

PEG 胁迫下 4 个黑麦草品种生理生化指标响应与比较研究

万里强¹, 李向林^{1*}, 石永红², 何峰¹, 贾亚雄¹

(1. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 北京 100193; 2. 山西省农业科学院畜牧兽医研究所, 山西 太原 030032)

摘要: 利用不同浓度 PEG-6000 溶液模拟干旱胁迫, 比较研究 4 个多年生黑麦草品种叶片生理生化指标响应。结果表明, 不同 PEG 胁迫处理下, 品种“欧必克”叶片相对含水量均最高且降幅最小, 叶片电导率均最低, MDA 含量增幅较小, 叶片细胞膜系统有较强的忍耐干旱的能力; 而品种“凤凰”忍耐干旱的性能相对较弱。胁迫下各品种叶片游离脯氨酸含量显著增加, 随渗透胁迫加剧, 品种“欧必克”脯氨酸含量急剧上升。低浓度胁迫下 (5% PEG), 各品种叶片 SOD 活性均提高, 胁迫加剧时 SOD 活性则下降。PEG 渗透胁迫导致 4 个多年生黑麦草品种叶片相对含水量下降、细胞膜透性增大、MDA 含量增加、脯氨酸含量上升而 SOD 活性下降, 但 4 个品种对应指标的变化幅度存在差异, 品种“欧必克”的抗旱性最强, 而“凤凰”的抗旱性最弱。

关键词: 多年生黑麦草; PEG 胁迫; 质膜透性; SOD 活性; 脯氨酸

中图分类号: S543⁺.601; Q945.78 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-5759(2010)01-0083-06

* 多年生黑麦草 (*Lolium perenne*) 是我国重要的牧草和草坪草之一, 广泛分布于温带地区, 具有建植速度快、覆盖能力和抗病虫害能力以及分蘖能力强等特性, 是我国北方重要的牧草和草坪草种之一, 并可在我国南方用于冬季盖播。水分对于牧草和草坪草的生长起着重要作用, 是保证其正常生长的主要因素。在我国大部分地区, 夏季高温干旱缺水往往会导致多年生黑麦草寿命短, 草质差, 生长和利用季节受限, 又因其品种繁多且品种间抗性差异较大等, 使其在各地区的生长性状表现不一, 适种栽培应用的盲目性较大^[1-3]。因此, 研究干旱胁迫条件下植物不同品种的抗逆生理生化特性因子的变化, 探讨草种内部品种之间抗旱性指标的变化并对其进行比较, 对于耐旱植物特定品种的引育和筛选具有重要意义。近年来, 人们对水分胁迫条件下植物所产生的一系列生长、形态和生理生化指标的变化及其与抗性之间的关系等做过较多研究^[4-10]。随着干旱胁迫程度加深, 植物叶片内的游离脯氨酸与丙二醛含量、叶片细胞膜透性、叶绿素含量和相对含水量、抗氧化保护酶如超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD) 和过氧化氢酶 (CAT) 活性在胁迫的不同水平呈现出不同变化规律^[11-14]。植物遭受水分胁迫时会产生一系列适应性反应, 轻度水分胁迫下由于植物体内活性氧类物质含量水平的激增能诱导保护酶活性的增加并提高植物的抗旱性, 且抗旱性强的品种在逆境条件下其保护酶对水分胁迫的反应强烈, 保护酶活性增幅也较大^[15-18]。对于不同草种在水分胁迫下生理生化指标的变化已有较多报道^[7-10], 如段碧华等^[10]研究了 3 种冷季型草坪草的 6 个品种在 PEG-6000 模拟干旱胁迫条件下的生长表现和生理指标的变化; 余玲等^[19]以国内外 20 个优良紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 品种为材料, 研究了离体条件下叶片相对含水量、膜相对透性、游离脯氨酸和叶绿素含量等生理性状对干旱胁迫的响应, 探讨了各种生理变化与抗旱性的关系, 并结合牧草产量对其抗旱性进行了综合评价。而就同一草种的某些特定品种在 PEG-6000 溶液处理下进行模拟干旱胁迫以观察和比较其抗旱性等方面的研究不多, 特别是对不同渗透胁迫水平下多年生黑麦草不同品种叶内抗逆生理生化特性的变化规律及其分析对比, 以及不同品种抗性指标水平的变化与其抗性之间的对应关系更少见报道。本研究以不同浓度 PEG-6000 溶液模拟干旱胁迫, 比较分析不同胁迫处理下 4 个多年生黑麦草品种植物叶片相对含水量、超氧化物歧化

