利能有效提高草地早熟禾的抗旱性。张琼等^[10]发现,适度的干旱不会导致植物死亡,复水后,植株的生理特征及形态会缓慢的恢复,因此植物的复水恢复能力也是植物抗旱性的重要衡量指标。本研究检测生长调节剂乙烯利对我国北方常用草坪草草地早熟禾生理指标的影响,以此研究利用

乙烯利提高植物耐旱性,以期为草坪管理中减少灌溉用水提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及处理

本研究选用草地早熟禾‘Nuglade’品种作为试验材料,购自北京绿冠公司,在北京林业大学八家村试验站进行种植养护。将处于成熟期的草地早熟禾分为喷施乙烯利处理组(ETH)和蒸馏水对照组(CK),每组4个生物学重复,乙烯利浓度为200 mg·L⁻¹,过量喷施处理,喷至叶片凝结水珠为止,叶片喷施处理7 d后^[9]对两组植物材料进行3种梯度水分处理(土壤含水量如表1所列):水分充足处理,浇水至土壤水分饱和;干旱胁迫处理,不浇水15 d使土壤水分下降为2%左右;复水恢复处理,干旱胁迫后,进行充足浇水处理3 d,使土壤含水量恢复为30%~32.5%。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 土壤含水量(SWC)及叶片相对含水量(RWC)测定 土壤含水量使用TDR(Time Domain Reflectometry)仪器采用时间域反射方法进行测定,本研究采用10 cm波导探针探测表层土壤水分含量。

叶片相对含水量采用烘干法^[11]进行测定,采集样品叶片并称量鲜重(FW),叶片饱和吸水后称重(TW),样品烘干后称得干重(DW),通过公式计算出叶片相对含水量:

$$RWC = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100\%$$

1.2.2 电解质渗透率(EL)测定 采用Blum和Ebercon^[12]的方法,取样振荡24 h后,用电导仪测得初始电解质值C_{initial},随后高压灭菌,使叶片释放出组织内所有电解质,测得C_{max},最后通过C_{initial}和C_{max}的百分比值获得EL。

1.2.3 叶绿素(Chl)含量测定 采用二甲基亚砜(DMSO)法^[13],使用DMSO提取叶片组织中的叶绿素,再结合分光光度计测量波长在663 nm和645 nm下吸收值,样品烘干后测得干重(DW),并通过公式计算出叶绿素(Chlorophyll total)总量:

$$Chl_t = 0.02 \times (20.2 \times OD_{645} + 8.02 \times OD_{663}) / DW$$

1.2.4 可溶性蛋白(SP)含量 可溶性蛋白含量的测

定采用考马斯亮蓝染色法(Bradford,1976)^[14],并稍做调整。配制标准曲线溶液,对 10 mL 离心管编号 0—9,其中 0 号加入牛血清蛋白标液 0 mL,磷酸盐缓冲液(PBS)5 mL;1 号加入牛血清蛋白标液 0.1 mL,PBS 4.9 mL;2 号牛血清蛋白标液 0.2 mL,PBS 4.8 mL,以此类推。取 100 μ L 的蛋白标准样品于 3 mL 的 color reagent 中,等待 5 min 后在分光光度计下读取 595 nm 的分光值。测试组取 100 μ L 酶液加到 3 mL 的 color reagent 中,充分混匀,等待 5 min 后测量 595 nm 的分光值,其中空白对照组用 PBS 代替。

1.2.5 丙二醛(MDA)含量测定 丙二醛含量(μ mol $\cdot$ g⁻¹)采用硫代巴比妥酸法测定^[15]。

1.3 数据分析

本研究中土壤含水量及叶片含水量、电解质渗透率、叶绿素、可溶性蛋白和丙二醛的结果均采用 SAS 8.1 软件对数据进行方差分析和多重比较,并用平均值和标准误来表示数据结果,使用 Excel 2016 制图。

