

19份高燕麦草种质材料苗期抗旱性评价

杨宏新^{1,2}, 毛培春², 孟林², 呼天明¹, 高洪文³

(1. 西北农林科技大学动物科技学院, 陕西 杨凌, 712100; 2. 北京市农林科学院北京草业与环境研究发展中心, 北京 100097;

3. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 北京 100193)

摘要: 将从11个国家收集到的19份高燕麦草(*Arrhenatherum elatius* (L.) J. et C. Pressl)种质材料, 置于温室采用苗期模拟干旱胁迫-复水法进行抗旱性评价试验。于停水当天(CK)、持续干旱胁迫7、14、21、28、35、42 d和复水后7 d分别取样测定叶片的相对含水量(RWC)、相对电导率(REC)、脯氨酸含量(Pro)、丙二醛含量(MDA)、可溶性糖含量(SSC)、超氧化物歧化酶(SOD)、存活率(SR)、根冠比(RSR) 8个抗旱指标, 综合评价其抗旱性。结果显示, 以持续干旱胁迫到42 d时上述8个指标测定值的离差平方和—平方欧氏距离法综合聚类分析结果为依据, 可将19份种质材料划分为三个抗旱等级。其中抗旱性较强的包括 ZXY2005P-1021、ZXY2005P-619、ZXY2005P-853、ZXY2005P-1160、ZXY2005P-1319、ZXY2005P-901; 抗旱性中等的包括 ZXY2005P-706、ZXY2005P-1086、ZXY2005P-1473、ZXY2005P-1296、ZXY2005P-1182、ZXY2005P-1036、ZXY2005P-877、ZXY2005P-837; 抗旱性较弱的包括 ZXY2005P-1514、ZXY2005P-969、ZXY2005P-1375、ZXY2005P-1362、ZXY2005P-1426。同时, 随着干旱胁迫时间的延续, 叶片 RWC 呈下降趋势, REC、Pro、SSC 则显著上升, SOD、MDA 虽有波动但整体呈上升趋势。复水7 d后, 叶片 RWC、Pro 均可恢复到胁迫前的水平, 而 REC、SSC、MDA、SOD 值虽有不同程度降低但均未恢复到胁迫前的水平。

关键词: 高燕麦草; 苗期; 抗旱性; 评价

中图分类号: S332.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)02-0006-09

广泛收集整理各类优质草种质资源, 开展其种质特性的综合评价是草业种质资源利用和创新的重要研究方向之一。高燕麦草(*Arrhenatherum elatius* (L.) J. et C. Pressl)系禾本科燕麦草属多年生草本植物, 原产于地中海沿岸和亚洲西部, 20世纪50年代从前苏联、波兰等地区引入中国^[1], 虽耐干旱, 但耐寒能力相对较差。高燕麦草根系发达, 深入土中可达1 m; 茎直立, 株高1~1.5 m; 叶片多而细长, 茎叶柔嫩, 适口性好, 产草量较高, 营养价值高, 是优质牧草, 其干草产量可达9 000 kg/hm², 鲜草中粗蛋白质3.4%、粗脂肪0.8%、粗纤维6.7%、无氮浸出物11.1%、灰分2.4%、钙0.42%、磷0.07%。在我国半湿润半干旱地区具有广阔的推广应用前景^[1,2]。目前, 国内已对高燕麦草的植物学特征^[1]、生产性能评价^[2]、耐盐特性评价^[3]等进行了初步研究, 而对不同地区来源的高燕麦草种质材料间的抗旱性比较研究相对较少。文试验在温室苗期模拟旱境胁迫条件下, 对收集到的来自11个国家的19份高燕麦草种质材料进行了苗期抗旱性的综合评价, 旨在优选出抗旱性较强的种质材料, 揭示其在持续干旱胁迫条

件下, 抗旱生理指标和生长形态指标等的变化规律, 为高燕麦草优异种质资源挖潜和抗旱新品种的选育提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

中国农业科学院北京畜牧兽医研究所牧草资源室提供从俄罗斯、匈牙利、德国、葡萄牙、芬兰等11个国家引进19份高燕麦草种质材料(表1)。

1.2 试验设计

本研究于2009年10~12月在北京市农林科学院草业中心日光温室内进行。温室的昼/夜平均温度25℃±3℃/15℃±2℃, 昼/夜空气平均相对湿度75%±5%/92%±3%。试验基质用土是由大田土与草炭按1:1体积比混合均匀而成, 入装长方体型盆(长×宽×高=48.5 cm×32.5 cm×19 cm), 每盆装25 kg。每盆划分4个区, 每区穴播1个材料, 每穴2~3粒, 穴间距2 cm, 覆土后用水均匀浇透, 待长到2~3片真叶时, 每穴定苗1株, 待长到4~5片叶后进行干旱胁迫处理。试验土壤基质养分含量为:

收稿日期: 2010-10-25

基金项目: 国际科技合作与交流项目(2008DFR30200); 北京市科技计划项目(Z09090501040902); 国家牧草种质资源保护项目; 北京市农林科学院常规育种财政专项

作者简介: 杨宏新(1983—), 女, 河北唐山人, 在读硕士, 主要从事草业资源研究。

通讯作者: 孟林(1966—), 男, 内蒙古乌兰察布人, 副研究员, 主要从事草业资源研究。E-mail: menglin9599@sina.com。

呼天明(1958—), 男, 内蒙古伊金霍洛旗人, 教授, 博士生导师, 主要从事草业科学研究。E-mail: hutianming@126.com。

有机质 47.2 g/kg、全氮 2.38 g/kg、全磷 0.817 g/kg、mg/kg、速效钾 88.6 mg/kg、pH 值 7.18。
全钾 15.5 g/kg、碱解氮 109.48 mg/kg、速效磷 7.34

表 1 高燕麦草种质材料及来源
Table 1 Materials and sources of *A. elatus*

序号 NO.	材料编号 Code	来源 Source	序号 NO.	材料编号 Code	来源 Source
1	ZXY2005P - 619	格鲁吉亚 Georgia	11	ZXY2005P - 1160	匈牙利 Hungary
2	ZXY2005P - 706	拉托维亚 Latvia	12	ZXY2005P - 1182	匈牙利 Hungary
3	ZXY2005P - 837	芬兰 Finland	13	ZXY2005P - 1296	俄罗斯克里木地区 Crimea, Russia
4	ZXY2005P - 853	俄罗斯克拉斯诺达尔边疆区 Krasnodar Krai, Russia	14	ZXY2005P - 1319	波兰 Poland
5	ZXY2005P - 877	俄罗斯克拉斯诺达尔边疆区 Krasnodar Krai, Russia	15	ZXY2005P - 1362	波兰 Poland
6	ZXY2005P - 901	葡萄牙 Portugal	16	ZXY2005P - 1375	波兰 Poland
7	ZXY2005P - 969	捷克斯洛伐克 Czechoslovakia	17	ZXY2005P - 1426	吉尔吉斯 Kirghizia
8	ZXY2005P - 1021	德国 Germany	18	ZXY2005P - 1473	白俄罗斯 White Russia
9	ZXY2005P - 1036	匈牙利 Hungary	19	ZXY2005P - 1514	俄罗斯基辅地区 Kiev-Region, Russia
10	ZXY2005P - 1086	匈牙利 Hungary			

