

不同扁蓿豆种质孕蕾期抗旱性综合评价

肖红¹, 王芳², 段春华³, 景媛媛¹, 陈陆军¹,
张建文¹, 杨海磊¹, 鱼小军¹

(1. 甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 中-美草地畜牧业可持续发展研究中心,
甘肃省草业工程实验室, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070;
3. 四川省宣汉县饲草饲料工作站, 四川 宣汉 636150)

摘要: 采用盆栽反复干旱法, 在适度、中度和重度水分胁迫(土壤含水量分别为 75% ~ 80%、50% ~ 55% 和 30% ~ 35%)条件下, 研究了 12 份不同生境扁蓿豆(*Medicago ruthenica*)种质孕蕾期的抗旱性。结果表明: 随着干旱胁迫程度的加剧, 12 份扁蓿豆的绝对株高、茎粗、地上生物量、地下生物量、叶片相对含水量和叶绿素含量均呈下降趋势, 而丙二醛(MDA)含量呈上升趋势; 与对照相比, 中度水分胁迫下, 12 份扁蓿豆叶片相对含水量的降幅均在 11% 以下, 重度水分胁迫严重抑制了扁蓿豆的生长; 中度和重度胁迫下, 陇县扁蓿豆绝对株高降幅较小, 分别下降了 1.8% 和 22.1%; 而渭源扁蓿豆叶片 MDA 含量在中度和重度水分胁迫下均比其他材料的含量高, 分别为 26.172 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 31.149 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 。以中度和重度水分胁迫处理下绝对株高、茎粗、地上生物量、地下生物量、叶片相对含水量、MDA 含量和叶绿素含量的相对值为评价指标, 应用隶属函数法对 12 份扁蓿豆孕蕾期抗旱性进行综合评价, 抗旱性强弱依次为: 陕西陇县 > 榆中 > 永昌 > 陇西 > 天水 > 渭源 > 土默特 > 自选 8 号 > 景泰 > 临夏 > 镇原 > 夏河。

关键词: 扁蓿豆; 孕蕾期; 抗旱性; 隶属函数
中图分类号: S311 **文献标志码:** A

Comprehensive evaluation of drought resistance of different
Medicago ruthenica germplasms at the budding stage

XIAO Hong¹, WANG Fang², DUAN Chun-hua³, JING Yuan-yuan¹, CHEN Lu-jun¹,
ZHANG Jian-wen¹, YANG Hai-lei¹, YU Xiao-jun¹

(1. Pratacultural College, Gansu Agricultural University/Key Laboratory of Grassland Ecosystem of
Ministry of Education/ Sino - U. S. Centers for Grazing land Ecosystem Sustainability, Lanzhou, Gansu 730070, China;
2. Agronomy College, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;
3. Fodder and Forage Station of Xuanhan County, Xuanhan, Sichuan 636150, China)

Abstract: With optimal, medium and severe water stresses (soil relative water contents were 75% ~ 80%, 50% ~ 55%, and 30% ~ 35%, respectively), the drought resistances of 12 *Medicago ruthenica* germplasms from different habitats at the budding stage were studied by a pot culturing method by repeated drought stress. The results showed that plant height, stem diameter, aboveground and underground biomass, leaf relative water content and chlorophyll content were all decreased with the increase in severity of drought stress, while the MDA content was increased. Compared with the control (CK), the decreasing levels of leaf relative water content for 12 *M. ruthenica* germplasms were all below 11% under medium water stress. The growth of *M. ruthenica* was seriously inhibited under severe water stress. In addition, under medium and severe water stresses, the plant heights of *M. ruthenica* (Longxian) were declined by 1.8% and 22.1% respectively, and the leaf MDA contents of *M. ruthenica* (Weiyuan) were 26.172 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ and 31.149 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$, respectively, higher than other materials. Based on the relative values of plant height, stem diameter, above-ground biomass, underground biomass, leaf relative water content, MDA content and chlorophyll content under medium

收稿日期: 2015-09-10
基金项目: 甘肃省高校基本科研业务费
作者简介: 肖红(1990—), 女, 甘肃省兰州人, 硕士生, 主要从事牧草种质与草地生态研究。E-mail: 1181827215@qq.com。
通信作者: 鱼小军, E-mail: yuxj@gsau.edu.cn。

and severe water stresses, the drought resistance of 12 *Medicago ruthenica* germplasms was comprehensive evaluated by the subordinate function method and followed the order from strong to weak as Longxian (from Shanxi) > Yuzhong > Yongchang > Longxi > Tianshui > Wei yuan > Tumote > No.8 Zixuan > Jingtai > Linxia > Zhenyuan > Xiahe.

Keywords: *Medicago ruthenica*; budding stage; drought resistance; subordinate function

在中国西北地区,干旱已成为发展农业和畜牧业的主要限制因子。解决干旱这一问题的最有效方法就是挖掘作物本身的抗逆能力,筛选培育抗旱新品种,从而达到节约水资源以及农业和畜牧业可持续发展的目标。扁蓿豆(*Medicago ruthenica*)是豆科苜蓿属植物,又名花苜蓿、野苜蓿、扁豆草、网果葫芦巴等,广泛分布于我国北方的高山草原、典型草原和荒漠化草原^[1-4]。扁蓿豆是我国北方地区不可或缺的优质蛋白质饲料之一^[4],可以与羊草(*Leymus chinensis*)等禾本科牧草建立混播栽培草地,从而提高草地的产量和品质,在改良草地、建立人工草地、防治水土流失等方面具有重要意义,尤其在寒冷半干旱、土壤贫瘠区引种具有特殊意义。