2 结果与分析

2.1 土壤含水量及叶片相对含水量

土壤含水量是农业生产和园艺作业中的一项重要参数,可以直接反映土壤的水分状况,是体现草坪草受到胁迫程度的重要衡量指标之一。而叶片相对含水量能够直接反映土壤水分对植物的有效性,可以评估叶片内部水分变化的指标。

水分充足处理的土壤含水量在 35%左右,干旱胁迫下的土壤含水量为 2.3%左右,复水恢复处理下土壤水分含量约 31%(表 1)。

表 1 3 种水分条件下的土壤含水量情况
Table 1 Soil water content in the three water conditions

处理 Treatment	水分条件 Water condition			/%
	水分充足	干旱	复水	
	Well-watered	Drought	Re-watering	
对照 Control(CK)	35.15±3.17a	2.38±0.29c	31.43±0.97b	
乙烯利 Ethephon(ETH)	33.38±3.89ab	2.35±0.19c	31.68±2.78ab	

不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$),下同。
Different lowercase letters indicate significant different among all treatments at the 0.05 level; similarly for the following figures.

在水分充足时,对照组和乙烯利处理组的叶片相对含水量(LRWC)分别为 84.8%和 86.5%,差异不显

著($P>0.05$)(图 1)。在干旱胁迫下,对照组 LRWC 显著下降,为 11.5%,而乙烯利处理后的 LRWC 较对照显著上升,为 23.5%($P<0.05$)。当复水后,对照组的 LRWC 恢复至 67.9%,乙烯利处理组恢复至 76.0%。由此可知,对叶片喷施乙烯利能在一定程度上提高干旱胁迫下的叶片相对含水量。

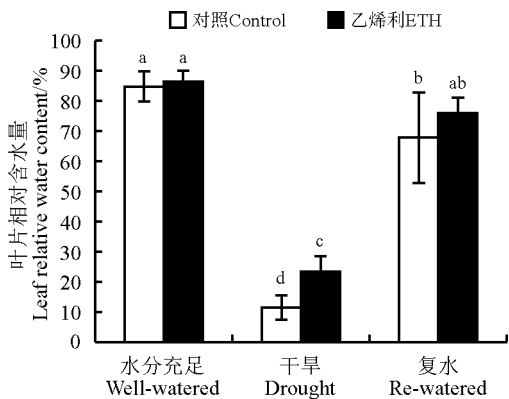


图 1 叶片喷施乙烯利对草地早熟禾叶片相对含水量的影响
Fig. 1 The effects of spraying ethephon solution on leaf relative water content of Kentucky bluegrass

2.2 电解质渗透率

水分充足处理下,对照组和乙烯利处理组的电解质渗透率(EL)无显著差异(分别为 4.7%和 4.3%)($P>0.05$)(图 2),干旱胁迫加速 EL 上升,而乙烯利处理组较对照 EL 显著降低($P<0.05$)。与对照相比,乙烯利处理组的 EL 也在复水恢复过程显著下降。

由此可知,干旱胁迫后,草地早熟禾的电解质渗透率大幅上升,而叶片喷施乙烯利能够减缓 EL 上升,并在复水过程中促进 EL 下降。

2.3 叶绿素

叶绿素含量在不同处理各个时期的差异不显著($P>0.05$)(图 3),草地早熟禾的叶绿素含量并未受到乙烯利和水分胁迫处理的影响。

2.4 可溶性蛋白

对照组中,水分充足和干旱胁迫两种处理下可溶性蛋白的含量显著差异($P<0.05$),分别为 4.25、1.36 mg $\cdot$ g⁻¹,复水后草地早熟禾可溶性蛋白含量显著增加,为 2.96 mg $\cdot$ g⁻¹($P<0.05$)。乙烯利处理组中。在干旱胁迫和复水处理下,与对照组相比,乙烯利处理在一定程度上可以提高可溶性蛋白含量,但差异不显著($P>0.05$)。