1.2.1 生理生化指标测定 干旱胁迫前将水浇透(土壤体积含水量的 25%),分别于停水当天(CK)和干旱胁迫 7、14、21、28、35、42 d(土壤体积含水量低于 5%)及复水后 7 d 上午 8:00 时采样(叶片)测定生理生化指标,3 次重复。

土壤体积含水量采用 TZS - 5X 土壤水分测定仪(浙江托普仪制造)测定。

相对含水量(RWC)采用饱和称重法测定^[4]。

相对电导率(REC)采用电导率法测定^[4]。

丙二醛(MDA)采用硫代巴比妥酸法测定^[4]。

游离脯氨酸(Pro)采用印三酮法测定^[4]。

可溶性糖(SSC)采用硫酸 - 蒽酮显色法测定^[4]。

超氧化物歧化酶(SOD)采用 NBT 光还原法测定^[5],略作改进,酶液用 50mmol/L 磷酸缓冲液(pH7.0)提取,以可抑制 NBT 光还原反应 50%的酶量作为 1 个 SOD 活性单位(U)。

变化率 = $1(I_{42} - I_{CK})/I_{CK}$

式中, I_{42} 为各材料指标第 42 天测定值, I_{CK} 为各材料指标对照(CK)测定值。

1.2.2 形态指标测量 定株后胁迫前将水浇透(土壤体积含水量的 25%),以正常浇水为对照,待干旱处理 42d 后,测定其形态指标,5 次重复。

存活率(SR):处理的存活株数/对照的存活株数 × 100%。

根冠比(RSR):处理的根干重/处理的茎叶干重

× 100%。

1.3 数据处理

实验数据采用 SAS8.0 统计软件进行方差分析;将干旱胁迫后第 42 天时上述 8 项指标的测定值采用 SPSS16.0 进行综合聚类分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对叶片相对含水量(RWC)的影响

RWC 能够很好地反映叶片水分状况与蒸腾作用之间的平衡关系,是一个重要的水分状态指标^[6,7]。由表 2 可知,随着干旱胁迫时间的增加,各种质材料 RWC 均呈一定程度的下降趋势,但下降幅度存在差异。干旱胁迫 7 d 时各材料间 RWC 没有显著差异。但当持续干旱胁迫到 28 d 时,RWC 下降至 90% ~ 84%,平均下降达 10%。当干旱持续胁迫到 42 d 时,RWC 的降幅最大,其中 ZXY2005P - 969、ZXY2005P - 1362、ZXY2005P - 1375、ZXY2005P - 1462、ZXY2005P - 1514 与处理 0 d 时比较,其下降率分别达到 33.79%、34.04%、34.6%、37.5% 和 32.41%,表现出保水能力较差和相对早敏感的特征。而 ZXY2005P - 877、ZXY2005P - 1086、ZXY2005P - 1182、ZXY2005P - 1296、ZXY2005P - 901 下降率分别为 20.58%、19.71%、20.68%、19.53%和 20.98%,表现出保水能力相对较强的特征。但复水 7 d 后,所有种质材料的 RWC 均能恢复到胁迫前水平。

表 2 持续干旱胁迫下 19 份高燕麦草种质材料 RWC 的变化(%)
Table 2 The leaf RWC of 19 germplasm and materials of *A. elatius* at different drought stress days(%)

材料 Material	干旱胁迫天数 Drought stress days(d)							复水 Rewatering	变化率(%) Variational rate
	0	7	14	21	28	35	42		
ZXY2005P-619	98.82	98.3	96.73 ab	94.22 abcde	88.01 cdefg	75.69 hi	70.54 f	98.67	28.62
ZXY2005P-706	99.10	98.42	95.92 bed	93.19 def	87.78 defgh	82.81 bed	77.09 ab	98.71	22.21
ZXY2005P-837	98.67	97.54	95.77 bed	92.47 ef	86.62 fghi	81.31 cdef	73.05 de	97.51	25.96
ZXY2005P-853	98.43	97.48	96.93 ab	95.87 a	91.64 a	80.96 def	71.87 ef	96.94	26.98
ZXY2005P-877	98.69	98.03	94.67 de	93.61 bcdef	87.57 defgh	83.44 bc	78.38 a	98.82	20.58
ZXY2005P-901	98.31	97.92	96.72 ab	95.30abc	89.22 abcde	81.09 cdef	77.69 ab	99.30	20.98
ZXY2005P-969	99.76	97.16	96.60 ab	96.08 a	90.82 ab	76.58 h	66.05 g	97.80	33.79
ZXY2005P-1021	97.19	96.68	95.98 abcd	93.85 bcde	87.43 efgh	77.99 gh	72.70 def	97.96	25.19
ZXY2005P-1036	97.48	97.24	96.16 ab	94.30 abcde	88.38 bcdefg	81.66 bcde	72.08 def	98.31	26.06
ZXY2005P-1086	98.96	97.66	96.82 ab	93.41 cdef	88.97 bcdef	86.99 a	79.45 a	97.63	19.71
ZXY2005P-1160	98.91	97.52	96.15 ab	94.63 abcd	90.00 abcd	83.03 bed	73.28 de	98.51	25.91
ZXY2005P-1182	99.46	97.93	95.84 bed	95.50 ab	90.47abc	83.97 b	78.90 a	98.44	20.68
ZXY2005P-1296	97.99	96.92	94.97 cde	92.46 ef	87.87 cefgh	82.75 bed	78.85 a	96.42	19.53
ZXY2005P-1319	99.06	97.38	92.62 f	91.86 fg	87.31 efgh	80.00 efg	74.38 cd	95.4	24.91
ZXY2005P-1362	97.78	96.57	90.85 g	85.52 h	78.90 j	70.75 j	64.50 g	96.20	34.04
ZXY2005P-1375	98.78	97.39	93.59 ef	90.19 g	86.48 ghi	73.98 i	64.61 g	96.74	34.60
ZXY2005P-1426	98.22	97.41	94.73 cde	90.20 g	84.77 i	77.71 gh	61.38 h	97.63	37.50
ZXY2005P-1473	98.75	98.56	96.99 ab	94.67 abcd	85.50 hi	79.16 fg	75.88 bc	99.04	23.16
ZXY2005P-1514	98.54	96.96	97.43 a	94.61 abcd	89.00 bcdef	76.54 h	66.60 g	98.65	32.41

注：同列不同小写字母间差异显著(P<0.05),下表同。
Notes: Different lowercase letters in the same column mean significant difference at 0.05 level, and they are the same in following tables.