近年来,国内主要对内蒙扁蓿豆的染色体、栽培技术以及生态生物学特性等方面进行了较多的研

究^[5-10],关于对西北分布的扁蓿豆材料的抗旱性未见报道。本研究以土默特扁蓿豆为对照,采用盆栽反复干旱法,分析不同扁蓿豆种质的绝对株高、茎粗、叶片相对含水量等抗旱指标,应用隶属函数进行综合分析,评价 12 份扁蓿豆种质材料孕蕾期的抗旱性,为扁蓿豆种质资源的评价和抗旱品种的选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试 12 份扁蓿豆种子,9 份于 2012 年 9—10 月采集于甘肃各地(表 1),1 份于 2012 年 9—10 月采集于陕西陇县,1 份为野生栽培品种土默特扁蓿豆,1 份为种子在兰州生产的自选 8 号扁蓿豆。

表 1 供试的 12 份扁蓿豆种质材料
Table 1 Materials of the 12 *Medicago ruthenica*

序号 Number	采集地 Collecting or introduce site	生境 Habit	地理坐标 Geographical coordinate	海拔 Elevation /m	年降雨量 AMP /mm
1	甘肃景泰 Jintai, Gansu Province	地埂、路边 Terrace edge, Roadside	不详 Unknown	不详 Unknown	182.4
2	甘肃临夏 Linxia, Gansu Province	水渠边、阴坡 Side drains, North-facing slope	N35°42'E103°08'	2150	537.4
3	甘肃陇西 Longxi, Gansu Province	路边、阴坡 Roadside, North-facing slope	N35°08'E104°24'	2000	445.8
4	甘肃天水 Tianshui, Gansu Province	地埂 Terrace edge	N34°27'E108°12'	1360	491.7
5	甘肃渭源 Wei yuan, Gansu Province	高寒草甸 Alpine meadow	N56°26'E104°03'	2780	525.7
6	甘肃夏河 Xiahe, Gansu Province	路边、水渠边 Roadside, Side drains	N35°14'E102°49'	2510	516.0
7	甘肃永昌 Yongchang, Gansu Province	地埂、水渠边 Terrace edge, Side drains	N38°16'E101°39'	2170	185.1
8	甘肃榆中 Yuzhong, Gansu Province	地埂、路边 Terrace edge, Roadside	N35°51'E104°01'	2280	350
9	甘肃镇原 Zhenyuan, Gansu Province	地埂 Terrace edge	N35°32'E107°14'	1170	594
10	陕西陇县 Longxian, Shanxi Province	水渠边、路边 Side drains, Roadside	N34°59'E106°33'	1363	600.1
11	Tumete, Autonomous Region of Inner Mongolia	野生栽培品种 Cultivable wild variety			
12	自选 8 号 No. 8 Zixuan				

1.2 试验方法

由于扁蓿豆种子存在硬实,所有种子均用砂纸打磨破除硬实,用 80 目的砂纸两层,将种子放在其中,打磨 3~5 min,直到种皮发毛失去光泽为止,挑取饱满均匀一致的种子以供试验^[11]。

试验于 2014 年 4 月中旬至 7 月下旬在兰州市安宁区甘肃农业大学校园内的遮雨棚进行,采用盆栽反复干旱法^[12]。在干旱处理期间遮雨棚内最低、

最高和平均温度分别为 23℃、38℃和 29℃。取试验田表层土壤(黄绵土),过筛,去掉石块、杂质,并拌入适量腐熟有机肥,混合均匀,用无孔塑料花盆(高 13.5 cm,底径 9.5 cm,口径 16.5 cm)装土,每盆装土 1.4 kg,同时取样测定土壤水分含量以确定实际装入干土重,再将种子均匀撒播于盆中,轻轻用土覆盖。在生长期按常规进行统一管理,定期定量供水,浇水量为最大田间持水量的 75%~80%(土壤

最大田间持水量为 100% 时的净含水量为 35.7%)。等苗齐后间苗,每盆留长势均匀的健苗 15 株。待植物进入孕蕾期后进行土壤水分胁迫处理,试验共设 3 个水分梯度,适宜水分处理(CK)为田间最大持水量的 75%~80%,中度水分胁迫处理为田间最大持水量的 50%~55%,重度水分胁迫处理,为田间最大持水量的 30%~35%^[13]。每水分处理设 5 次重复(1 盆为 1 重复)。根据设计的土壤含水率计算出各水分处理下每桶土的质量,每天用电子秤称重法控制水分。连续水分胁迫处理 10 d 后复水,复水后的土壤含水量达到田间最大持水量的 75%~80%,再胁迫 10 d 后进行各项指标的测定^[12]。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 形态指标 绝对株高,用卷尺测定土壤表面至主茎叶间的拉直长度(cm),每盆测定 5 株。

茎粗,用游标卡尺测定植株主茎基部的粗茎(mm),每盆测定 5 株。

地上和地下生物量。将花盆内土壤一次倒出,用网袋兜住植株的地下部分,然后用流水冲洗植株根部的泥土,每盆取长势相当的 5 株植株,用剪刀将植株的地上和地下部分分开,分别放入纸袋,然后放入烘箱于 105℃ 杀青,再在 80℃ 恒温下烘至恒重后称重(g)。求平均值即为单株地上和地下生物量。

1.3.2 生理指标 叶片相对含水量采用饱和称重法^[14]。称取各植株中间同等部位新鲜叶片 0.5 g (W_f),在蒸馏水中浸泡 24 h 称取饱和鲜重 (W_t),然后放入烘箱于 105℃ 杀青,再于 80℃ 恒温下烘至恒重 (W_d),用 $RWC = (W_f - W_d) / (W_t - W_d) \times 100\%$ 计算,3 次重复。

丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸显色法测定^[14]。称取 0.2 g 扁蓿豆中间同等部位新鲜叶片加 5 mL 磷酸缓冲液研磨,并转移至 10 mL 离心管中,4 000 $r \cdot \min^{-1}$ 下离心 10 min,取上清液,加 1.5 mL 0.6% TBA 溶液后在沸水浴中反应 30 min,迅速冷却后再离心。取上清液测定 450、532 nm 和 600 nm 波长下的吸光度。

叶绿素含量测定采用比色法^[14],称取中间同等部位新鲜叶片 0.2 g,用蒸馏水冲洗干净,用酒精与丙酮(1:1)浸提直到叶片无色为止,测定 470、649 nm 和 665 nm 波长下的吸光度,3 次重复。

1.4 抗旱性综合评价

采用隶属函数法对 12 份扁蓿豆材料孕蕾期抗旱性进行综合评价^[15]。以不同处理下绝对株高、茎粗、地上生物量、地下生物量、叶片相对含水量、MDA 含量和叶绿素含量的相对值(各指标的相对值 = 胁迫

处理测定值/适宜水分处理测定值(CK))为评价指标,采用下述公式计算各指标具体隶属值,当指标与抗旱性呈正相关时用公式 $X(\mu) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$,式中, X 为参试植物某一抗旱指标测定值的相对值, $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 分别为所有材料中该指标的最大值和最小值,当指标与抗旱性呈负相关时用公式 $X(\mu) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$,然后把每一指标在不同水分胁迫下的隶属值累加求平均值,最后把每份材料各抗旱项指标隶属函数值累加求平均值,根据各材料平均隶属函数值大小确定其抗旱性强弱,平均值越大,抗旱性越强;反之,抗旱性越弱。

1.5 数据统计

采用 Microsoft Excel 2007 对数据进行处理,采用 SPSS 18.0 统计软件和最小显著差异法(LSD)进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对 12 份扁蓿豆形态指标的影响

随着干旱胁迫的加剧,12 份扁蓿豆材料的绝对株高均呈下降趋势(表 2),但不同扁蓿豆材料降低的幅度不同,其中景泰、天水、渭源和榆中扁蓿豆呈显著下降趋势($P < 0.05$)。适宜水分处理(CK)下,天水 and 榆中扁蓿豆的绝对株高较高,而永昌扁蓿豆的绝对株高显著低于除渭源和陇县扁蓿豆以外的其他 9 份材料($P < 0.05$)。中度胁迫下,土默特扁蓿豆的绝对株高显著高于自选 8 号、临夏和景泰扁蓿豆($P < 0.05$)。与对照相比,中度胁迫下,陇县和永昌扁蓿豆的降幅较小,分别降低了 1.8% 和 7.8%。重度胁迫下,景泰扁蓿豆绝对株高的降幅较大,降低了 51.6%,陇县扁蓿豆的降幅较小,降低了 22.1%。

由表 2 可知,适宜水分处理下,景泰扁蓿豆的茎粗显著高于永昌、陇西和陇县扁蓿豆($P < 0.05$)。中度胁迫下,天水扁蓿豆的茎粗显著高于自选 8 号、临夏、永昌和陇西扁蓿豆($P < 0.05$)。重度胁迫下,天水扁蓿豆的茎粗显著高于除榆中扁蓿豆以外的其他 10 份材料($P < 0.05$)。与对照相比,重度水分胁迫对扁蓿豆茎粗的影响不一致,其中榆中、陇县和永昌扁蓿豆的变化较小,分别降低了 4.8%、6.5% 和 8.7%,景泰扁蓿豆的变化幅度较大,降低了 30.5%。

适宜水分处理下,镇原扁蓿豆单株地上生物量显著高于其他 11 份材料($P < 0.05$)(表 2)。随着干旱胁迫的加剧,12 份扁蓿豆植株的生长均受到严重抑制,其中景泰和渭源扁蓿豆的地上生物量呈显著下降趋势($P < 0.05$)。中度胁迫下,天水和榆中扁

蓊豆的地上生物量较高,且均显著高于镇原扁蓊豆的地上生物量。重度胁迫下,天水扁蓊豆的地上生物量显著高于除榆中扁蓊豆以外的其他 10 份材料 ($P < 0.05$)。与对照相比,中度胁迫对陇县和永昌扁蓊豆地上生物量的影响较小,分别降低了 5.0% 和 8.0%,重度胁迫下 12 份扁蓊豆的地上生物量均下降了 40% 以上,其中景泰扁蓊豆的降幅最大,为 89.1%。

表 2 不同干旱胁迫下 12 份扁蓊豆的形态指标

Table 2 Morphological indexes of 12 populations of *Medicago ruthenica* under different drought stresses