由此可见,干旱胁迫能够降低降低草地早熟禾的可溶性蛋白含量,影响显著($P>0.05$)。在复水后,可溶

性蛋白含量会显著上升,喷施乙烯利能使草地早熟禾的可溶性蛋白含量上升。

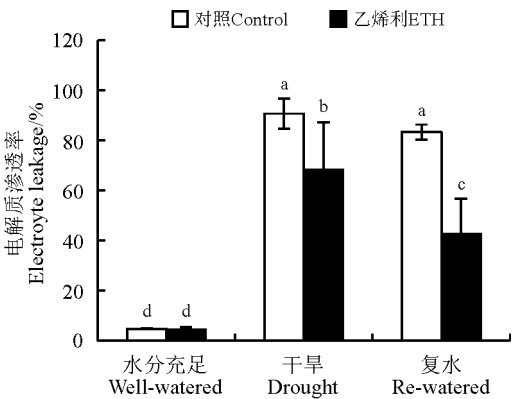


图 2 叶片喷施乙烯利对草地早熟禾电解质渗透率的影响
Fig. 2 The effects of spraying ethephon solution on electrolyte leakage of Kentucky bluegrass

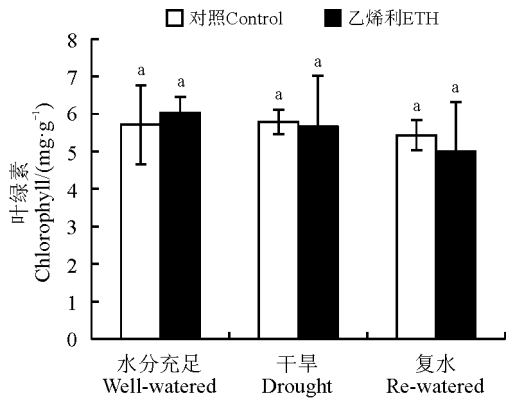


图 3 叶片喷施乙烯利对草地早熟禾叶绿素的影响
Fig. 3 The effects of spraying ethephon solution on of Kentucky bluegrass

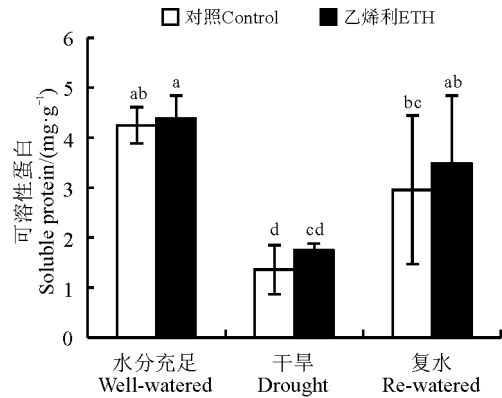


图 4 叶片喷施乙烯利对草地早熟禾可溶性蛋白的影响
Fig. 4 The effects of spraying ethephon solution on SP of Kentucky bluegrass

2.5 丙二醛

水分充足时,对照组和乙烯利处理组的丙二醛含

量无显著差异($P>0.05$)(图 5),分别为 1.94 和 $2.01\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 。干旱胁迫诱导 MDA 含量显著升高,达到 $131.62\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$,复水后 MDA 含量为 $119.04\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$,乙烯利处理组显著降低了干旱胁迫下和复水处理后 MDA 含量,分别为 53.90 , $56.52\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