2.2 干旱胁迫对相对电导率(REC)的影响

干旱胁迫时,由于植物细胞膜的损伤使电解质大量外渗,渗漏值在不同品种间可能出现较大的差异。由表 3 可见,在持续干旱胁迫下,各供试材料的细胞膜透性增大,REC 呈上升趋势。当干旱胁迫持续到 28 d 时,ZXY2005P-837、ZXY2005P-853、ZXY2005P-1021 的 REC 值有所降低,表明植物具有了一定的适应性,干旱胁迫对其质膜系统损伤较轻。当干旱胁迫持续到 42 d 时,各材料 REC 均达到最大值,其中 ZXY2005P-901、ZXY2005P-1296、ZXY2005P-1319、ZXY2005P-619 变化趋势平稳,上升变化率分别为 73.59%、69.37%、78.81%、80.62%,说明干旱对其影响不大。ZXY2005P-877、ZXY2005P-1473、ZXY2005P-1021 的变化率则分别达到 341.87%、214.37%、238.93%,说明其质膜透性对干旱胁迫敏感。复水后 REC 虽有所下降(除 ZXY2005P-619 外),但均未恢复到胁迫前水平。

2.3 干旱胁迫对可溶性糖(SSC)的影响

在持续干旱胁迫下,细胞中不断增加的 SSC,能起到维持膜结构,稳定大分子功能的作用^[8]。由表 4 可见,随着干旱胁迫的加剧,供试材料的叶片 SSC 逐渐升高,材料间差异显著。其中在 0~28 d 时,各

材料变化幅度趋于平稳,当胁迫第 42 天时,各材料显著性增加,均达到最大值。复水 7 d 后 SSC 虽有所降低,但均未恢复到胁迫前水平。其中 ZXY2005P-1426、ZXY2005P-1036、ZXY2005P-837、ZXY2005P-1375、ZXY2005P-1362,变化幅度较大,变化率分别是 709.56%、534.59%、529.84%、693.73%、596.11%。而 ZXY2005P-619、ZXY2005P-901、ZXY2005P-1086 变化幅度不大,变化率分别是 220.25%、238.54%、285.33%、322.38%。ZXY2005P-706 在胁迫到 35 d 时,SSC 达最高值,42 d 时有所降低。

2.4 干旱胁迫对超氧化物歧化酶(SOD)的影响

作为一种诱导酶,SOD 在一定程度上反映植物受胁迫的变化。SOD 能催化超氧阴离子自由基的歧化反应而形成 O₂ 和 H₂O₂,从而减轻 O₂⁻ 对植物的毒害^[9]。从表 5 看出,各材料 SOD 含量随干旱胁迫的加剧,整体呈上升趋势,差异显著,其中 ZXY2005P-1473、ZXY2005P-1426、ZXY2005P-1362、ZXY2005P-1182、ZXY2005P-877、ZXY2005P-706 略有波动,但当持续干旱胁迫到 42 d 时均达最高值。ZXY2005P-706、ZXY2005P-1086、ZXY2005P-1473、ZXY2005P-1182 变化幅度较小,其变化率分

表 3 持续干旱胁迫下 19 份高燕麦草种质材料 REC 的变化(%)

Table 3 The REC of 19 germplasm and materials of *A. elatius* at different drought stress days

材料 Material	干旱胁迫天数 Drought stress days(d)							复水 Rewatering	变化率(%) Variational rate
	0	7	14	21	28	35	42		
ZXY2005P-619	30.68 a	27.58 bcde	30.83 bcde	34.09 bcde	41.00 abc	40.10 cde	55.41 abc	28.46 cdefg	80.62
ZXY2005P-706	19.53 efg	20.03 g	21.32 g	34.08 bcde	38.23 abcd	43.62 abcd	49.00 bcde	25.04 fg	150.90
ZXY2005P-837	15.64 gh	23.51 efg	31.84 abcde	36.86 abcd	31.77defg	35.96 ef	38.00 fg	21.32 g	142.94
ZXY2005P-853	26.15 abc	31.46 ab	29.66 cdef	36.50 abcd	31.14 efg	38.87 de	56.96 ab	36.00 ab	117.82
ZXY2005P-877	10.49 i	23.09 efg	29.45 cdef	25.54 f	29.88 fg	36.07 ef	46.35 cdef	29.37 bcdef	341.87
ZXY2005P-901	29.37 ab	33.33 a	36.20 a	38.87 ab	42.44 ab	46.58abc	50.98 abcde	32.87 abcd	73.59
ZXY2005P-969	23.46 cde	31.81 ab	35.58 ab	39.37 a	40.37 abc	42.10 cde	49.24 bcde	29.09 bcdef	109.89
ZXY2005P-1021	17.53 fgh	23.62 defg	32.26 abcde	35.37 abcd	34.67 cdef	38.09 def	59.42 a	25.47 efg	238.93
ZXY2005P-1036	20.95 def	29.01 abc	29.72 cdef	35.26 abcde	26.78 g	42.50 bcde	44.46 efg	33.20 abc	112.23
ZXY2005P-1086	20.71 def	22.34 fg	28.20 ef	29.14 ef	37.26 bcde	49.56 a	50.36 abcde	25.89 defg	143.18
ZXY2005P-1160	20.80 def	20.66 g	28.91 def	31.69 def	31.45 defg	36.04 ef	46.68 cdef	33.29 abc	124.40
ZXY2005P-1182	17.25 fgh	20.58 g	33.84 abcd	38.15 abc	36.94 bcde	39.58 de	44.27 efg	28.12 cdefg	156.64
ZXY2005P-1296	21.13 cdef	23.80 defg	25.30 fg	25.88 f	25.85 g	31.82 f	35.79 g	30.09 bcdef	69.37
ZXY2005P-1319	25.38 bcd	28.59 abcd	33.63 abcd	38.18 abc	40.06 abc	43.21 abcd	45.38 def	37.73 a	78.81
ZXY2005P-1362	22.76 cde	32.84 a	34.16 abc	35.80 abcd	37.86 bcde	39.16 de	45.07 defg	32.35 abcde	98.02
ZXY2005P-1375	22.62 cde	27.65 bcde	31.55 abcde	40.51 a	44.78 a	48.85ab	54.29 abcd	35.25 abc	140.00
ZXY2005P-1426	23.40 cde	25.79 cdef	28.77 edf	35.69 abcd	37.01bcde	40.71 cde	45.74 def	25.30 efg	94.32
ZXY2005P-1473	13.48 hi	21.64 fg	24.69 fg	33.11 cde	36.95 bcde	38.71 de	42.37 efg	34.93 abc	214.37
ZXY2005P-1514	20.91 def	22.50 fg	28.24 ef	32.86 cde	34.40 cdef	35.74 ef	51.11 abcde	35.00 abc	144.45

