

吕玉茹,李造哲,马青枝,等. 披碱草和野大麦及其杂交新品系苗期抗旱性[J]. 江苏农业科学,2021,49(7):160-164.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.07.028

披碱草和野大麦及其杂交新品系苗期抗旱性

吕玉茹¹, 李造哲^{1,2}, 马青枝³, 李月强⁴

(1. 内蒙古农业大学草原与资源环境学院, 内蒙古呼和浩特 010011; 2. 内蒙古农业大学牧草种质创新与育种研究所, 内蒙古呼和浩特 010011;

3. 内蒙古农业大学乡村振兴研究院, 内蒙古呼和浩特 010011; 4. 内蒙古达茂旗林业和草原局, 内蒙古达茂旗 014500)

摘要:以披碱草(*Elymus dahuricus* Turcz.)和野大麦[*Hordeum brevisubulatum* (Trin.) Link]及其杂交新品系 Y₃₃和 P₁₃为试验材料,用水培法模拟干旱条件,通过测定生理指标,综合评价 4 种材料的抗旱性。结果表明,随着 PEG 浓度的增大,丙二醛含量、细胞膜相对透性、游离脯氨酸含量呈增加趋势,而相对含水量、叶绿素含量呈下降趋势。打分法和隶属度函数的综合评价结果一致,各材料的抗旱能力为披碱草 > P₁₃ > Y₃₃ > 野大麦。5 个生理指标的关联度值均较高且相差不大,都可以作为评价披碱草和野大麦及其杂交新品系抗旱能力的指标。

关键词:披碱草;野大麦;杂交新品系;抗旱性;苗期

中图分类号:S543.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)07-0160-05

我国有 42% 的土地为干旱、半干旱区,主要分布在我国西部(干旱、半干旱区的面积约占该地区土地面积的 83%),该地区降水量少,空气干燥,地表蒸发量大^[1-2]。内蒙古的干旱气候已严重影响到牧草的生长,水资源的缺乏会使牧草的产量和品质下降,阻碍我国西北地区畜牧业的发展^[3]。种植和选育优质抗旱的牧草不仅有利于我国干旱地区草

产业的发展,对西北地区生态环境的改善和草地植被的恢复也具有重要意义^[4]。水分可以维持植物正常的生命活动,当植物受到干旱胁迫时,体内细胞和生理生化代谢等都会发生变化以适应干旱条件^[5],所以研究干旱胁迫对植物生理特性的响应可以更好地理解植物抗旱机理。披碱草(*Elymus dahuricus* Turcz.)和野大麦[*Hordeum brevisubulatum* (Trin.) Link]是 2 种具有重要经济价值和生态价值的小麦族多年生抗逆性较强的优良牧草。披碱草具有抗旱、耐瘠薄、产草量高等特性,野大麦具有分蘖能力强、耐盐碱、草质好等特性。王照兰等将披碱草和野大麦远缘杂交,获得了高度不育的披碱草

收稿日期:2020-07-24

基金项目:内蒙古农业大学牧草育种专项(编号:YZGC2017015)。

作者简介:吕玉茹(1995—),女,内蒙古呼和浩特人,硕士研究生,从事牧草种质资源与育种研究。E-mail:yurulv@163.com。

通信作者:李造哲,博士,教授,从事牧草种质资源与育种研究。E-mail:zaozheli@hotmail.com。

变化[J]. 应用昆虫学报,2015,52(2):470-476.

[7]黄颖宏,鄯红丽,王鹏凯,等. 杨梅大棚设施栽培研究[J]. 安徽农业科学,2017,45(19):23-24.

[8]张林,孙钧. 浙江省杨梅避雨栽培发展现状、问题及对策[J]. 浙江柑橘,2016,33(3):40-41.

[9]颜丽菊,任海英,戚行江,等. 防虫帐防控杨梅果蝇及改善果实品质的研究[J]. 浙江农业学报,2014,26(2):398-402.

[10]李晓旭,李家政. 优化蒽酮比色法测定甜玉米中可溶性糖的含量[J]. 保鲜与加工,2013,13(4):24-27.

[11]李润丰,赵希艳,高亚弟. 2,6-二氯靛酚反滴定法测定红色果蔬中还原型 VC[J]. 营养学报,2012,34(5):507-509.

[12]郑丽静,聂继云,李明强,等. 苹果风味评价指标的筛选研究[J]. 中国农业科学,2015,48(14):2796-2805.