材料 Material	绝对株高/cm Absolute plant height			茎粗/mm Stem diameter			地上生物量(干重)/g Aboveground biomass(dry weight)			地下生物量(干重)/g Underground biomass(dry weight)		
	对照 CK	中度胁迫 Medium stress	重度胁迫 Severe stress	对照 CK	中度胁迫 Medium stress	重度胁迫 Severe stress	对照 CK	中度胁迫 Medium stress	重度胁迫 Severe stress	对照 CK	中度胁迫 Medium stress	重度胁迫 Severe stress
景泰 <i>M. ruthenica</i> (Jingtai)	40.78 ± 0.93Aa	27.77 ± 0.83Bbcd	19.73 ± 1.27Cc	1.87 ± 0.05Aa	1.65 ± 0.06Bab	1.30 ± 0.05Ccd	1.987 ± 0.264Ab	0.847 ± 0.143Bb	0.216 ± 0.023Cg	0.565 ± 0.054Aab	0.395 ± 0.047Bab	0.131 ± 0.019Cf
临夏 <i>M. ruthenica</i> (Linxia)	38.30 ± 0.44Aab	23.44 ± 1.65Bd	20.45 ± 0.85Bc	1.62 ± 0.03Aabc	1.39 ± 0.17ABbc	1.22 ± 0.07Bd	1.814 ± 0.339Ab	0.860 ± 0.061Bb	0.444 ± 0.088Bdef	0.606 ± 0.127Aab	0.347 ± 0.036ABabc	0.248 ± 0.039Babcd
陇西 <i>M. ruthenica</i> (Longxi)	37.34 ± 2.00Aab	28.09 ± 2.84Babcd	25.03 ± 2.18Bab	1.42 ± 0.15Ac	1.33 ± 0.10Ac	1.21 ± 0.02Ad	0.955 ± 0.108Ac	0.800 ± 0.119Ab	0.340 ± 0.052Bfg	0.275 ± 0.015Ad	0.236 ± 0.043ABc	0.159 ± 0.021Bef
天水 <i>M. ruthenica</i> (Tianshui)	41.35 ± 1.05Aa	31.43 ± 1.67Babc	25.33 ± 0.69Cab	1.86 ± 0.04Aa	1.72 ± 0.03Aa	1.65 ± 0.10Aa	1.693 ± 0.266Ab	1.381 ± 0.109ABa	0.993 ± 0.103Ba	0.584 ± 0.089Aab	0.409 ± 0.028ABab	0.297 ± 0.019Bab
渭源 <i>M. ruthenica</i> (Weiyuan)	33.91 ± 1.30Abc	29.56 ± 1.05Babc	22.01 ± 0.63Cbc	1.62 ± 0.02Aabc	1.55 ± 0.14ABabc	1.32 ± 0.04Bcd	1.742 ± 0.235Ab	1.090 ± 0.144Bab	0.471 ± 0.005Cdef	0.552 ± 0.043Aabc	0.391 ± 0.049Bab	0.217 ± 0.008Cbcde
夏河 <i>M. ruthenica</i> (Xiahe)	36.44 ± 1.88Aab	29.37 ± 2.86Babc	23.64 ± 0.38Babc	1.77 ± 0.13Aab	1.50 ± 0.06ABabc	1.34 ± 0.06Bcd	1.749 ± 0.203Ab	0.794 ± 0.051Bb	0.415 ± 0.022Befg	0.548 ± 0.062Aabc	0.340 ± 0.017Babc	0.195 ± 0.005Cdef
永昌 <i>M. ruthenica</i> (Yongchang)	30.67 ± 1.00Ac	28.27 ± 0.79Aabcd	20.47 ± 1.06Bc	1.38 ± 0.06Ac	1.38 ± 0.02Abc	1.26 ± 0.03Acd	0.887 ± 0.149Ac	0.816 ± 0.067Ab	0.325 ± 0.028Bfg	0.355 ± 0.043Acd	0.312 ± 0.049Abc	0.177 ± 0.010Bdef
榆中 <i>M. ruthenica</i> (Yuzhong)	41.35 ± 1.05Aa	31.45 ± 1.05Babc	25.92 ± 0.53Cab	1.68 ± 0.07Aabc	1.61 ± 0.09Aab	1.60 ± 0.10Aab	1.422 ± 0.147Abc	1.267 ± 0.127ABa	0.837 ± 0.142Bab	0.456 ± 0.028ABcd	0.393 ± 0.025Aab	0.320 ± 0.057Aa
镇原 <i>M. ruthenica</i> (Zhenyuan)	39.48 ± 2.25Aab	30.42 ± 2.85Babc	24.13 ± 0.45Babc	1.60 ± 0.12Aabc	1.47 ± 0.07Aabc	1.41 ± 0.09ABcd	3.210 ± 0.225Aa	0.803 ± 0.137Bb	0.767 ± 0.068Bbc	0.706 ± 0.041Aa	0.287 ± 0.013Bbc	0.266 ± 0.035Babc
陇县 <i>M. ruthenica</i> (Longxian)	34.27 ± 1.95Abc	33.66 ± 1.05Aab	26.71 ± 1.65Ba	1.55 ± 0.03Abc	1.48 ± 0.03Aabc	1.45 ± 0.03Abc	1.300 ± 0.068Abc	1.235 ± 0.081Aa	0.646 ± 0.077Bbcd	0.461 ± 0.040ABcd	0.438 ± 0.056Aa	0.239 ± 0.008Babcde
土默特 <i>M. ruthenica</i> (Tumote)	40.25 ± 3.75Aa	33.88 ± 1.37Aa	21.65 ± 2.75Bbc	1.67 ± 0.12Aabc	1.63 ± 0.08Aab	1.33 ± 0.03Bcd	1.734 ± 0.353Ab	1.118 ± 0.083ABab	0.574 ± 0.022Bcde	0.446 ± 0.031ABcd	0.343 ± 0.013Babc	0.259 ± 0.005Cabed
自选 8 号 <i>M. ruthenica</i> (No. 8 Zixuan)	39.45 ± 1.45Aab	26.08 ± 1.49Bcd	22.29 ± 1.2B1abc	1.75 ± 0.14Aab	1.32 ± 0.02Bc	1.31 ± 0.09Bcd	1.276 ± 0.143Abc	0.817 ± 0.083Bb	0.485 ± 0.051Bdef	0.542 ± 0.077Aabc	0.376 ± 0.028ABab	0.228 ± 0.029Bbcde

注:同列不同小写字母表示同一处理下不同扁蓊豆种质间差异显著 ($P < 0.05$);同行不同大写字母表示同一材料在不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Note: Different lower-case letters within the same column show significant different at 0.05 level among germplasms of *Medicago ruthenica*, while different capital letters within the same line show significant different at 0.05 level among treatments. Hereinafter.