表 4 持续干旱胁迫下 19 份高燕麦草种质材料 SSC 的变化(mg/g)

Table 4 The SSC of 19 germplasm and materials of *A. elatius* at different drought stress days

材料 Material	干旱胁迫天数 Drought stress days(d)							复水 Rewatering	变化率(%) Variational rate
	0	7	14	21	28	35	42		
ZXY2005P-619	11.98 a	12.24 de	7.89 k	14.94 ij	17.09 ij	14.18 g	38.37 f	24.84 h	220.25
ZXY2005P-706	8.51 fghi	6.09 j	10.52 ji	12.75 k	14.58 k	30.95 bc	28.81 g	32.89 d	238.54
ZXY2005P-837	8.98 efg	8.62 ghi	12.98 def	17.00 efgh	19.44 efgh	40.46 a	56.56 b	39.59 b	529.84
ZXY2005P-853	11.43 ab	11.69 ef	16.7 a	20.07 ab	22.96 ab	21.67 f	46.43 cd	27.29 g	306.21
ZXY2005P-877	11.23 ab	8.56 ghi	14.25 bc	20.87 a	23.89 a	26.52 e	58.62 b	28.42 fg	422.01
ZXY2005P-901	7.32 ij	13.16 cd	11.67 gh	21.00 a	24.02 a	13.27 g	28.21 g	30.80 e	285.33
ZXY2005P-969	9.60 def	11.43 ef	13.77 bcd	17.93 def	20.50 def	26.60 de	49.91 c	20.17 j	419.90
ZXY2005P-1021	10.95 abc	8.95 g	10.07 j	16.35 fghi	18.70 fghi	28.22 cde	43.30 de	18.71 j	295.47
ZXY2005P-1036	7.61 hi	7.74 i	9.80 j	14.05 jk	16.07 jk	26.77 de	48.29 c	31.02 e	534.59
ZXY2005P-1086	7.66 hi	8.65 ghi	10.03 j	15.74 ghi	18.00 ghi	15.27 g	32.36 g	28.25 fg	322.38
ZXY2005P-1160	8.06 ghi	10.87 f	12.97 def	16.62 fgh	19.01 fgh	20.81 f	41.10 ef	23.88 hi	409.99
ZXY2005P-1182	5.64 k	8.75 gh	12.15 fgh	17.30 efg	19.79 efg	20.28 f	30.53 g	24.84 h	441.39
ZXY2005P-1296	9.15 efg	14.64 b	11.75 gh	19.25 bcd	22.01 bcd	32.20 b	41.98 ef	23.65 hi	358.83
ZXY2005P-1319	9.94 cde	14.02 bc	11.47 hi	20.90 a	23.90 a	32.30 b	38.88 f	24.84 h	291.10
ZXY2005P-1362	8.59 fgh	10.91 f	12.90 def	18.36 cde	20.10 cde	31.50 bc	59.80 b	14.07 k	596.11
ZXY2005P-1375	6.17 jk	11.34 ef	12.49 efg	19.78 abc	22.62 abc	20.76 f	48.97 c	22.40 i	693.73
ZXY2005P-1426	8.73 efg	7.82 hi	11.60 gh	18.30 cde	20.93 cde	41.34 a	70.67 a	44.53 a	709.56
ZXY2005P-1473	10.65 bcd	11.37 ef	13.26 cde	15.43 hij	17.64 hij	30.68 bc	43.66 de	29.24 ef	309.93
ZXY2005P-1514	11.26 ab	17.70 a	14.46 b	21.12 a	24.15 a	29.96 bcd	57.33 b	36.00 c	409.18

表 5 干旱胁迫下 19 份高燕麦草种质材料叶片 SOD 变化(U)
Table 5 The SOD of 19 germplasm and materials of *A. elatius* at different drought stress days

材料 Material	干旱胁迫天数 Drought stress days(d)							复水 Rewatering	变化率(%) Variational rate
	0	7	14	21	28	35	42		
ZXY2005P-619	92.22 m	109.95 k	126.57 j	172.48 j	205.68 h	234.72 gh	401.84 b	231.26 fgh	335.74
ZXY2005P-706	203.24 a	286.19 ab	182.08 fg	309.62 ab	182.12 i	303.01 a	280.00 g	262.90 abc	37.77
ZXY2005P-837	125.43 i	164.22 h	171.03 h	186.01 i	292.75 a	290.32 ab	367.87 cd	269.40 abc	193.05
ZXY2005P-853	145.40 fgh	167.77 gh	211.24 e	232.47 fg	247.66 cd	253.11 ef	377.81 cd	204.64 i	159.84
ZXY2005P-877	146.89 efg	195.87 e	344.75 a	253.69 d	264.43 b	284.50 bc	315.64 ef	230.49 fgh	114.86
ZXY2005P-901	94.76 lm	121.29 j	129.24 j	145.04 k	164.90 j	227.16 hi	363.61 d	256.82 bcd	283.72
ZXY2005P-969	137.11 h	147.38 i	159.97 i	200.33 h	229.05 efg	285.87 bc	403.94 ab	278.24 a	194.61
ZXY2005P-1021	108.58 jk	208.86 d	188.10 fg	318.71 a	289.65 a	195.00 j	301.53 f	226.75 fgh	177.71
ZXY2005P-1036	149.19 ef	277.02 b	257.83 d	237.58 f	162.77 j	243.73 fg	328.69 e	234.33 efg	120.31
ZXY2005P-1086	155.61 de	278.98 b	269.35 c	251.77 de	225.05 fg	276.68 bcd	283.81 g	220.57 ghi	82.39
ZXY2005P-1160	168.94 bc	236.92 c	253.81 d	284.83 c	253.76 bc	274.04 cd	381.89 c	275.32 ab	126.05
ZXY2005P-1182	165.74 bc	295.89 a	256.25 d	280.10 c	214.63 gh	222.22 hi	316.99 e	242.20 def	91.26
ZXY2005P-1296	148.23 efg	176.44 fg	192.90 f	222.78 g	249.85 bcd	256.62 ef	330.69 e	279.83 a	123.09
ZXY2005P-1319	114.24 j	170.02 gh	180.68 g	224.53 g	187.57 i	283.54 bc	416.64 ab	276.82 ab	264.71
ZXY2005P-1362	125.64 i	239.33 c	203.04 e	301.30 b	172.50 ij	263.32 de	417.76 a	252.03 cde	232.51
ZXY2005P-1375	103.00 kl	126.45 j	187.55 fg	241.31 ef	246.80 cd	252.63 ef	408.92 ab	260.70 abcd	297.01
ZXY2005P-1426	160.83 cd	238.57 c	304.72 b	304.68 b	240.74 cde	286.28 bc	327.04 e	253.33 cde	103.34
ZXY2005P-1473	140.06 gh	236.10 c	266.97 c	198.08 h	253.41 bc	262.96 de	283.46 g	230.32 fgh	102.38
ZXY2005P-1514	173.96 b	181.283 f	123.21 j	138.67 k	235.29 def	218.19 i	413.68 ab	211.22 hi	137.80