* 收稿日期: 2009-03-09; 改回日期: 2009-04-16

基金项目: 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所基本科研业务费专项基金创新团队项目 (2009td-2), 国家科技支撑计划 (2006BAD16B07) 和“948”项目 (2006-G38) 资助。

作者简介: 万里强 (1973-), 男, 甘肃礼县人, 副研究员, 博士。E-mail: wlq@iascaas.net.cn

* 通讯作者。E-mail: lixl@iascaas.net.cn

酶(SOD)、游离脯氨酸、丙二醛(MDA)含量和质膜透性等生理生化指标的变化规律与抗旱性的关系,以期为多年生黑麦草的引种选育及耐旱品种的筛选提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与处理

供试材料为4个多年生黑麦草品种:“欧必克”(Oupec)、“多福”(Tove)、“雅晴”(Yatsyn)和“凤凰”(Polim),草种由北京百绿公司提供。试验于2007年8月5日—10月25日在山西省农业科学院畜牧兽医研究所温室内进行。种子播种时,先用清水浸泡48 h,选择饱满萌动的种子,控干水分后与细沙拌匀,均匀撒播于已装入柱形花盆(内径20 cm,高40 cm)内的经高温(800~1 000°)消毒过的蛭石表面,再覆盖上0.5 cm厚的蛭石,轻轻压实,浇1/2 Hoagland培养液。花盆出苗前覆塑料薄膜。每品种设3次重复。待各品种草坪草成坪后(约45 d,各品种平均株高约为10 cm),用不同浓度的PEG-6000溶液(用1/2 Hoagland培养液配制)进行为期72 h的模拟干旱胁迫处理。PEG-6000溶液的浓度分别为:5%,10%,15%,20%和25%。对照培养在1/2 Hoagland培养液中。各品种草种发芽率为70%~80%,播种量为25~30 g/m²。

1.2 测定项目与方法

2007年10月19日开始采样测定。分别取各品种植株的倒二叶,用自封塑袋(防止失水)封好迅速带回实验室测定。

植物受干旱胁迫时的最初反应即为萎蔫脱水^[20],使细胞膜液化,膜结构开始胁变,外渗液增加。此外植物渗透调节能力与其抗旱性有着直接关系,渗透调节物质包括丙二醛(MDA)和脯氨酸,含量的变化均可在一定程度上较明确地表征植物受胁迫程度及其抗旱性强弱。干旱胁迫条件下植物细胞中生物活性氧的积累导致细胞受到伤害乃至死亡,而细胞中清除活性氧的保护酶系统如SOD等酶的存在和活性增强,是细胞免于伤害或植物抗逆的主要原因之一。因此,本试验中各处理分别测定叶片相对含水量(RWC)、相对电导率(表征质膜透性)、丙二醛含量、超氧化物歧化酶活性和游离脯氨酸含量等参数的变化以反映各品种抗旱性强弱并对其进行分析比较。其中,1)叶片相对含水量,即测鲜重 W_f ,将叶片浸泡于小烧杯蒸馏水中6~8 h,取出用吸水纸擦干表面水分,称饱和重 W_t ,在105℃下杀青20 min,再在85℃下烘干,称重 W_d 。叶片相对含水量(RWC)=(鲜重-干重)/(吸胀后饱和重-干重)×100%;2)质膜透性,参照电导率仪法^[21]测定。取不同处理植株健壮的叶片,流水冲洗,再用蒸馏水冲洗3次,吸干;用手持打孔机,取叶片中部,打成直径0.6 cm的小圆片;然后用电子天平称取3份,每份1.0 g,放入小烧杯中,准确加入20 mL重蒸馏水,振荡30 s,用真空抽气泵抽气5次,使细胞中的空气被抽出,使叶片全部浸入重蒸馏水中,在室温下静置2 h,然后用雷磁DDSJ2308A型电导仪测定溶液的电导率 R ,再将其置于沸水浴中煮沸15 min,冷却后测定其电导率 R_0 ,质膜相对透性以外渗率表示,即外渗率=处理电导率 R /煮沸后电导率 R_0 ×100%;3)丙二醛(MDA)含量,采用李合生^[21]的巴比妥酸(TBA)显色法测定。剪取各不同处理的植株叶片中部0.5 g,放入研钵中,加入5%三氯乙酸(TCA)2.0 mL,少量石英砂研磨,研磨液倒入离心管中。另取3.0 mL的TCA用来清洗研钵,清洗液也倒入离心管中,在3 000 r/min的离心机中离心10 min。分别取上清液2 mL各3份,分别放入10 mL管中,每管中加入2 mL 0.67%硫代巴比妥酸(TBA),混合后在100℃水浴中煮沸30 min。反应溶液冷却后在离心机中以3 000 r/min离心10 min,最后分别在450,532和600 nm处测定上清液的吸光度。按公式:MDA浓度=6.45×(A_{532} - A_{600})-0.56 A_{450} ,再将浓度值以材料鲜重换算为MDA含量(μ mol/g FW);4)SOD活性,采用氮蓝四唑(NBT)还原法^[21]测定。在冰浴条件下研磨时,用0.05 mol/L pH值7.8磷酸缓冲液提取,冷冻离心13 000~14 000 r/min 20 min,然后进行还原反应,UV21800型紫外光光度计在560 nm处比色测定;5)游离脯氨酸含量,采用磺基水杨酸法^[21]测定。取鲜叶0.5 g,用3%磺基水杨酸浸提,2.5%酸性茚三酮显色,5 mL甲苯萃取,用UV21800型紫外光光度计在520 nm处比色测定。