景泰、渭源、夏河和土默特扁蓊豆的单株地下生物量随着干旱胁迫的加剧呈显著下降趋势 ($P < 0.05$)(表 2)。适宜水分处理下,镇原扁蓊豆的地下生物量较高。中度水分胁迫下,陇县扁蓊豆单株地下生物量显著高于永昌、镇原和陇西扁蓊豆 ($P < 0.05$)。与对照相比,重度水分胁迫严重抑制了扁蓊豆地下根系的生长,其中榆中扁蓊豆的降幅较小,降低了 29.8%,其他 11 份扁蓊豆的地下生物量均下降了 40% 以上,其中景泰扁蓊豆的降幅较大,降低了 76.8%。

2.2 干旱胁迫对 12 份扁蓊豆生理指标的影响

由表 3 可知,适宜水分处理下,永昌扁蓊豆叶片的相对含水量显著高于陇西、镇原和土默特扁蓊豆 ($P < 0.05$)。随着干旱胁迫的加剧,12 份扁蓊豆叶片相对含水量均呈下降趋势。中度胁迫对扁蓊豆叶片相对含水量的影响较小,与对照相比,除夏河扁蓊豆外,其他 11 份扁蓊豆叶片相对含水量的降幅均在 10% 以下。夏河扁蓊豆的叶片相对含水量在中度和重度胁迫下的降幅较大,分别下降了 10.0% 和 35.0%。自选 8 号扁蓊豆的叶片相对含水量在重度胁迫下的下降幅度较小,下降了 17.9%。

适宜水分处理下,陇西扁蓿豆叶片 MDA 含量显著高于除渭源和临夏扁蓿豆以外的其他 9 份材料 ($P < 0.05$)(表 3)。与对照相比,中度和重度胁迫下陇西扁蓿豆叶片 MDA 含量增加的幅度较小,分别增加了 4.0% 和 24.1%。中度和重度胁迫下渭源扁蓿豆的叶片 MDA 含量均显著高于对照 ($P < 0.05$),且在此胁迫下,渭源扁蓿豆的叶片 MDA 含量均比其他材料的含量高,说明渭源扁蓿豆叶片对于干旱胁迫比较敏感。

随着干旱胁迫的加剧,天水 and 渭源扁蓿豆叶绿素含量呈显著下降趋势 ($P < 0.05$)(表 3)。在适宜水分处理下,天水扁蓿豆叶绿素含量显著高于除景

泰和土默特扁蓿豆以外的其他 9 份材料 ($P < 0.05$)。与对照相比,中度胁迫对永昌和榆中扁蓿豆叶绿素含量的影响较小,分别降低了 3.6% 和 5.9%,而重度胁迫下景泰扁蓿豆的降低幅度较小,为 22.1%,夏河扁蓿豆的降幅较大,为 49.0%。

2.3 12 份扁蓿豆孕蕾期耐旱性评价

利用每份扁蓿豆材料绝对株高、茎粗、地上生物量、地下生物量、叶片相对含水量、MDA 含量和叶绿素含量的相对值,采用隶属函数法对扁蓿豆种质孕蕾期抗旱性进行综合评价,抗旱性强弱依次为:陕西陇县 > 榆中 > 永昌 > 陇西 > 天水 > 渭源 > 土默特 > 自选 8 号 > 景泰 > 临夏 > 镇原 > 夏河(表 4)。

表 3 不同干旱胁迫下 12 份扁蓿豆的生理指标

Table 3 Physiological indexes of 12 populations of *Medicago ruthenica* under different drought stresses