[13]李文生,杨媛,石磊,等. 水果中蔗糖、还原糖、可溶性糖与甜度相关性的研究[J]. 北方园艺,2012,36(1):58-60.

[14]陈素英,张喜英,刘孟雨. 玉米秸秆覆盖麦田下的土壤温度和土

壤水分动态规律[J]. 中国农业气象,2002,23(4):34-37.

[15]夏自强,蒋洪庚,李琼芳,等. 地膜覆盖对土壤温度、水分的影响及节水效益[J]. 河海大学学报(自然科学版),1997,25(2):39-45.

[16]潘青青. 设施延迟栽培对杨梅果实品质及内源激素含量的影响研究[D]. 杭州:浙江农林大学,2018.

[17]黄茜斌,杨桂玲,刘高平,等. 东魁杨梅罗幔(网室)避雨栽培的研究与应用[J]. 浙江农业科学,2018,59(9):1687-1693.

[18]柴春燕,周和锋,徐绍清,等. 不同避雨栽培措施对杨梅果实采收量的影响[J]. 浙江林业科技,2010,30(4):83-85.

[19]黄海静,符国槐,杨再强,等. 设施栽培对杨梅生长发育和品质的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2012,36(6):47-52.

[20]李莉,李佳,高青,等. 昼夜温差对番茄生长发育、产量及果实品质的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(9):2700-2706.

和野大麦的正交、反交 F_1 代^[6]。李造哲等用回交法克服了杂种 F_1 代的不育性,成功获得(披碱草×野大麦)×野大麦和(野大麦×披碱草)×野大麦的回交 1 代;之后该团队成员对杂种 BC1 的不同株系苗期的抗旱性及耐盐性作了研究^[7]。

本研究测定了干旱胁迫下披碱草和野大麦及其杂交新品系苗期的丙二醛(MDA)含量、组织相对含水量(RWC)、游离脯氨酸(Pro)含量、叶绿素(Chl)含量、细胞膜透性等生理指标,明晰 2 个杂交新品系与亲本生理指标的变化规律并综合评价其抗旱能力的强弱,为培育牧草抗旱新品种提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料来自内蒙古农业大学海流图科技园区试验基地 2017 年收获的种子,详见表 1。海流图地处内蒙古呼和浩特西约 40 km(40°38'N、111°28'E)。土地以沙壤和轻壤为主,有机质含量较低,平均含氮量为 0.228 g/kg,全盐量为 0.27 g/kg,pH 值在 8.4~10.2 之间,存在一定的盐碱化。

表 1 供试材料

序号	材料名称
1	野大麦(<i>H. brevisubulatum</i>)
2	披碱草(<i>E. dahuricus</i>)
3	P ₁₃
4	Y ₃₃

注:P₁₃是(披碱草×野大麦)×野大麦回交选育的新品系,Y₃₃是(野大麦×披碱草)×野大麦回交选的新品系。

1.2 试验方法

1.2.1 幼苗培育 试验材料采用水培法。选择健康均匀的种子置于培养皿(直径 $\Phi=12$ cm)并在 25℃ 的培养箱中萌发,种子的根长到 3 cm 左右将幼苗移栽到带孔的泡沫板上并使其浮在培养盆(盆高 9 cm、口径 22 cm、底径 16 cm)上部,用 pH 值为 6.7 的 Hoagland 营养液培养,每隔 3 d 更换营养液。每天早晚用气泵通气,直到试验结束。每盆定苗 30 株,每种材料 5 盆,置于温度为 25℃、湿度为 60%、光照度为 12 000 lx、光照和黑暗时间各为 12 h 的培养室培养。

1.2.2 胁迫处理 胁迫处理参照于卓等的方法^[8],稍作改进。待植株长到 4~5 叶龄时,用 0%、10%、20%、30% PEG 溶液连续处理和测定指标。

每隔 2 d 增加 1 个浓度,在处理 0、3、6、9 d 测定植株幼苗叶片生理指标,并在 0、3、6 d 20:00 分别更换 10%、20%、30% PEG 溶液。试验选择在 08:00 取样,各材料各生理指标的取样部位同为植株上部的叶片。

1.2.3 指标及测定方法 用硫代巴比妥酸法^[9]测定丙二醛含量,饱和称质量法^[9]测定相对含水量,磺基水杨酸法^[10]测定游离脯氨酸含量,乙醇提取法^[9]测定叶绿素含量,以上指标重复 3 次。电解质外渗量法^[10]测定细胞膜相对透性,重复 6 次。各指标的变化率=(30% PEG 下的指标测定值-CK 下的指标测定值)/CK 下的指标测定值。