1.3 数据处理

各品种设3次重复,采用SAS软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 叶片相对含水量

随着渗透胁迫加剧,各品种黑麦草叶片相对含水量均呈下降趋势(图 1)。各品种在 25%PEG 浓度处理时的相对含水量均显著低于($P<0.05$)对照。不同 PEG 浓度处理下欧必克叶片相对含水量均显著高于($P<0.05$)其他品种。随 PEG 浓度增大,欧必克叶片相对含水量降幅较小,变化比较平稳。而凤凰叶片相对含水量降幅最大,呈近直线下下降趋势,25%PEG 浓度处理时的叶片相对含水量仅为 48.4%。10%~20%PEG 浓度处理期间,随着胁迫加剧,品种多福叶片相对含水量降幅大于雅晴,而 20%~25%PEG 浓度处理期间两者情况正好相反。多福和雅晴叶片相对含水量变化始终介于欧必克和凤凰之间。

2.2 叶片质膜透性

环境胁迫会使植物细胞质膜受到不同程度损伤,表现为质膜透性增大,细胞内部分电介质外渗。一般以植物组织外渗液电导率来表征质膜透性的变化,反映胁迫条件下植物质膜受损伤的程度^[22]。各品种在 25%PEG 浓度处理时的质膜透性均显著高于($P<0.05$)对照(图 2)。随着胁迫加剧,4 品种黑麦草的质膜透性均接近直线上升,其中,品种凤凰在 25%PEG 处理时的质膜透性为对照的 1.71 倍。不同 PEG 浓度处理下欧必克叶片质膜透性均极显著低于($P<0.01$)其他品种,说明品种欧必克叶片细胞膜系统对于渗透胁迫的抵御能力较强。在胁迫初期(低于 5%PEG 浓度)与后期(20%~25%PEG 浓度),品种雅晴的质膜透性高于多福,而在胁迫中期(5%~20%PEG 浓度)的情况与之相反。多福和雅晴叶片相对含水量变化始终介于欧必克和凤凰之间。