别为 37.77%、82.39%、102.38%、91.26%；而 ZXY2005P-1375、ZXY2005P-901、ZXY2005P-619、ZXY2005P-1319 变化趋势较大，其变化率分别为 297.01%、283.72%、335.74%、264.71%。复水后 7 d，所有参试材料的 SOD 含量虽有所下降，但均未恢复到胁迫前水平。

2.5 干旱胁迫对叶片脯氨酸(Pro)含量的影响

由表 6 看出，随干旱胁迫时间的增加，各材料 Pro 呈明显上升趋势，各材料间存在显著性差异。在胁迫 0~28 d 间，随干旱胁迫的增强，各材料 Pro 值缓慢上升，当胁迫到 42 d 时，ZXY2005P-969、ZXY2005P-1514、ZXY2005P-1426、ZXY2005P-1362 分别增加了 3339.70%、1716.72%、2598.34%、2444.92%，变化幅度最大，表明对干旱胁迫较为敏感。而 ZXY2005P-1182、ZXY2005P-901、ZXY2005P-877、ZXY2005P-706 变化趋势较小，其变化率分别为 494.81%、552.50%、544.42%、544.42%，表明干旱胁迫对其影响较小。

2.6 干旱胁迫对丙二醛(MDA)的影响

干旱胁迫会导致自由基大量的产生，致使 MDA 生成，因此 MDA 含量不但标志膜脂过氧化程度，也间接反映组织中自由基的含量^[10]。从表 7 可见，随干旱胁迫的加强，整体上各材料 MDA 呈波动变化趋

势，但胁迫至 35 d 时，MDA 值达最大值，胁迫至 42d 时又呈下降趋势。ZXY2005P-1086、ZXY2005P-969、ZXY2005P-853、ZXY2005P-1160、ZXY2005P-1375 的变化率分别是 123.53%、162.89%、169.79%、137.66%、121.64%，表明植物对干旱较敏感。ZXY2005P-837、ZXY2005P-1473、ZXY2005P-706、ZXY2005P-877、ZXY2005P-1021、ZXY2005P-1296 变化率分别为 40.2%、53.44%、53.3%、57.74%、57.05%、50.86%，表明干旱胁迫对其 MDA 值影响相对较小。复水后各材料 MDA 值均有所下降，但均未恢复到胁迫前水平。

2.7 干旱胁迫对植株根冠比(RSR)和存活率(SR)的影响

当干旱胁迫至第 42 天时，19 份高燕麦草材料间的 RSR 和 SR 差异显著，其中 ZXY2005P-1362、ZXY2005P-1375、ZXY2005P-1514、ZXY2005P-969 的 RSR 与 SR 均较低，表现为较弱的抗旱性，而 ZXY2005P-619、ZXY2005P-1086、ZXY2005P-706、ZXY2005P-877 具有较高的 RSR 和 SR 值，抗旱性相对较强。但总体上讲，高燕麦草抗旱性较强，当土壤体积含水量降为 3%~5% 时，其 SR 均保持在 70% 以上。

表 6 持续干旱胁迫下 19 份高燕麦草种质材料 SSC 的变化(μg/g)

Table 6 The PRO of 19 germplasm and materials of *A. elatius* at different drought stress days

材料 Material	干旱胁迫天数 Drought stress days(d)							复水 Rewatering	变化率(%) Variational rate
	0	7	14	21	28	35	42		
ZXY2005P-619	111.88 de	115.10 hi	171.35 ef	212.85 g	262.56 h	313.20 ij	1330.69 e	91.32 bc	1089.39
ZXY2005P-706	110.00 de	142.06 de	167.71 fg	387.05 bc	414.45 def	568.14 ef	901.24 g	83.36 cde	719.31
ZXY2005P-837	134.19 b	164.44 b	264.00 b	245.91 f	324.29 g	1138.10 c	1721.87 d	79.03 def	1183.16
ZXY2005P-853	80.61 h	94.28 k	120.23 j	167.57 hi	208.54 j	369.20 hi	1119.64 f	68.37 ghi	1288.97
ZXY2005P-877	94.98 f	106.77 ij	139.12 i	161.25 hi	314.54 g	334.91 hij	612.07 i	71.94 fghi	544.42
ZXY2005P-901	70.11 ij	80.92 l	104.43 k	146.38 i	185.79 j	419.94 gh	457.46 j	65.21 hi	552.50
ZXY2005P-969	79.08 h	139.40 ef	346.93 a	569.01 a	600.91 a	1277.68 b	2720.11 b	78.22 def	3339.70
ZXY2005P-1021	87.77 g	114.76 hi	165.12 fg	222.58 g	383.69 f	601.83 e	1337.99 e	118.22 a	1424.42
ZXY2005P-1036	159.06 a	186.16 a	203.10 d	268.20 e	470.83 c	763.68 d	1170.07 f	94.94 b	635.62
ZXY2005P-1086	76.38 hi	96.57 jk	116.48 jk	179.09 i	204.35 j	468.65 fg	546.61 ij	52.84 j	615.64
ZXY2005P-1160	82.36 gh	158.08 bc	198.26 d	259.85 ef	548.24 b	633.34 e	1139.31 f	77.07 efg	1283.33
ZXY2005P-1182	59.81 kl	109.47 hi	121.45 j	146.35 i	218.50 ij	275.41 j	355.76 k	72.74 fghi	494.81
ZXY2005P-1296	88.83 fg	118.63 gh	164.83 fg	176.33 h	254.28 hi	504.65 fg	725.22 h	84.37 cde	716.42
ZXY2005P-1319	105.43 e	141.89 de	182.62 e	219.58 g	421.64 de	822.11 d	1778.74 d	67.23 hi	1587.13
ZXY2005P-1362	70.10 ij	150.38 cd	182.25 e	310.83 d	383.45 f	793.47 d	1783.99 d	85.5 cde	2444.92
ZXY2005P-1375	54.70 l	107.40 i	183.79 e	367.59 c	387.47 ef	1246.45 b	1765.65 d	73.38 fgh	3127.88
ZXY2005P-1426	116.68 cd	189.36 a	224.44 c	391.45 b	553.80 b	1787.79 a	3148.43 a	87.34 bcd	2598.34
ZXY2005P-1473	63.21 jk	128.29 g	149.55 hi	170.83 h	209.90 j	308.49 ij	608.38 i	63.63 i	862.47
ZXY2005P-1514	120.10 c	128.94 fg	157.43 gh	259.07 ef	434.46 cd	837.79 d	2181.88 c	87.58 bcd	1716.72

表 7 持续干旱胁迫下 19 份高燕麦草种质材料 MDA 的变化(μmol/g)