1.3 数据统计及分析

采用 SAS 9.0 的 ANOVA 程序进行差异显著性分析;Microsoft Excel 2019 进行数据统计分析及隶属函数分析;DPS 进行灰色关联分析。

1.3.1 打分法 依据各供试材料各指标的变化率数值进行评分。将每种指标最小与最大变化率的差值分 5 个等级,胁迫伤害症状最严重的材料得分最低,记为 1 分,反之记为 5 分。1 个等级计为 1 分,最后把各个指标的得分累加,总分由高到低排列即各供试材料的抗旱顺序^[11]。

1.3.2 隶属函数法 利用隶属函数法表示各供试材料的综合抗旱能力。用下列公式分别计算各指标在 30% PEG 浓度处理下的隶属函数值^[12]。

$$U(X_{ij}) = \frac{X_{ij} - X_{\min j}}{X_{\max j} - X_{\min j}}; \tag{1}$$

$$U(X_{ij}) = 1 - \frac{X_{ij} - X_{\min j}}{X_{\max j} - X_{\min j}}。 \tag{2}$$

式中: $U(X_{ij})$ 为第 i 个材料第 j 个指标的隶属函数值, X_{ij} 为第 i 个材料第 j 个指标的测定值, $X_{\max j}$ 和 $X_{\min j}$ 分别为第 j 个指标的最大和最小测定值,指标与抗旱性成正相关用式(1)计算隶属函数值,反之用式(2)。

1.3.3 灰色关联度分析法 灰色关联分析法表示各指标对胁迫的敏感程度^[13]。将 4 种材料的隶属函数综合评价值和 5 个测定指标看作一个灰色系统,隶属函数综合评价值作为参考数列,5 个指标的测定值作为比较数列。数据进行无量纲化处理后,计算各指标与抗旱隶属函数综合评价值的关联度,按数值大小排序。

$$\Psi_i(k) = \frac{\min_i [\min_k |x_0(k) - x_i(k)|] + \rho \max_i [\max_k |x_0(k) - x_i(k)|]}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i [\max_k |x_0(k) - x_i(k)|]}; \tag{3}$$

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Psi_i(k)。$$
 (4)

式中： $\Psi_i(k)$ 为 x_0 和 x_i 关联系数； $|x_0(k) - x_i(k)| = \Delta_i(k)$ 为数列 x_0 与数列 x_i 在 k 点的绝对差， $\min[\min_k |x_0(k) - x_i(k)|]$ 为最小差值， $\max[\max_k |x_0(k) - x_i(k)|]$ 为最大差值； ρ 表示分辨系数，取值在0~1之间，一般取0.5认为分辨率较好； r_i 为关联度。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对丙二醛含量的影响

干旱胁迫下,各材料MDA含量随PEG浓度的增加均呈上升趋势,MDA含量越高,对细胞膜损伤程度越严重。野大麦MDA含量的变化幅度明显比其他材料高,说明细胞膜的受损程度最为严重(表

2)。依据4种材料细胞膜损伤的程度打分排序为 $Y_{33} = P_{13} =$ 披碱草>野大麦。

2.2 干旱胁迫对相对含水量的影响

各材料RWC的变化幅度均呈下降趋势(表3),随着胁迫浓度的增加,每种材料的保水能力越来越弱。披碱草RWC下降的幅度最小,其保水能力最强。4种材料保水能力的强弱关系为披碱草> P_{13} >野大麦= Y_{33} 。

2.3 干旱胁迫对细胞膜相对透性的影响

各材料细胞膜相对透性随PEG浓度的增加均呈上升趋势(表4),植物细胞膜受损的严重性随PEG浓度的增大而增加。野大麦膜透性变化幅度最大,说明其细胞膜损伤最严重。4种材料的受害程度依次为野大麦> $Y_{33} = P_{13} =$ 披碱草。

表 2 干旱胁迫下幼苗丙二醛含量的变化

材料名称	各 PEG 胁迫浓度下的丙二醛含量(μmol/g)				变化率 (%)	得分
	CK	10%	20%	30%		
野大麦	10.08 ± 0.26a	13.62 ± 0.10b	26.09 ± 0.81b	40.91 ± 0.26a	305.85	1
披碱草	12.98 ± 1.32a	16.21 ± 1.25a	19.72 ± 1.02c	37.10 ± 0.26b	185.82	5
P ₁₃	11.95 ± 0.87a	14.57 ± 0.90ba	18.41 ± 0.52c	35.48 ± 0.33c	196.90	5
Y ₃₃	12.27 ± 2.17a	14.57 ± 0.40ba	28.28 ± 0.53a	34.99 ± 0.03c	185.17	5