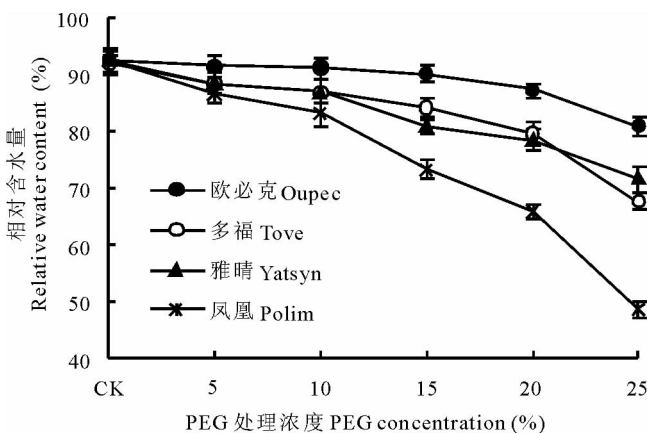


图 1 PEG 处理对 4 个多年生黑麦草品种叶片相对含水量的影响

Fig. 1 Effect of PEG on relative water content in leaves of four *L. perenne* species

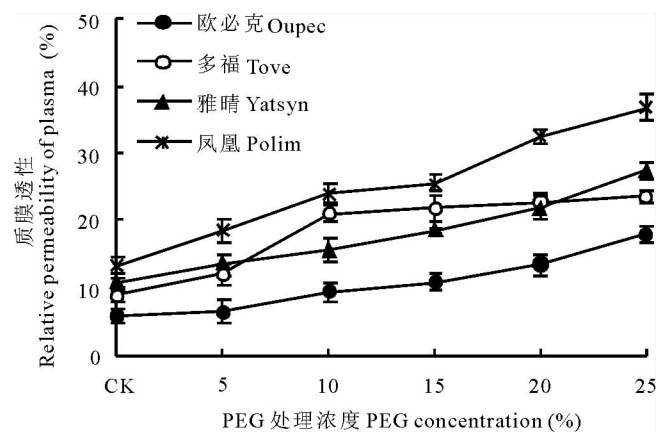


图 2 PEG 处理对 4 个多年生黑麦草品种叶片细胞膜透性的影响

Fig. 2 Effect of PEG on relative permeability of plasma in leaves of four *L. perenne* species

2.3 MDA 含量

MDA 含量的增加一定程度上表明植物细胞膜透性发生较大的胁迫性变化^[23]。在 25%PEG 处理时品种凤凰叶片 MDA 含量比对照增加了 91%,而欧必克只增加了 40%(表 1)。这说明在渗透胁迫时凤凰叶片细胞膜系统的受损伤程度最重,欧必克受损伤程度最轻,多福和雅晴则介于这两者之间。随着胁迫的加剧,各品种叶片 MDA 含量均呈上升趋势。

2.4 SOD 活性

超氧化物歧化酶(SOD)与其他过氧化物酶等协同作用可防御活性氧或其他过氧化物自由基对植物细胞生物大分子物质的破坏作用,是植物体内重要的细胞保护酶防御系统之一。因此,植物组织中 SOD 活性与其抗逆性强弱密切相关^[24]。随着胁迫程度增加,各品种叶片内 SOD 活性均呈先增大后减少的趋势(图 3)。低胁迫水平使 SOD 活性增加,高胁迫水平则使 SOD 活性不断降低。经方差分析各品种在 25%PEG 浓度处理时的 SOD 活性

均显著低于($P < 0.05$)对照。各品种均在 5% PEG 浓度处理时 SOD 活性增至最大,之后随渗透胁迫水平增加,叶内 SOD 活性不断下降。在不同 PEG 浓度处理下欧必克叶片内 SOD 活性均显著高于($P < 0.05$)其他品种,说明品种欧必克叶组织具有较强的抵御活性氧伤害的能力。另外,总体来看,凤凰叶内 SOD 活性的变化幅度较其他品种明显,对于胁迫的敏感程度较强,在一定程度上说明其抗性较弱。

2.5 游离脯氨酸

游离脯氨酸含量的变化在一定程度上反映了植物对不良逆境条件的响应与忍耐能力^[25]。在不同 PEG 浓度处理的渗透胁迫下,4 个多年生黑麦草品种叶内游离脯氨酸含量都明显增加(图 4)。随渗透胁迫加剧,各品种叶内脯氨酸含量急剧上升,在 25% PEG 处理时达到最大,其中,品种欧必克叶内游离脯氨酸含量是对照的 7.4 倍,而品种凤凰叶内脯氨酸含量仅为对照的 4.2 倍。