Table 7 The content of MDA of 19 germplasm and materials of *A. elatius* under different drought stress days

材料 Material	干旱胁迫天数 Drought stress days(d)							复水 Rewatering	变化率(%) Variational rate
	0	7	14	21	28	35	42		
ZXY2005P-619	5.51 i	8.62 j	7.46 i	8.55 jk	11.08 abcd	14.17 hij	11.61 fgh	9.67 gh	110.77
ZXY2005P-706	6.99 defg	8.49 jk	10.30 def	11.46 cd	8.04 gh	14.90 ghi	10.72 i	8.30 ij	53.30
ZXY2005P-837	8.40 a	9.71 gh	10.42 cde	11.61 cd	10.89 bed	22.08 a	11.78 fg	10.59 efg	40.20
ZXY2005P-853	5.06 i	10.27 efg	10.95 bc	9.85 gh	10.70 cdef	15.10 fg	13.65 c	11.37 cde	169.79
ZXY2005P-877	7.71 bc	13.57 a	10.24 def	9.14 ij	8.50 g	20.80 b	11.93 efg	10.03 fgh	54.74
ZXY2005P-901	6.62 fgh	9.48 hi	9.38 gh	12.55 b	11.67 ab	15.86 ef	14.24 bc	10.49 efg	115.17
ZXY2005P-969	5.53 i	8.93 ij	8.81 h	11.44 cd	11.26 abcd	16.47 e	14.54 b	11.23 cde	162.89
ZXY2005P-1021	7.48 cd	8.40 jk	9.52 g	9.75 ghi	9.83 f	14.11 ij	11.74 fg	10.69 ef	57.05
ZXY2005P-1036	6.68 efg	11.21 bc	7.68 i	10.24 fg	7.25 hi	13.84 jk	12.48 ef	11.08 cde	86.76
ZXY2005P-1086	5.24 i	7.94 k	10.83 cd	8.80 jk	7.72 ghi	14.38 ghij	11.71 fg	8.12 j	123.53
ZXY2005P-1160	6.25 h	9.50 hi	10.96 bc	9.23 hij	10.73 cde	15.22fg	14.85 b	10.01 fgh	137.66
ZXY2005P-1182	6.58 gh	11.09 bed	9.93 efg	8.41 k	7.09 i	14.86 ghi	11.11 ghi	9.25 hi	68.82
ZXY2005P-1296	8.39 a	8.87 ij	9.73 fg	10.20 fg	11.27 abcd	16.31 e	12.66 de	12.39 b	50.86
ZXY2005P-1319	8.15 ab	10.51 def	10.32 de	11.75 c	11.92 a	18.18 d	16.64 a	10.86 def	104.19
ZXY2005P-1362	7.15 cdef	11.69 b	7.67 i	10.60 ef	11.16 abcd	15.04 fgh	13.48 cd	11.85 bed	88.53
ZXY2005P-1375	7.23 cde	9.89 fgh	11.53 b	13.44 a	10.73 cde	17.66 d	16.02 a	12.03 bc	121.64
ZXY2005P-1426	6.46 gh	10.90 cde	12.99 a	12.51 b	11.53 abc	13.20 k	10.81 hi	11.35 cde	67.41
ZXY2005P-1473	7.64 bc	8.50 jk	10.26 def	9.09 ijk	9.92 ef	19.57 c	11.72 fg	9.67 gh	53.44
ZXY2005P-1514	8.15 ab	9.75 gh	10.45 cde	11.05 de	10.51 def	16.11 e	14.94 b	13.59 a	83.32

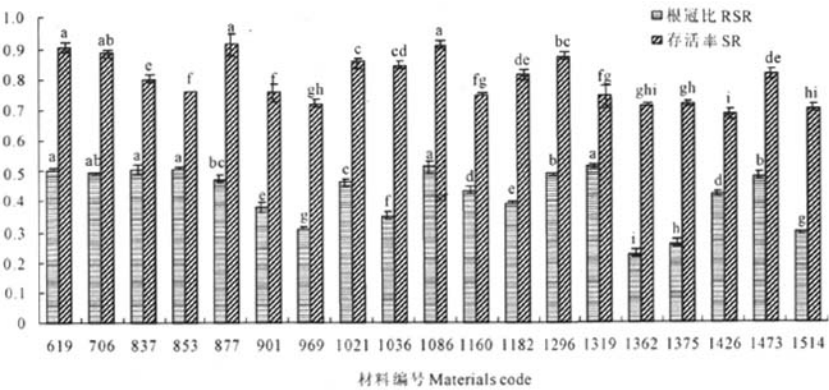


图 1 持续干旱胁迫至 42 d 时 19 份高燕麦草种质材料的 RSR 和 SR 比较

Fig.1 Comparison of RSR and SR of germplasm and materials at 42 d under drought stress

2.8 综合评价

2.8.1 抗旱性指标相关性分析 将 8 个测定指标进行相关性分析,除 RWC 与 Pro 呈显著负相关性外,其余指标之间没有显著相关性。因此为了更真

实地反映出不同高燕麦草种质材料的抗旱性能,故测定的 8 个指标均参与了数学聚类分析和综合评价。

表 8 不同指标之间的相关性分析

Table 8 Linear correlation among different indexes

项目 Item	相对电导率 REC	脯氨酸 Pro	丙二醛 MDA	超氧化物 歧化 SOD	相对含水量 RWC	可溶性糖 SSC	根冠比 RSR	存活率 SR
相对电导率 REC	1.000							
脯氨酸 Pro	0.077	1.000						
丙二醛 MDA	0.169	0.272	1.000					
超氧化物歧化酶 SOD	0.160	0.522	0.768	1.000				
相对含水量 RWC	-0.239	-0.889*	-0.295	-0.587	1.000			
可溶性糖 SSC	-0.174	0.699	0.026	-0.285	-0.707	1.000		
根冠比 RSR	-0.085	-0.400	-0.421	-0.487	0.624	-0.334	1.000	
存活率 SR	-0.029	-0.671	-0.614	-0.640	0.712	-0.446	0.612	1.000

注：* 表示在 0.05 水平显著相关。

Note: * means correlation is significant at 0.05 level(2-tailed).