注:同列数据后不同小写字母表示材料间差异显著(P<0.05)。下同。

表 3 干旱胁迫下幼苗组织相对含水量的变化

材料名称	各 PEG 胁迫浓度下的相对含水量(%)				变化率 (%)	得分
	CK	10%	20%	30%		
野大麦	95.07 ± 0.14c	92.35 ± 0.72a	85.72 ± 0.42b	70.14 ± 1.14c	-26.22	1
披碱草	95.60 ± 0.53bc	92.41 ± 0.74a	86.03 ± 0.13b	76.37 ± 0.76a	-20.12	5
P ₁₃	96.27 ± 0.40ba	93.04 ± 0.28a	87.16 ± 0.26a	72.51 ± 0.53b	-24.68	2
Y ₃₃	96.68 ± 0.37a	93.20 ± 0.33a	87.38 ± 0.26a	71.23 ± 0.81cb	-26.32	1

表 4 干旱胁迫下幼苗细胞膜相对透性的变化

材料名称	各 PEG 胁迫浓度下的细胞膜相对透性(%)				变化率 (%)	得分
	CK	10%	20%	30%		
野大麦	15.82 ± 0.36a	36.31 ± 0.28a	44.60 ± 3.14a	59.63 ± 0.57a	276.93	1
披碱草	14.96 ± 0.22b	34.55 ± 0.41ba	40.51 ± 0.59b	44.83 ± 0.17d	199.67	5
P ₁₃	15.69 ± 0.34a	35.94 ± 1.31ba	39.19 ± 0.30b	46.93 ± 1.02c	199.11	5
Y ₃₃	16.02 ± 0.22a	34.24 ± 0.41b	38.73 ± 0.59b	49.35 ± 0.17b	208.05	5

2.4 干旱胁迫对游离脯氨酸含量的影响

植物受到干旱胁迫时,体内会积累Pro去抵抗逆境。随着PEG浓度的增加,每种材料均呈上升趋势(表5)。

披碱草累积的Pro含量最多,说明其抵抗能力最强;Y₃₃最少,抵抗能力最差。各材料抵抗逆境能力的强弱顺序为披碱草>野大麦> P_{13} >Y₃₃。

表 5 干旱胁迫下幼苗游离脯氨酸含量的变化

材料名称	各 PEG 胁迫浓度下的游离脯氨酸含量(μg/g)				变化率(%)	得分
	CK	10%	20%	30%		
野大麦	7.01 ± 0.72b	18.53 ± 0.66b	28.60 ± 0.48c	49.18 ± 0.82cb	601.57	4
披碱草	7.79 ± 0.29ba	21.93 ± 0.47a	37.50 ± 0.12a	59.14 ± 3.78a	659.18	5
P ₁₃	8.29 ± 0.16a	21.38 ± 0.32a	30.74 ± 0.37cb	52.92 ± 0.15b	538.36	2
Y ₃₃	8.03 ± 0.07a	20.93 ± 1.23a	31.63 ± 2.43b	46.18 ± 0.81c	475.09	1

2.5 干旱胁迫对叶绿素含量的影响

各材料 Chl 含量随 PEG 浓度的增加均明显降低(表 6),植物对 PEG 胁迫的抵抗能力越来越弱。野大麦 Chl 含量的变化幅度最大,表明抵抗逆境的能力最弱;P₁₃的变化幅度最小,抵御能力最强。4 种材料抵抗 PEG 胁迫的能力依次为 P₁₃ > Y₃₃ > 披碱

草 > 野大麦。

2.6 抗旱性综合评价

2.6.1 打分法抗旱性综合评价 打分后的各个指标进行累加得出总分值,结果见表 7。总分值越高,植物的抗旱性越强,则 4 种材料的抗旱顺序为披碱草 > P₁₃ > Y₃₃ > 野大麦。