表 1 PEG 处理对 4 个多年生黑麦草品种叶内丙二醛含量的影响

Table 1 Effect of PEG on content of MDA in leaves of four *L. perenne* species

$\mu\text{mol/g FW}$

品种 Species	PEG 处理浓度 PEG concentration (%)					
	0	5	10	15	20	25
欧必克 Opec	8.88 Cc	8.98 Cc	10.07 BCbc	10.11 BCbc	11.24 ABab	12.49 Aa
多福 Tove	8.90 Bb	9.01 Bb	11.97 Aa	12.03 Aa	12.57 Aa	13.07 Aa
雅晴 Yatsyn	8.96 Bb	9.00 Bb	9.25 Bb	9.59 Bb	9.71 Bb	13.61 Aa
凤凰 Polim	9.95 Ee	11.81 DEd	13.77 CDc	14.36 BCc	16.24 Bb	18.98 Aa

注:同行不同大写字母表示同品种在不同处理浓度差异极显著($P < 0.01$),同行不同小写字母表示同品种在不同处理浓度差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different capital letters show significant difference on different PEG concentration treatment at the 0.01 level for same varieties in the same rows, different small letters show significant difference on different PEG concentration treatment at the 0.05 level for same varieties in the same rows.

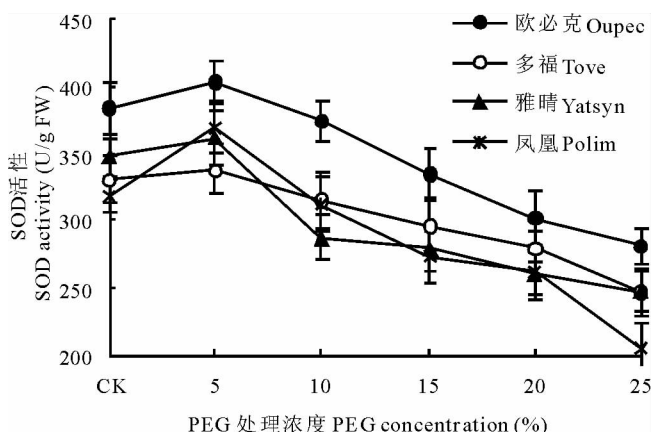


图 3 PEG 处理对 4 个多年生黑麦草品种叶片 SOD 活性的影响

Fig. 3 Effect of PEG on SOD activity in leaves of four *L. perenne* species

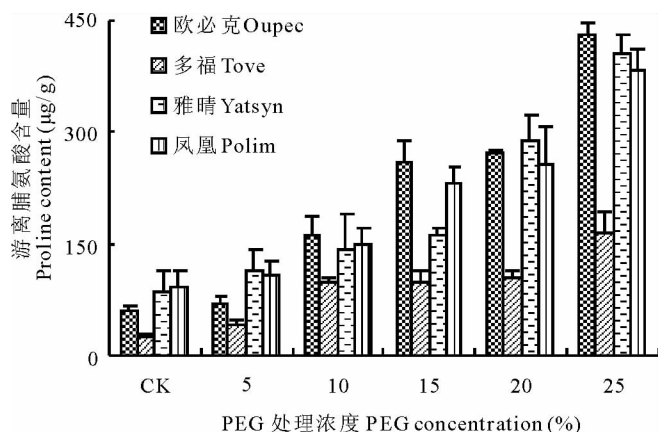


图 4 PEG 处理对 4 个多年生黑麦草品种叶片游离脯氨酸含量的影响

Fig. 4 Effect of PEG on proline content in leaves of four *L. perenne* species

3 小结与讨论

3.1 叶片相对含水量是表征植物遭受干旱胁迫的主要生理指标之一,相对含水量降幅越小,其抗旱性就越强。本试验中 4 个黑麦草品种在干旱胁迫条件下叶片相对含水量均呈不断下降的趋势,25% PEG 浓度处理时的相对含水量均显著低于对照。品种欧必克叶片相对含水量均高于其他品种且其降幅较小,凤凰叶片相对含水量降幅较大,多福和雅晴相对含水量变化则介于前两者之间。