由此可知,干旱胁迫诱导草地早熟禾丙二醛的含量上升,而叶片喷施乙烯利能够有效抑制草地早熟禾受到干旱胁迫下丙二醛含量的上升。

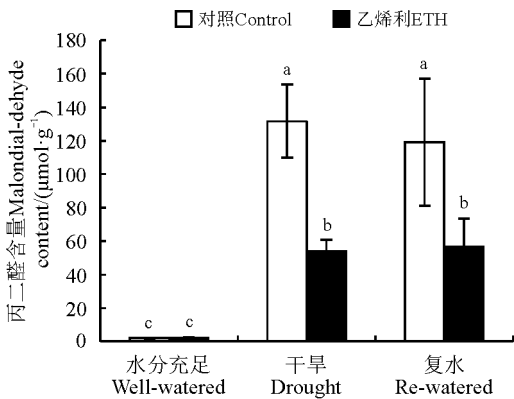


图 5 叶片喷施乙烯利对草地早熟禾丙二醛的影响
Fig. 5 The effects of spraying ethephon solution on MDA of Kentucky bluegrass

3 讨论

3.1 乙烯利对叶片相对含水量的影响

叶片相对含水量是衡量细胞内部水分变化的指标,是评估植物自身内在水分含量和水分缺失的指标^[16]。它可以较好地反映植物体内的水分状况和持水能力,有学者指出,通过测定干旱胁迫下植物体内含水量的变化可以反映其抗旱性的强弱^[17]。卡德尔·阿布都热西提^[18]的研究也显示,叶片含水量随土壤含水量下降而降低,在干旱胁迫下,越耐旱的植物叶片相对含水量下降越平缓,保水能力越强。叶片相对含水量变化的差异可以直接反映出抗旱性能力的差异,植物叶片相对含水量维持的能力越强,细胞膜所受的伤害越小,植物抗旱性也就越强^[19]。本研究表明,叶片喷施乙烯利可以减缓干旱胁迫下草地早熟禾叶片相对含水量的下降,说明喷施乙烯利能够提高草地早熟禾在干旱胁迫下的持水能力,改善植物体内的水分状况,从而增强草地早熟禾的抗旱性。

3.2 乙烯利对电解质渗透率的影响

电解质渗透率是能够反映植物细胞膜透性的重要指标,电解质渗透率越大说明膜透性越大,植物受损伤

越严重,反之同理。目前已知,植物最先接受外界胁迫信号的是在细胞膜水平,膜上受体蛋白与外部胁迫信号感知结合,通过磷酸化反应、信息交流等,在细胞中扩大、传递、转导信号,启动相应的胁迫响应因子及相关抗性基因,以协调植物抗性^[20]。细胞膜结构、性质的变化,可能构成细胞响应外界胁迫的初始响应过程^[21]。研究者^[22]指出维持细胞膜的完整性、稳定性以及流动性对植物应对干旱、脱水胁迫尤为重要。本研究结果显示,喷施乙烯利降低了干旱以及复水恢复过程中草地早熟禾的电解质渗透率,增强了膜系统的稳定性,减轻了细胞膜受伤害的程度,从而提高了草地早熟禾的耐旱性。这与尧金燕^[23]在甘蔗(*Saccharum officinarum*)中的研究结果相似:水分胁迫下,100 mg · L⁻¹的乙烯利处理能降低甘蔗的电解质外渗率。

3.3 乙烯利对叶绿素的影响

叶绿素是一类与光合作用有关的重要色素,叶绿素存在于包括植物在内所有能进行光合作用的生物体,在高等植物中主要存在于叶绿体中。它可以在一定程度上反映植物进行光合作用、同化物质的能力。已有研究证明,在复水恢复中,保持较高的光化学效率和叶绿素含量能够使植物较好地恢复^[24]。张丽华^[25]研究发现,乙烯利处理下,猕猴桃(*Actinidia*)果肉的叶绿素含量没有显著变化。本研究中,不同处理组合状态下草地早熟禾的叶绿素含量差异也不显著,说明叶片喷施乙烯利对干旱胁迫下草地早熟禾的叶绿素含量并无显著影响。而根据莫萍丽等^[26]的研究,乙烯利处理能轻微抑制甘蔗的叶绿素含量。因此,目前乙烯利对植物叶绿素含量的促进或抑制作用并未形成统一认识,有待进一步研究。