材料 Material	相对含水量/% Relative water content			丙二醛含量/($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$) MDA content			叶绿素含量/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) Chlorophyll content		
	对照 CK	中度胁迫 Medium stress	重度胁迫 Severe stress	对照 CK	中度胁迫 Medium stress	重度胁迫 Severe stress	对照 CK	中度胁迫 Medium stress	重度胁迫 Severe stress
景泰 <i>M. ruthenica</i> (Jingtai)	85.43 ± 2.16Aab	79.37 ± 2.35Aabc	62.78 ± 4.51Babc	17.510 ± 0.204Abc	19.416 ± 0.228Ac	26.043 ± 1.568Babc	1.622 ± 0.029Aa	1.326 ± 0.092Aa	1.263 ± 0.227Aa
临夏 <i>M. ruthenica</i> (Linxia)	86.29 ± 0.33Aa	83.81 ± 1.09Aa	60.91 ± 1.76Babc	18.736 ± 0.476Aabc	25.436 ± 0.926Bab	28.614 ± 0.973Cabc	0.627 ± 0.057Ad	0.546 ± 0.019ABc	0.455 ± 0.027Bcd
陇西 <i>M. ruthenica</i> (Longxi)	81.59 ± 1.88Abc	79.89 ± 1.73Aabc	54.14 ± 3.09Bc	22.071 ± 1.602Aa	22.962 ± 2.549Aabc	27.398 ± 0.732Aabc	1.281 ± 0.034Ac	0.941 ± 0.163ABb	0.663 ± 0.040Bcd
天水 <i>M. ruthenica</i> (Tianshui)	82.41 ± 2.17Aabc	78.15 ± 1.59Aabc	57.11 ± 0.46Bbc	15.174 ± 1.015Ac	18.754 ± 0.677Ac	25.951 ± 1.365Babc	1.761 ± 0.141Aa	1.371 ± 0.022Ba	1.032 ± 0.044Cab
渭源 <i>M. ruthenica</i> (Weiyuan)	85.19 ± 1.31Aab	79.69 ± 2.97Aabc	59.44 ± 5.87Babc	19.456 ± 1.747Aab	26.172 ± 1.278Ba	31.149 ± 2.520Ba	0.633 ± 0.018Ad	0.546 ± 0.024Bc	0.396 ± 0.027Cd
夏河 <i>M. ruthenica</i> (Xiahe)	83.91 ± 1.00Aabc	75.50 ± 2.51Bbc	54.55 ± 1.87Cc	17.357 ± 0.960Abc	22.101 ± 1.865Aabc	30.702 ± 2.841Bab	1.309 ± 0.022Ac	0.874 ± 0.091Bb	0.668 ± 0.061Bcd
永昌 <i>M. ruthenica</i> (Yongchang)	86.84 ± 0.90Aa	81.11 ± 1.93Bab	60.72 ± 1.17Cabc	16.730 ± 1.675Abc	22.756 ± 1.823Babc	26.229 ± 0.930Babc	1.367 ± 0.019Abc	1.318 ± 0.078Aa	0.708 ± 0.059Bbcd
榆中 <i>M. ruthenica</i> (Yuzhong)	83.81 ± 0.79Aabc	79.68 ± 0.97Babc	60.94 ± 0.80Cabc	16.306 ± 0.083Abc	20.062 ± 2.053Ac	30.572 ± 3.174Bab	1.256 ± 0.037Ac	1.182 ± 0.056Aa	0.747 ± 0.140Bbc
镇原 <i>M. ruthenica</i> (Zhenyuan)	80.46 ± 0.54Ac	79.96 ± 2.67Aab	54.23 ± 1.19Bc	15.373 ± 0.835Abc	22.590 ± 1.823ABabc	27.516 ± 3.027Babc	1.318 ± 0.069Ac	0.925 ± 0.032Bb	0.738 ± 0.092Bbcd
陇县 <i>M. ruthenica</i> (Longxian)	83.72 ± 1.63Aabc	75.81 ± 1.28Bbc	65.00 ± 1.67Cab	16.471 ± 1.664Abc	20.696 ± 1.944Abc	22.663 ± 1.772Ac	0.645 ± 0.020Ad	0.550 ± 0.027Bc	0.479 ± 0.015Bcd
土默特 <i>M. ruthenica</i> (Tumote)	79.84 ± 1.21Ac	73.55 ± 1.05Bc	61.05 ± 1.15Cabc	15.243 ± 1.996Ac	23.609 ± 1.038Babc	24.130 ± 1.980Bbc	1.574 ± 0.157Aab	1.245 ± 0.096ABa	1.032 ± 0.181Bab
自选 8 号 <i>M. ruthenica</i> (No.8 Zixuan)	83.50 ± 0.29Aabc	80.99 ± 1.13Aab	68.53 ± 3.33Ba	16.460 ± 0.396Abc	21.911 ± 0.310Babc	22.348 ± 0.360Bc	1.264 ± 0.145Ac	0.885 ± 0.030Bb	0.744 ± 0.053Bbc

3 讨 论

植物的生长极易受外界各种环境因子的影响而产生不同的响应,其中水分胁迫被认为是限制植物生产力的主要因素^[16]。但是植物对水分胁迫的响应机制说法不一,有研究表明,植物的抗旱性往往随生育期而异,牧草种子萌发和幼苗生长阶段对土壤

水分的变化较敏感,随着牧草生长,抗旱能力逐渐增强,而蔡焕杰等^[17]研究表明,作物在不同时期对缺水的敏感度不同,对于大多数作物而言,早期生长阶段植株较小,需水量小,气温较低,蒸发量也较小,作物缺水的发展速度较慢;作物在生长中期,植物生长旺盛,需水量大,作物缺水的发展速度较快。前人^[18-19]已对扁蓿豆种子萌发期的抗旱性和耐盐性

做了初步探究,要综合评价扁蓊豆的抗旱性不但要从形态、生理、生化等多个指标进行综合评价,而且也需要结合不同的生育期进行综合评价^[20]。本试验采用盆栽反复干旱法对 12 份扁蓊豆种质孕蕾期的生长特性和抗旱性进行了研究,试验结果显示,扁

蓊豆孕蕾期的绝对株高、茎粗、地上生物量、地下生物量、叶片相对含水量和叶绿素含量都是随着胁迫程度的加剧,呈下降趋势,而 MDA 含量随着干旱胁迫的加剧呈上升趋势,与前人在多种牧草抗旱性研究中所得出的结果具有一致性^[21-23]。

表 4 12 份扁蓊豆孕蕾期耐旱性各指标隶属函数值及综合评价值
Table 4 The values of subordinate function and comprehensive evaluation of drought resistance
of 12 populations of *Medicago ruthenica* at the budding stage