表 6 干旱胁迫下幼苗叶绿素含量的变化

材料名称	各 PEG 胁迫浓度下的叶绿素含量(mg/g)				变化率(%)	得分
	CK	10%	20%	30%		
野大麦	4.21 ± 0.37a	3.79 ± 0.08b	3.15 ± 0.10cb	2.32 ± 0.10c	-44.89	1
披碱草	3.99 ± 0.04a	3.48 ± 0.02c	3.04 ± 0.08c	2.82 ± 0.17b	-29.32	3
P ₁₃	4.63 ± 0.20a	4.25 ± 0.09a	4.08 ± 0.14a	3.76 ± 0.23a	-18.79	5
Y ₃₃	4.27 ± 0.31a	3.77 ± 0.07b	3.35 ± 0.16b	3.19 ± 0.17b	-25.29	4

表 7 打分法评价结果

材料名称	得分					
	丙二醛含量	相对含水量	细胞膜透性	脯氨酸含量	叶绿素含量	总分
野大麦	1	1	1	4	1	8
披碱草	5	5	5	5	3	23
P ₁₃	5	2	5	2	5	19
Y ₃₃	5	1	5	1	4	16

2.6.2 隶属函数法抗旱性综合评价 隶属函数评价法的抗旱综合结果取各材料 5 个指标隶属度的平均值,结果见表 8。综合结果数值越大,植物抗旱能力越强,则 4 种材料的抗旱顺序为披碱草 > P₁₃ > Y₃₃ > 野大麦。

表 8 隶属函数法评价结果

材料名称	隶属度					
	丙二醛含量	相对含水量	细胞膜透性	脯氨酸含量	叶绿素含量	综合结果
野大麦	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.05
披碱草	1.00	1.00	1.00	1.00	0.34	0.87
P ₁₃	0.64	0.38	0.86	0.52	1.00	0.68
Y ₃₃	0.75	0.18	0.69	0.00	0.60	0.45

2.7 灰色关联度分析

关联度值可反映指标对胁迫的敏感程度。数

值越大,指标与胁迫关联度越高,反之越低。5 个生理指标的关联度均较高且相差不大,都可以作为抗旱胁迫的鉴定指标(表 9)。4 种材料各项生理指标与抗旱性的关联顺序为游离脯氨酸含量 > 相对含水量 > 丙二醛含量 > 叶绿素含量 > 细胞膜相对透性。

表 9 各指标灰色关联度值

项目	关联度	关联顺序
丙二醛含量	0.582 1	3
相对含水量	0.584 9	2
细胞膜相对透性	0.580 9	5
游离脯氨酸含量	0.585 0	1
叶绿素含量	0.581 1	4

3 讨论

干旱胁迫下,RWC 能作为评价植物保水性能的指标之一^[14]。在同等胁迫条件下,抗旱性强的植物,其叶片 RWC 下降缓慢,受胁迫影响的程度较小,水分亏缺程度较轻。本研究结果显示,植物叶片的 RWC 与抗旱性呈正相关。披碱草 RWC 下降的幅度较缓慢,受胁迫影响的程度较其他材料小,表明抗旱性较强,野大麦叶片受胁迫影响的程度最大,抗旱能力最弱。这与樊海燕等的研究结果^[15]一致。

干旱胁迫条件会使植物细胞膜受损,膜选择透

性功能下降,细胞外渗液增加,表现为电导率(REC)增大^[16]。膜脂过氧化物产物MDA可导致细胞膜结构受损,在逆境胁迫下能反映植物的受害程度^[17]。通常认为,MDA含量越高,植物受害越严重,抗旱能力越差^[18]。在持续干旱胁迫下,REC会逐渐上升,抗旱性强的植物电导率增加的幅度较小。本研究中,随着胁迫浓度的增加,野大麦MDA含量和REC的上升幅度显著高于其他材料,受损程度最严重,说明抗旱性最差。4种材料的MDA含量与REC变化趋势同步且都与植物的抗旱性呈负相关,这一结果与Abrahama等的研究结果^[19]相同,抗旱性强的植物能维持较低的REC和MDA含量。

干旱胁迫下叶绿素含量的降低,可能是因为植物体内活性氧的累积引起膜脂过氧化,从而加速了叶绿素的分解,或是叶绿素的生物合成减弱^[20],但其具体的干旱胁迫机制还有待进一步研究。因此,叶绿素含量能够反映植物受干旱胁迫的影响程度^[21]。结果显示,野大麦的叶绿素含量随干旱胁迫浓度的增加明显降低,说明野大麦受胁迫影响的程度较大,抗旱能力较弱。李京蓉等也提出抗旱性强的品种有较高的叶绿素含量^[22]。