3.2 MDA 是植物细胞膜脂过氧化物之一,能与细胞内各种成分发生反应,从而引起各种酶和膜的严重损伤^[23]。

当 MDA 含量大量增加时,表明植物体内细胞受到较严重的破坏,因此丙二醛含量是衡量膜透性发生胁迫性变化的重要生理指标之一。另外,植物组织外渗液电导率可以表征质膜透性的变化并反映胁迫条件下植物质膜受损伤的程度,电导率增幅越大,植物受胁迫损伤程度越重^[22]。4 个多年生黑麦草品种叶内 MDA 含量及叶片电解质外渗率都有所增加,说明其细胞膜系统都不同程度地受到了损坏。其中,品种凤凰 MDA 含量及叶片电解质外渗率增幅较大,多福和雅晴次之,欧必克增幅较小。

3.3 植物遭受渗透胁迫时,细胞中生物活性氧的积累是造成细胞伤害乃至死亡的主要原因,而细胞中清除活性氧的保护酶系统的存在和活性增强,是细胞免于伤害或抗性增强的主要原因之一。细胞内的保护酶系统主要有 SOD、过氧化氢酶和过氧化物酶等。SOD 是植物体内清除活性氧系统的第 1 道防线,在活性氧清除系统中发挥着特别重要的作用^[26]。SOD 活性越高,清除自由基的能力就越强,植物的抗逆性也越强^[27]。本试验中品种欧必克叶内 SOD 活性持续居高,多福和雅晴的变化次之,而凤凰叶内 SOD 活性的总体降幅较为明显。

3.4 脯氨酸是调节植物水分胁迫条件下细胞水势的物质之一,水分胁迫条件下脯氨酸含量会有所上升,脯氨酸含量的积累反映了植物对不良环境条件的忍耐能力^[19,28]。本试验结果分析认为,将参试各品种植物叶内游离脯氨酸含量的变化作为渗透胁迫下的一种响应特征比较合理,这与万劲^[29]的结论基本一致。4 个黑麦草品种叶内游离脯氨酸含量均有不同程度的增加,增幅越大,对逆境胁迫的忍耐性能就越强。品种欧必克的增幅较大,多福和雅晴的次之,凤凰的较小。关于脯氨酸含量在逆境条件下产生积累的生理效应有许多不同的观点,不同种类植物叶片中脯氨酸含量变化的机理也不同^[7],有待于进一步深入研究。

3.5 逆境条件下,植物生理生化指标的变化与其抗旱性强弱存在一定对应关系。本试验结果表明,各生理生化抗性指标中,渗透调节物质丙二醛及植物组织外渗液电导率的变化与植物抗性之间最能建立稳定的对应关系,可在很大程度上比较全面地反映植物抗旱性的变化。综合分析得出,品种欧必克的抗旱性较强,多福和雅晴的次之,凤凰的抗旱性较弱,且多福和雅晴之间的抗旱性差异不明显。这一结论将为我国干旱半干旱地区多年生黑麦草不同品种的引种和筛选提供一定的理论依据和技术参考。

参考文献:

- [1] 苏振保. 草坪养护技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 142-143.
- [2] 徐炳成, 山仑, 黄占斌. 草坪草对于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] 李培英. 优良草坪草研究[M]. 北京: 农业出版社, 2001: 132-145.
- [4] 孙铁军, 苏日古嘎, 马万里, 等. 10 种禾草苗期抗旱性的比较研究[J]. 草业学报, 2008, 17(4): 42-49.
- [5] 冉飞, 包苏科, 石丽娜, 等. 干旱胁迫和复水对锡金微孔草抗氧化酶系统的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(5): 156-160.
- [6] 许桂芳. PEG 胁迫对 2 种过路黄抗性生理生化指标的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(1): 66-70.
- [7] 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.
- [8] 马炜, 王彩云. 几种引进冷季型草坪草的生长及抗旱生理指标[J]. 草业科学, 2001, 18(2): 57-61.
- [9] 赵昕, 李玉霖. 高温胁迫下冷季型草坪草几项生理指标的变化特征[J]. 草业学报, 2001, 10(4): 85-91.
- [10] 段碧华, 尹伟伦, 韩宝平, 等. 不同 PEG-6000 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.
- [11] Wang J P, Bughara S S. Evaluation of drought tolerance for Atlas fescue, perennial ryegrass, and their progeny[J]. Euphytica, 2008, 164: 113-122.
- [12] Abraham E M, Huang B R, Bonos S A, et al. Evaluation of drought resistance for Texas bluegrass, Kentucky bluegrass, and their hybrids[J]. Crop Science, 2004, 44: 1746-1753.
- [13] Reddy T Y, Reddy V R, Anbumozhi V. Physiological responses of groundnut (*Arachis hypogea* L.) to drought stress and its amelioration: A critical review[J]. Plant Growth Regulation, 2003, 41: 75-88.
- [14] Bruce W B, Edmeades G O, Barker T C. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance[J]. Journal of Experimental Botany, 2002, 53: 13-25.