3.4 乙烯利对可溶性蛋白的影响

可溶性蛋白是一种能够提高细胞保水能力的渗透调节物质,对细胞的生命物质及生物膜起到保护作用,是植物抗旱性的重要指标。赵锐等^[27]用不同浓度的

乙烯利在罂粟(*Popaver somniferum*)苗期对植株进行喷施,并测量其可溶性蛋白的含量。发现乙烯利的浓度低于2 000 mg · L⁻¹时,各个指标与对照组相比差异不显著,而高浓度的乙烯利对罂粟可溶性蛋白含量的影响显著。本研究发现,喷施200 mg · L⁻¹乙烯利一定程度上提高了草地早熟禾在复水恢复下可溶性蛋白的含量。由此可见,不同植物对乙烯利敏感性不同,因此能够提高植物耐旱性的乙烯利处理浓度阈值也可能不同。

3.5 乙烯利对丙二醛的影响

丙二醛是细胞脂类过氧化的产物,反映植物细胞膜的稳定性和损伤程度^[28]。植物在遭受干旱胁迫时,体内自由基积累,膜的过氧化损伤加剧。当叶片喷施乙烯利后,很大程度上减缓了干旱胁迫下MDA的上升。说明乙烯利可能在一定程度上缓解了细胞膜的过氧化损伤,或是在一定程度上减少了自由基的积累。梁新华和史大刚^[29]的研究表明,光果甘草幼苗根系MDA含量的积累与干旱胁迫程度正相关。Zhang等^[30]也在对水稻(*Oryza sativa*)的研究中发现,干旱条件下,施用乙烯的水平与MDA的含量呈负相关关系。本研究表明,干旱胁迫下对照组草地早熟禾的MDA含量显著上升,而叶片喷施乙烯利能够减缓MDA的上升,与前人的研究结果相似。

4 结论

喷施乙烯利可以显著提高干旱处理下草地早熟禾的叶片相对含水量,提高草地早熟禾叶片持水能力;减缓干旱胁迫下草地早熟禾电解质渗透率和丙二醛含量的上升,减轻细胞膜受损的程度及膜过氧化的损伤;加速复水恢复下草地早熟禾可溶性蛋白含量的恢复,提高细胞的渗透调节恢复能力。综上,叶片喷施乙烯利可以提高草地早熟禾响应干旱胁迫的能力,但其具体机制有待于进一步研究。

参考文献 References:

- [1] 张彦妮,雷蕾,夏斌.干旱胁迫及复水对黄连花幼苗生长和生理特性的影响.草业科学,2016,33(9):1681-1689.
Zhang Y N,Lei L,Xia B.Effects of drought stress and rewatering on seedling growth and physiological characteristics of *Lysimachia davurica*.Prataculture Science,2016,33(9):1681-1689.(in Chinese)
- [2] 孙吉雄.草坪学.第三版.中国农业出版社,2008:87-89.
Sun J X.Turfgrass Science.Third edition.China Agricultural Press,2008:87-89.(in Chinese)
- [3] 韩露,韩烈保,许立新.乙烯利影响植物抗旱性研究进展.草地学报,2013,21(4):631-636.
Han L,Han L B,Xu L X.Effects of ethephon treatment on plant drought tolerance.Acta Agrestia Sinica,2013,21(4):631-636.