Pro含量的变化可反映植物受逆境影响的耐受能力。干旱条件下,植物Pro含量的增加会维持原生质与环境的渗透平衡,能够作为判断植物抵抗干旱能力的一项生理指标^[23]。本研究结果表明,Pro含量与植物抗旱性呈正相关,披碱草受干旱胁迫后Pro含量显著升高,说明干旱对它的危害程度较小,抗旱能力较强。这与郭郁频等提出的在逆境条件下Pro含量升高对植物有益的结论^[24]一致。

4 结论

随着干旱胁迫强度的增大,丙二醛含量、细胞膜相对透性、游离脯氨酸含量呈增加趋势,而相对含水量、叶绿素含量呈下降趋势。打分法和隶属度函数的综合评价结果一致,各材料的抗旱能力为披碱草>P₁₃>Y₃₃>野大麦。5个生理指标的关联度均较高且相差不大,都可以作为评价披碱草和野大麦及其杂交新品系抗旱能力的指标。

参考文献:

- [1]余优森.我国西部的干旱气候与农业对策[J].干旱地区农业研究,1992,10(1):1-8.
- [2]王汉杰,任荣荣.我国干旱半干旱地区的退耕还林还草与高效生态农业建设[J].林业科技开发,2001,15(1):7-9.

- [3]李智念,王光明,曾之文.植物干旱胁迫中的ABA研究[J].干旱地区农业研究,2003,21(2):99-104.
- [4]程波,胡生荣,高永,等.PEG模拟干旱胁迫下5种紫花苜蓿萌发期抗旱性的评估[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2019,47(1):53-59.
- [5]杨满业,肖冰雪,郑群英,等.川西北高原5种牧草苗期抗旱性比较研究[J].草业与畜牧,2015(6):8-14,19.
- [6]王照兰.披碱草与野大麦的属间杂交及F₁代细胞学分析[J].草地学报,1997,5(4):281.
- [7]李造哲,云锦凤,于卓,等.披碱草和野大麦杂种F₁与BC₁代的形态学研究[J].中国草地,2002,24(5):24-28.
- [8]于卓,曹自成.五种披碱草幼苗抗旱性的研究[J].中国草地,1989(2):13-16.
- [9]高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [10]王学奎.植物生理生化实验原理和技术[M].2版.北京:高等教育出版社,2006.
- [11]赵欣欣,于运国,姜江,等.不同玉米杂交种抗旱性比较与评价[J].吉林农业大学学报,2003,25(1):4-7.
- [12]杜栋,庞庆华.现代综合评价方法与案例精选[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [13]唐启义,冯明光.实用统计分析及计算机处理平台[M].北京:中国农业出版社,1997:46-70.
- [14]闫天芳,苗彦军,王向涛,等.干旱胁迫对西藏4份野生披碱草属牧草幼苗生理指标的影响[J].草地学报,2017,25(6):1333-1339.
- [15]樊海燕,李造哲,马青枝,等.披碱草与野大麦杂种BC₁F₃代苗期抗旱性研究[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2012,33(1):77-83.
- [16]万里强,石永红,李向林,等.PEG胁迫下3个多年生黑麦草品种抗旱性生理研究[J].草地学报,2009,17(4):440-444.
- [17]朱永群,彭丹丹,彭燕,等.苏丹草及高丹草幼苗对干旱胁迫的生理响应与抗旱性比较[J].草业科学,2019,36(5):1361-1370.
- [18]Upadhyaya H, Panda S K, Dutta B K. Variation of physiological and antioxidative responses in tea cultivars subjected to elevated water stress followed by rehydration recovery[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2008, 30(4):457-468.
- [19]Abrahama E M, Huang B R, Bonosb S A, et al. Evaluation of drought resistance for Texas bluegrass, and their hybrids[J]. Crop Science, 2004, 44(5):1746-1753.
- [20]余玲,王彦荣, Trevor G, 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.
- [21]Ristic Z, David D. Chloroplast levels of abscisic acid [J]. International Journal Plant Science, 1992, 153(9):186-196.
- [22]李京蓉,周学斌,马真,等.6种高寒牧区禾本科牧草抗旱性研究与评价[J].草地学报,2018,26(3):659-665.
- [23]任文伟,钱吉,马骏,等.不同地理种群羊草在聚乙二醇胁迫下含水量和游离脯氨酸含量的比较[J].生态学报,2000,20(2):349-352.
- [24]郭郁频,米福贵,闫利军,等.不同早熟禾品种对干旱胁迫的生理响应及抗旱性评价[J].草业学报,2014,23(4):220-228.