- [15] 袁颖,周晓雷. 水分胁迫下四翅滨藜和绵毛优若藜保护酶活性变化[J]. 草业科学, 2008, 25(6): 39-44.
- [16] Zhang J X, Kirkham M B. Drought-stress-induced changes in activities of superoxide dismutase, catalase, and peroxidase in wheat species[J]. Plant Cell Physiology, 1994, 35(5): 785-791.
- [17] 朱杭申,黄丕生. 土壤水分胁迫与水稻活性氧代谢[J]. 南京农业大学学报, 1994, 17(2): 7-11.
- [18] 蒋明义,荆家海,王韶唐. 渗透胁迫对水稻幼苗膜脂过氧化及体内保护系统的影响[J]. 植物生理学报, 1991, 17(1): 80-84.
- [19] 余玲,王彦荣,Garnett T,等. 紫花苜蓿不同品种对干旱胁迫的生理响应[J]. 草业学报, 2006, 15(3): 75-85.
- [20] Levitt A D. Responses of Plant to Environmental Stresses(Volume 1)[M]. New York: Academic Press, 1990: 89-99.
- [21] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 46-57.
- [22] 中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 277-302.
- [23] 王瑾,刘桂茹,杨学举. PEG胁迫下不同抗旱小麦品种幼苗形态及主要理化特性的比较[J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(5): 6-10.
- [24] 刘萍,李明军. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 128-148.
- [25] Steward C R, Hanson A D. Proline Accumulation as a Metabolic Response to Water Stress, Adaptation of Plant to Water and High Temperature Stress[M]. New York: Academic Press, 1980: 173-189.
- [26] 王玉刚,阿不来提,齐曼. 两狗牙根品种对干旱胁迫反应的差异[J]. 草业学报, 2006, 15(4): 58-64.
- [27] 刘振光. 沟叶结缕草草坪水分及营养生态研究[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997: 158-169.
- [28] 李予霞,崔百明,董新平,等. PEG处理下葡萄试管苗脯氨酸及内源ABA含量变化的研究[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2004, 22(1): 43-45.
- [29] 万劲. 两个鸢尾品种抗逆生理特性的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2004: 24-36.

A study on the response and on the comparison of physiological and biochemical indexes of four *Lolium perenne* varieties under PEG stress

WAN Li-qiang¹, LI Xiang-lin¹, SHI Yong-hong², HE Feng¹, JIA Ya-xiong¹

(1. Institute of Animal Science, CAAS, Beijing 100193, China; 2. Animal Husbandry and Veterinary Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030032, China)

Abstract: Response of physiological and biochemical indexes in leaves of four *Lolium perenne* varieties was compared under simulated drought stress using different concentrations of PEG solution. “Oupec”, with the highest relative water content and least decreasing changes, the lowest electrical conductivities, and the smallest increasing rates of MDA contents under PEG stress had more tolerant membrane systems and was the most resistant to osmotic stress, while the resistance of “Polim” was relatively weaker. Proline accumulation in leaves of the four varieties increased and “Oupec” with rapid increases in proline contents had the strongest resistance to PEG stress. Activities of superoxide dismutase (SOD) in leaves of the four varieties increased during the initial stress stages (5% PEG) and decreased continuously with more severe stress. “Oupec” and “Polim” had the strongest and the weakest drought resistance respectively. The four *L. perenne* varieties had reduced relative water contents and activities of superoxide dismutase (SOD), increased permeability of plasma, MDA contents and proline accumulation under PEG stress and had differences in rates of change for the response indices.

Key words: *Lolium perenne*; PEG stress; relative permeability of plasma; SOD activity; proline