- (in Chinese)
- [4] 高波,周亚冬,李冬梅,王克臣,李明.乙烯利对春玉米生长发育及产量的影响.东北农业大学学报,2009,40(1):13-17.
Gao B,Zhou Y D,Li D M,Wang K C,Li M.Effect of ethephon on growth and yield of high-yield spring maize.Journal of North-east Agricultural University,2009,40(1):13-17.(in Chinese)
- [5] 王昭静.花生植株养分含量及运转对叶面喷施乙烯利的响应.长沙:湖南农业大学硕士学位论文,2014.
Wang Z J.Responses of peanut (*Arachis hypogaea* L.) nutrient content and translocation to foliar spraying ethrel.Master Thesis.Changsha:Hunan Agricultural University,2014.(in Chinese)
- [6] 翁惠玉,武宗信.乙烯利对冬小麦的增产效应.华北农学报,1994(2):55-58.
Weng H Y,Wu Z X.Increasing yield effect of ethylene on winter wheat,Acta Agrlcultrac Boreali-Sinica,1994(2):55-58.(in Chinese)
- [7] Maciel C D G,Poetine J P,Raimondi M A,Rodrigues M,Ribeiro R B,Costa R S,Maio R M D.Development of turfgrass submitted to application of growth regulators under different light conditions.Planta Daninha,2011,29(2):383-395.
- [8] Shatters R G,Wheeler R,West S H.Ethephon induced changes in vegetative growth of 'Tifton 85' Bermudagrass.Crop Science,1998,38(1):97-103.
- [9] 韩露.乙烯利对草地早熟禾(*Poa pratensis* L.)抗旱性的影响.北京:北京林业大学硕士学位论文,2014.
Han L.Effects of ethephon treatment on drought resistance of Kentucky bluegrass(*Poa pratensis* L.).Master Thesis.Beijing:Beijing Forestry University,2014.(in Chinese)
- [10] 张琼,马莉,谢晓蓉,卢建男,贾儒康,刘金荣.兰州地区草地早熟禾水分最优调亏灌溉模式.草业科学,2017,34(5):997-1007.
Zhang Q,Ma L,Xie X R,Lu J N,Jia R K,Liu J R.Optimized regulated deficit irrigation of *Kentucky bluegrass* in Lanzhou.Prataculture Science,2017,34(5):997-1007.(in Chinese)
- [11] Dacosta M,Huang B.Changes in antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation for bentgrass species in response to drought stress.Journal of the American Society for Horticultural Science,2007,132(3):319-326.
- [12] Blum A,Ebercon A.Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat.Crop Science,1981,21(1):43-47.
- [13] 刘勤晋,余从田.叶绿素测定方法及叶绿素破坏程度的评估.中国茶叶,1994(1):26-27.
Liu J Q,Yu C T.Determination of chlorophyll and evaluation of chlorophyll damage degree.Chinese Teas,1994(1):26-27.(in Chinese)
- [14] Bradford B M M.A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding.Analytical Biochemistry,1976,72:248-254.
- [15] Kuk Y I,Shin J S,Burgos N R.Antioxidative enzymes offer protection from chilling damage in rice plants.Crop Science,2003,43(6):2109-2117.
- [16] 许立新.草地早熟禾适应干旱以及干旱后复水恢复机理研究.北京:北京林业大学博士学位论文,2011.
Xu L X.Mechanism involved in drought response and post-drought recovery in Kentucky bluegrass(*Poa pratensis* L.).PhD Thesis.Beijing:Beijing Forestry University,2011.(in Chinese)
- [17] 谢小玉,张霞,张兵.油菜苗期抗旱性评价及抗旱相关指标变化分析.中国农业科学,2013,46(3):476-485.
Xie X Y,Zhang X,Zhang B.Evaluation of drought resistance and analysis of variation of relevant parameters at seedling stage of rapeseed (*Brassica napus* L.).Scientia Agricultura Sinica,2013,46(3):476-485.(in Chinese)
- [18] 卡德尔·阿布都热西提.干旱胁迫下不同作物品种叶片含水量的测定.喀什师范学院学报,2009,30(6):50-53.
Kadir Abureduxiti.The drought coeres of different crops variety leaves determination of water content.Journal of Kashgar Teachers College,2009,30(6):50-53.(in Chinese)
- [19] 曾红,温庚金,罗旭荣,曾林军,王玲玲,许建新.4种轻型屋顶绿化植物抗旱能力的综合评价.草业科学,2016,33(6):1084-1093.
Zeng H,Wen G J,Luo X R,Zeng L J,Wang L L,Xu J X.Comprehensive evaluation of four light green roof plants on drought resistance.Pratacultural Science,2016,33(6):1084-1093.(in Chinese)
- [20] Mahajan S,Tuteja N.Cold,salinity and drought stresses:An overview.Archives of Biochemistry & Biophysics,2006,444(2):139-58.