材料 Material	隶属值 Subordinate function value							抗旱性综合评价值 Comprehensive evaluation of drought resistance	排序 Order
	绝对株高的相对值 Relative value of absolute plant height	相对茎粗 Relative stem diameter	相对地上生物量 Relative aboveground biomass	相对地下生物量 Relative underground biomass	相对含水量的相对值 Relative value of relative water content	相对丙二醛含量 Relative MDA content	相对叶绿素含量 Relative chlorophyll content		
景泰 <i>M. ruthenica</i> (Jingtai)	0.201	0.311	0.189	0.325	0.529	0.656	0.634	0.406	9
临夏 <i>M. ruthenica</i> (Linxia)	0.178	0.356	0.298	0.361	0.548	0.464	0.634	0.406	10
陇西 <i>M. ruthenica</i> (Longxi)	0.460	0.661	0.581	0.676	0.499	0.866	0.256	0.571	4
天水 <i>M. ruthenica</i> (Tianshui)	0.409	0.700	0.705	0.519	0.496	0.423	0.379	0.519	5
渭源 <i>M. ruthenica</i> (Weiyuan)	0.557	0.628	0.404	0.445	0.484	0.423	0.516	0.494	6
夏河 <i>M. ruthenica</i> (Xiahe)	0.493	0.350	0.282	0.356	0.363	0.359	0.173	0.339	12
永昌 <i>M. ruthenica</i> (Yongchang)	0.631	0.867	0.636	0.637	0.485	0.434	0.508	0.600	3
榆中 <i>M. ruthenica</i> (Yuzhong)	0.654	0.861	0.750	0.766	0.549	0.317	0.568	0.638	2
镇原 <i>M. ruthenica</i> (Zhenyuan)	0.416	0.683	0.162	0.223	0.535	0.214	0.266	0.357	11
陇县 <i>M. ruthenica</i> (Longxian)	0.799	0.828	0.731	0.700	0.555	0.632	0.633	0.697	1
土默特 <i>M. ruthenica</i> (Tumote)	0.413	0.628	0.451	0.617	0.561	0.298	0.469	0.491	7
自选 8 号 <i>M. ruthenica</i> (Zixuan No.8)	0.258	0.189	0.477	0.454	0.713	0.594	0.296	0.426	8

随着干旱胁迫的加剧,扁蓊豆的生长和生理生化调节均受到不同程度的抑制。本研究结果显示,景泰扁蓊豆的绝对株高、茎粗、单株地上和地下生物量均呈显著下降趋势($P < 0.05$),说明干旱胁迫严重抑制了景泰扁蓊豆的生长。与对照相比,重度胁迫下扁蓊豆绝对株高的降幅相对地上和地下生物量的降幅较小,说明重度胁迫对扁蓊豆生物量的影响较对绝对株高的影响大,赵丽丽^[24]通过盆栽反复干旱法研究了扁蓊豆不同品系苗期抗旱性,得出干旱处理后各材料的干物质胁迫指数较绝对株高胁迫指数变化大,从而说明干旱对生物量的影响较对绝对株高的影响大,与本试验得出的结果基本一致。在干旱胁迫下,植物首先表现出来的是体内含水量的下降。相对含水量是反映植物水分状况的参数,可部分地反映植物抗旱性的强弱^[25]。本试验扁蓊豆叶片相对含水量在中度胁迫下降幅较小,从而反映出扁蓊豆能适应一定的干旱环境。乌日娅等^[10]对

扁蓊豆叶片的解剖结构进行了研究,指出扁蓊豆叶片具有一定的旱生解剖结构,侧脉维管束外有多层厚壁组织构成的维管束鞘。陇西扁蓊豆叶片 MDA 含量在中度和重度胁迫下增加的幅度较慢,分别增加了 4.0% 和 24.1%,说明干旱胁迫对陇西扁蓊豆叶片质膜结构和功能的伤害较小。干旱胁迫不仅影响叶绿素的生物合成,而且加快叶绿素的分解^[26]。永昌和榆中扁蓊豆叶绿素含量在中度胁迫下降幅较小,分别降低了 3.6% 和 5.9%,表明永昌和榆中扁蓊豆能抵抗一定的逆境。

综合扁蓊豆在干旱胁迫下的生长指标和生理指标,不同生境的扁蓊豆抗旱性具有明显的差异。牧草对干旱胁迫的适应机理是多方面的,某一抗旱指标表现出较强的抗性,并不表示其他抗旱指标也能表现出较强的抗性^[27]。从 12 份扁蓊豆不同的抗旱性指标来看,没有一种材料总是处于相同的序位上,即表明不同材料对干旱胁迫有着不同的适应方式,

这种现象即使在超旱生牧草中也是存在^[28]。抗旱性是一个受多种因素影响的复杂的数量性状,因此,用单一的指标难以全面而准确地反映抗旱性的强弱,必须运用多个指标进行综合评价^[15]。本试验采用隶属函数法,利用中度和重度胁迫处理下绝对株高、茎粗、地上生物量、地下生物量、叶片相对含水量、MDA 含量和叶绿素含量的相对值对 12 份扁蓿豆孕蕾期抗旱性进行了综合评价,抗旱性强弱依次为,陕西陇县>榆中>永昌>陇西>天水>渭源>土默特>自选 8 号>景泰>临夏>镇原>夏河。而种子萌发期的抗旱性强弱顺序为:景泰>陇西>土默特>镇原>永昌>天水>榆中>宁县>夏河>临夏>陕西陇县>渭源^[18]。结果表明,不同扁蓿豆种质在不同生育期的抗旱性强弱顺序存在一定的差异性。由于植物的抗旱性是一个复杂的现象,不同植物甚至是同一植物的不同品种,对于干旱胁迫的反应及其适应机制也不尽相同^[29]。并且本试验所用的材料有 10 份为采集于不同地区的扁蓿豆种子,扁蓿豆的抗旱性除了与本身的遗传特性有关外,还可能与种子的生境以及采集时间有关。同时本试验是在遮雨棚内进行,由于遮雨棚内空气流动性较差,棚内温度要比棚外略高。所以,扁蓿豆不仅有水分胁迫还有高温胁迫,有研究表明抗旱性和耐热性也相关^[30]。要鉴定各扁蓿豆材料的抗旱性强弱,还需要今后在田间的生产实践和不断的试验中逐步探索。

参 考 文 献:

[1] 马毓泉. 内蒙古植物志(第三卷)[M]. 第二版. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1998: 194-196.