2.8.2 聚类分析 采用离差平方和 - 平方欧式距离法进行聚类分析,对 8 个测定的指标进行综合抗旱性评价。当平方欧式距离达 64.329 时,可将 19 份高燕麦草种质划分为 3 个抗旱等级,其中抗旱性较强的包括 ZXY2005P - 1021、ZXY2005P - 619、ZXY2005P - 853、ZXY2005P - 1160、ZXY2005P - 1319、ZXY2005P - 901; 抗旱性中等的包括 ZXY2005P - 706、ZXY2005P - 1086、ZXY2005P - 1473、ZXY2005P - 1296、ZXY2005P - 1182、ZXY2005P - 1036、ZXY2005P - 877、ZXY2005P - 837; 相对早敏感的包括 ZXY2005P - 1514、ZXY2005P - 969、ZXY2005P - 1375、ZXY2005P - 1362、ZXY2005P - 1426。

3 讨论

植物在干旱胁迫条件下,根系向土壤深处延伸吸取水分维系生长^[11],根冠比比值越大,土壤水分利用率越高,其抗旱性越强^[12,13]。本试验对 19 份高燕麦草种质干旱胁迫 42 d 后根冠比和存活率研究表明,其结果与其生理指标测定结果基本一致。

本实验研究表明,在干旱胁迫下 19 份野生高燕麦草苗期叶片可溶性糖含量、相对电导率、脯氨酸含量、丙二醛含量与干旱胁迫压力呈正相关,而叶片相对含水量与干旱胁迫压力呈负相关。这与刘永财对 14 份新麦草苗期抗旱性研究结果一致^[14]。

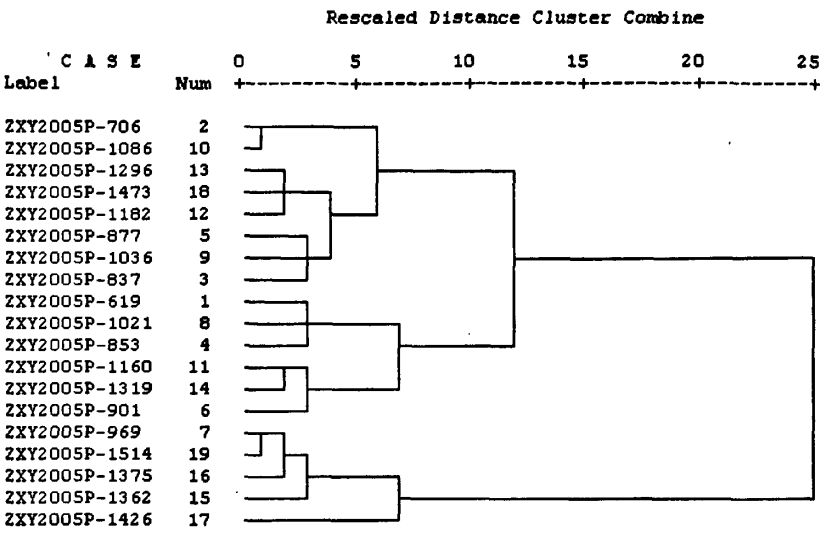


图 2 19 份高燕麦草种质材料抗旱性聚类图

Fig.2 Graph of cluster analysis for 19 germplasm and materials of *A. elatius*

脯氨酸是植物在水分胁迫下进行渗透调节的重要物质^[15],由于其有较好的水合作用,溶解度比其它常见氨基酸都大,从而提高了原生质水溶液的渗透压,防止水分散失,对原生质起到保护作用,将其作为抗旱鉴定的一种指标已经被多数学者接受,其含量变化与植物抗旱能力呈负相关^[16]。本实验结果表明干旱胁迫 0~28 d 时,各材料 Pro 含量变化平缓,到第 35 天时差异显著,胁迫 42d 时,增至最大。结合聚类分析结果可以得出,高燕麦草随干旱胁迫加剧,叶片 Pro 含量与抗旱性强弱呈反比,此结果与在马蔺 (*Iris lactea* var. *chinensis*)^[17]、苜蓿 (*Medicago sativa*)^[18] 和羊茅属 (*Festuca*)^[19] 植物的研究结果一致。

在一定范围内,所有植物 SOD 活性都随干旱胁迫压力增大而增加,呈先升后降再升的趋势,并在胁迫最强时,达到最高值。植物在轻度干旱胁迫下,SOD 含量缓慢上升,当植物适应时,有一定的平稳或者下降时期,但随着干旱胁迫加剧,植物产生的自由基过多,诱导了 SOD 的产生。本实验研究表明,SOD 含量变化幅度较大的材料较敏感,变化幅度较小者,抗旱性较强。于同泉等^[20]在研究小麦 SOD、MDA 动态变化与抗旱性的关系中发现:同一水分亏缺胁迫条件下,抗旱品种氧自由基积累水平低,SOD 活性维持较低水平。这与本试验研究结果一致。

MDA 含量高低是反映细胞质过氧化作用强弱和质膜破坏程度的重要指标^[21]。本试验中,19 份高燕麦草种质材料随干旱胁迫压力增大,其 MDA 含量

处于波动状态,表明不同材料在逆境时恢复与补偿能力不同,导致所受伤害水平不同。试验中持续干旱胁迫到第 35 天时各材料 MDA 含量达到最高值,而胁迫到第 42 天时,含量却有所下降,其机制在于胁迫到第 42 天时 SOD 含量达到最高值,SOD 与 POD 等酶通过协同作用来防御活性氧自由基对细胞膜系统的伤害作用^[22]。

4 结 论

1) 当持续干旱胁迫下,土壤体积含水量达到 3%~5% 时,参试种质材料的叶片虽出现一定的萎蔫和卷曲等现象,但依旧能维持相对平稳的态势。其中 ZXY2005P-706、ZXY2005P-1086、ZXY2005P-1036、ZXY2005P-877 均保持 90% 的存活率,可见,高燕麦草是抗旱性相对较强的植物。

2) 随干旱胁迫时间的延长,19 个高燕麦草种质材料的 SSC、Pro、REC 均呈上升趋势,RWC 呈下降趋势,SOD 曲折上升;MDA 含量于持续干旱胁迫到第 35 天时达到最高值,而胁迫到第 42 天时,含量却有所下降,同时第 42 天时 SOD 达到最大值,表明高燕麦草在一定的干旱胁迫下,SOD 的提高防御了活性氧自由基对细胞膜系统的伤害。

3) 在干旱胁迫压力下,植物叶片 RWC、REC、SSC、Pro、SOD、MDA、SR、RSR,除 RWC 与 Pro 呈显著负相关外,其余指标之间均没有显著相关性,说明各指标间相互作用,互相影响,共同调节植物抵御持续抗旱的胁迫。

4) 对 19 份高燕麦草种质进行苗期抗旱性综合评价, 数学聚类分析划分为 3 个抗旱等级, 其中抗旱性较强的包括 ZXY2005P - 1021、ZXY2005P - 619、ZXY2005P - 853、ZXY2005P - 1160、ZXY2005P - 1319、ZXY2005P - 901; 抗旱性中等的包括 ZXY2005P - 706、ZXY2005P - 1086、ZXY2005P - 1473、ZXY2005P - 1296、ZXY2005P - 1182、ZXY2005P - 1036、ZXY2005P - 877、ZXY2005P - 837; 相对早敏感的包括 ZXY2005P - 1514、ZXY2005P - 969、ZXY2005P - 1375、ZXY2005P - 1362、ZXY2005P - 1426。

参考文献:

- [1] 陈默君, 贾慎修. 中国饲用植物[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 32—33.
- [2] 陈宝书, 张景雨, 丁升. 高燕麦草生育特性和生物量的研究[J]. 青海草业, 1995, 4(1): 1—12.
- [3] 阳曦, 张新全. 高燕麦草苗期耐盐性鉴定及综合评价[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(23): 6105—6108.
- [4] 邹琦. 植物生理实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [5] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [6] 柴守玺, 王自忠. 与小麦抗旱性筛选相关的几个水分指标[J]. 甘肃农业科技, 1990, (5): 12—13.
- [7] 李造哲. 10 种苜蓿品种幼苗抗旱性的研究[J]. 中国草地, 1991, (3): 1—3.
- [8] 彭立新, 李德全, 束怀瑞. 植物在渗透胁迫下的渗透调节作用[J]. 天津农业科学, 2002, 8(1): 40—43.
- [9] Abed Shalata, Peter M Neumann. Exogenous ascorbic acid (vitamin C) increases resistance to salt stress and reduces lipid peroxidation[J]. J Exp Bot, 2001, 52: 2207—2211.
- [10] 刘二明, 朱有勇, 肖放华, 等. 水稻品种多样性混栽持续控制稻瘟病研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(2): 164—168.
- [11] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 291.
- [12] 柴丽娜. 干旱胁迫冬小麦幼苗根冠比的动态变化与品种抗旱性关系的研究[J]. 北京农学院学报, 1996, 11(2): 19—23.
- [13] 徐炳成, 山仑, 黄瑾, 等. 柳枝稷和白羊草苗期水分利用与根冠比的比较[J]. 草业学报, 2003, 12(4): 73—77.
- [14] 刘永财, 孟林, 毛培春, 等. 14 份新麦草种质材料苗期抗旱性差异[J]. 中国草地学报, 2009, 31(2): 64—69.
- [15] 康俊梅, 樊奋成, 杨青川. 41 份紫花苜蓿抗旱鉴定试验研究[J]. 草地学报, 2004, 12(1): 21—23.
- [16] 谷艳蓉, 张国芳, 孟林. 4 种牧草幼苗对水分胁迫的响应及其抗旱性[J]. 四川草原, 2005, (4): 4—7.
- [17] 孟林, 毛培春, 张国芳. 不同居群马蔺抗旱性评价及生理指标变化分析[J]. 草业科学, 2009, 18(5): 18—24.
- [18] 云岚, 米福贵, 云锦凤. 六个苜蓿品种幼苗对水分胁迫的响应及其抗旱性[J]. 中国草地, 2004, 26(2): 15—20.
- [19] 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]. 中国草地学报, 2009, 17(2): 208—212.
- [20] 于同泉, 刘宗桦, 路萍, 等. 水分胁迫小麦 SOD、MDA 动态变化与抗旱性的关系[J]. 北京农学院学报, 1995, 10(1): 22—25.
- [21] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1992: 207—208.
- [22] 朱俊刚, 王曙光, 李晓燕, 等. PEG 胁迫对六倍体小黑麦幼苗 SOD、POD 活性及 MDA 含量的影响[J]. 2009, 25(18): 202—204.

(英文摘要下转第 34 页)

Effect of different plastic – film mulching in the whole growth period on soil moisture and water use efficiency of winter wheat

YANG Hai-di¹, HAI Jiang-bo¹, JIA Zhi-kuan^{1,2}, HAN Qing-fang^{1,2}, ZHANG Bao-jun¹, REN Shi-chun²

(1. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Research Center of Agriculture in the Arid and Semiarid Areas, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: With the purpose of investigating the dynamic effects of different kinds of plastic-film mulching on soil moisture and water use efficiency of winter wheat, plastic film, biodegradable film and liquid film were selected to conduct a locating experiment of rainfall harvesting in the whole growth period in Weibei dryland of Shaanxi. The results indicated that plastic-film mulching can increase the soil moisture, crop yield and water use efficiency, and it can also improve soil water storage. Treated with plastic film and biodegradable film covering, the moisture storage of 0 ~ 200 cm soil increased during full period of experiment, which showed a significant difference ($P < 0.05$) compared with the liquid film covering treatment and no covering treatment (CK); treated with plastic film and biodegradable film covering can observably increase the soil moisture, but the effect of liquid film is instable; besides, treated with plastic film and biodegradable film covering, the crop yield of winter wheat increased respectively by 38.01% and 36.28%, and meanwhile, the water use efficiency increased by 19.85% and 16.85% ($P < 0.05$). Therefore, plastic film utilization can improve crop yield and increase water storage.

Keywords: dryland; plastic-film; mulching; winter wheat; crop yield; water use efficiency

(上接第 14 页)

Assessment of drought resistance for 19 germplasm and materials of *Arrhenatherum elatius* at the seedling stage

YANG Hong-xin^{1,2}, MAO Pei-chun², MENG Lin², HU Tian-ming¹, GAO Hong-wen³

(1. College of Animal Science and Technology, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Beijing Research and Development Center for Grasses and Environment, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 3. Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: With the method of simulating drought stress-water recovery in greenhouse, 8 drought resistant indexes, including the leaf relative water content(RWC), relative electrical conductivity(REC), free proline accumulation (Pro), soluble sugar content (SSC), superoxide dismutase(SOD), malondialdehyde (MDA), survival rate (SR), root-shoot ratio (RSR) on the 0 d(CK), 7th d, 14th d, 28th d, 35th d and 42th d under water stress and the 7th d after rewatering, respectively, of 19 *Arrhenatherum elatius* germplasm and materials at the seedling stage were measured and analyzed in order to assess comprehensively the drought resistance. The values of the eight indexes which has been treated under the condition of 42 d of resistant drought stress, which has been analyzed by the Ward's method and Squared Euclidean distance cluster analysis, the results showed that three drought resistant classes including the higher drought resistance (including the germplasm of ZXY2005P – 1021, ZXY2005P – 619, ZXY2005P – 853, ZXY2005P – 1160, ZXY2005P – 1319, ZXY2005P – 901), the medium drought resistance (including ZXY2005P – 706, ZXY2005P – 1086, ZXY2005P – 1473, ZXY2005P – 1296, ZXY2005P – 1182, ZXY2005P – 1036, ZXY2005P – 877, ZXY2005P – 837) and the weaker drought resistance (ZXY2005P – 1514, ZXY2005P – 969, ZXY2005P – 1375, ZXY2005P – 1362, ZXY2005P – 1426) were classified. And the leaf RWC of 19 germplasm decreased, the SSC, Pro and REC increased but the SOD and MDA increased with volatility while the drought stress days were increased. Seven days after rewatering, the RWC and Pro were restored to pristine level, but the SOD and MDA were not restored to the level before stress were exerted although they declined in varying degrees.

Keywords: *Arrhenatherum elatius* (L.) J. et C. Pressl; seedling stage; drought resistance; assessment