- [21] Ilová J P, Larcher W. Physiological plant ecology: Ecophysiology and stress physiology of functional groups. *Biologia Plantarum*, 2003, 47(4): 500.
- [22] Paula F M D, Thi A T P, Silva J V D, Justin A M, Demandre C, Mazliak P. Effects of water stress on the molecular species composition of polar lipids from *Vigna unguiculata* L. leaves. *Plant Science*, 1990, 66(2): 185-193.
- [23] 尧金燕. 水分控制条件下甘蔗苗期叶面喷施乙烯利的效应研究. 南宁: 广西大学硕士学位论文, 2002.
Yao J Y. The effects of ethephon sprayed on sugarcane leaves at tillering-stage under water-controlled conditions. Master Thesis. Nanning: Guangxi University, 2002. (in Chinese)
- [24] Abraham E M, Huang B, Bonos S A. Evaluation of drought resistance for Texas bluegrass, Kentucky bluegrass, and their hybrids. *Crop Science*, 2004, 44(5): 1746-1753.
- [25] 张丽华. 猕猴桃果实制浆中叶绿素降解机理及其护绿方法研究. 杨凌: 西北农林科技大学博士学位论文, 2012.
Zhang L H. Studies on chlorophyll degradation and methods for delaying green color change of kiwifruit puree during break processing. PhD Thesis. Yangling: Northwest A&F University, 2012. (in Chinese)
- [26] 莫萍丽, 李杨瑞, 林炎坤. 干旱胁迫下叶面喷施乙烯利和水杨酸对提高甘蔗抗旱性的效应. 中国植物学会七十周年年会论文摘要汇编(1933-2003), 2003.
Mo P L, Li Y R, Lin Y K. Effects of foliar application of ethephon and salicylic acid on drought resistance in sugarcane under drought stress. Abstracts of the 70th Anniversary Annual Meeting of Chinese Botanical Society(1933-2003), 2003. (in Chinese)
- [27] 赵锐, 郭平毅, 原向阳, 郭秀, 王伟, 任朝. 乙烯利处理下罂粟有机渗透调节物质的变化. *基因组学与应用生物学*, 2011, 30(1): 47-50.
Zhao R, Guo P Y, Yuan X Y, Guo X, Wang W, Ren C. The variation of osmotic adjustment substance of opium poppy under different concentrations of ethephon. *Genomics and Applied Biology*, 2011, 30(1): 47-50. (in Chinese)
- [28] Liu X Z, Huang B R. Heat stress injury in relation to membrane lipid peroxidation in creeping bentgrass. *Crop Science*, 2000, 40(2): 503-510.
- [29] 梁新华, 史大刚. 干旱胁迫对光果甘草幼苗根系 MDA 含量及保护酶 POD、CAT 活性的影响. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(3): 108-110.
Liang X H, Shi D G. Effect of drought stress on the content of malondialdehyde and activity of cell defense enzymes in *Glycyrrhiza glabra* seedlings roots. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(3): 108-110. (in Chinese)
- [30] Zhang H, Liu K, Wang Z, Liu L, Yang J. Abscissic acid, ethylene and antioxidative systems in rice grains in relation with grain filling subjected to postanthesis soil-drying. *Plant Growth Regulation*, 2014, 76(2): 135-146.

(责任编辑 苟燕妮)

本刊如有印装质量问题, 请将原杂志寄回编辑部, 由本部负责调换。