[2] Small E, Jomphe M. A synopsis of the genus *Medicago* (Leguminosae) [J]. Canadian Journal of Botany, 2011, 67(11): 3260-3294.

[3] Bena G. Molecular phylogeny supports the morphologically based taxonomic transfer of the “medicago id” *Trigonella* species to the genus *Medicago* L. [J]. Plant Systematics and Evolution, 2001, 229(3/4): 217-236.

[4] 韩海波, 师文贵, 李志勇, 等. 扁蓿豆的抗性研究进展[J]. 草业科学, 2011, 28(4): 631-635.

[5] 李 慧, 石凤翎, 熊 梅, 等. 60Co- γ 辐射对直立型扁蓿豆种子产量及构成因子的影响[J]. 中国草地学报, 2013, 35(6): 9-13.

[6] 王 璐, 石凤翎, 卞晓燕, 等. 秋水仙素处理直立型扁蓿豆的诱变效应分析[J]. 种子, 2013, 32(10): 50-53.

[7] 张 宇, 石凤翎, 高 霞, 等. 扁蓿豆冷诱导基因转录差异 cDNA-AFLP 反应体系的构建[J]. 中国草地学报, 2013, 35(2): 13-18.

[8] 乌日娅, 雍世鹏, 包贵平. 扁蓿豆属植物在内蒙古的生态地理分布[J]. 中国草地, 1996, (2): 5-6.

[9] 韩海波, 师文贵, 王晓娜, 等. 内蒙古扁蓿豆野生资源形态特征研究[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(5): 721-726.

[10] 乌日娅, 雍世鹏, 包贵平. 扁蓿豆生态生物学特性的比较研究[J]. 中国草地, 1994, (2): 1-7.

[11] 徐成体, 德科加. 用不同的方法处理后直立型扁蓿豆种子的发芽效果[J]. 青海畜牧兽医杂志, 1996, 26(6): 4-6.

[12] 翟春梅, 王 赞, 邓 波, 等. 紫花苜蓿苗期抗旱性鉴定指标筛选及综合评价[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(6): 167-172.

[13] 哈丽丹·阿不都热合曼, 王 铮, 齐曼·尤努斯, 等. 3 个苜蓿品种的生长及其活性氧清除酶活性对于干旱胁迫的响应[J]. 新疆农业大学学报, 2013, 36(2): 147-152.

[14] 邹 琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 11-173.

[15] 刘 佳, 徐昌旭, 曹卫东, 等. PEG 胁迫下 15 份紫云英种质材料萌发期的抗旱性鉴定[J]. 中国草地学报, 2012, 34(6): 18-25.

[16] 吴志华, 曾富华, 马生建, 等. 水分胁迫下植物活性氧代谢研究进展(综述 I) [J]. 亚热带植物科学, 2004, 33(2): 77-80.

[17] 蔡焕杰, 康绍忠, 张振华, 等. 作物调亏灌溉的适宜时间与调亏程度的研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 24-27.

[18] 肖 红, 徐长林, 鱼小军, 等. 不同产地扁蓿豆种子萌发期抗旱性综合评价[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(5): 73-77.

[19] 张建文, 徐长林, 鱼小军, 等. 九份扁蓿豆种子萌发期耐盐性研究[J]. 中国草地学报, 2014, 36(5): 83-88.

[20] 龚 明, 刘友良, 丁念诚, 等. 大麦不同生育期的耐盐性差异[J]. 西北植物学报, 1994, (1): 1-7.

[21] 张小娇, 祁 娟, 曹文侠, 等. 干旱胁迫对垂穗披碱草苗期抗旱生理特性的影响[J]. 草原与草坪, 2014, 34(5): 55-59.

[22] 王怡丹, 全炳武, 朴京珠, 等. 水分胁迫对 4 种牧草苗期的抗旱性比较[J]. 延边大学农学报, 2007, 29(2): 101-106.

[23] 李 源, 刘贵波, 高洪文, 等. 苗期干旱胁迫对苜蓿种质生长特性的影响[J]. 河北农业科学, 2010, 14(7): 1-4.

[24] 赵丽丽. 扁蓿豆不同品系的特性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009.

[25] 汤章城. 植物对水分胁迫的反应和适应性——II 植物对于干旱的反应和适应性[J]. 植物生理学通讯, 1983, (4): 1-7.

[26] 杨万勤, 王开运, 宋光煜, 等. 水分胁迫对燥红土和变形土生长的玉米叶片[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(6): 588-593.

[27] Levitt J. Responses of Plants to Environmental Stress[M]. 2ed. Vol I, II, New York: Academic Press, 1998: 56-57.

[28] 王继和. 民勤沙区主要乔灌木体内水分状况及其抗旱特点的探讨[C]//中国植物生理学会秘书处. 中国植物生理学会第三次全国会议论文摘要汇编, 1982: 272-273.

[29] Tobel K, Zhong L P, Qiu G Y Y, et al. Characteristics of seed germination in five non-halophytic Chinese desert shrub species [J]. Journal of Arid environments, 2001, 47: 191-201.

[30] 鱼小军, 王 芳, 白小明. 草坪草抗旱性研究现状[J]. 草业科学, 2005, 22(2): 96-100.