

# 老芒麦种质对干旱胁迫的生理响应

田永雷<sup>1</sup>, 白春利<sup>1</sup>, 丁海君<sup>1</sup>, 赵和平<sup>2</sup>, 房永雨<sup>1</sup>, 慕宗杰<sup>3</sup>

(1. 内蒙古自治区农牧业科学院草原研究所, 内蒙古 呼和浩特 010031; 2. 内蒙古草都饲草料研究院, 内蒙古 锡林浩特 026099; 3. 内蒙古自治区农牧业科学院农牧业经济与信息研究所, 内蒙古 呼和浩特 010031)

**摘要:**以 3 个老芒麦种质为材料, 采用不同 PEG 浓度(0%、5%、10%、15%)模拟干旱胁迫, 通过老芒麦苗期生理指标的变化, 并用隶属函数对 3 种老芒麦抗旱性进行分析, 研究老芒麦幼苗对干旱胁迫的生理响应。结果表明:随着干旱胁迫程度的增加, 老芒麦种质叶片相对含水量降低; 超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶等抗氧化物质均显著增加( $P < 0.05$ ), 可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸和丙二醛含量显著增加( $P < 0.05$ ); 通过隶属函数分析, 抗旱性由强到弱的顺序为新品系老芒麦(E02) > 呼伦贝尔老芒麦(E03) > 川草 2 号老芒麦(E01)。

**关键词:**老芒麦; 干旱胁迫; 生理特性

**中图分类号:**S543.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2021)02-0070-06

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyyep.2021.02.010

干旱是长期存在的全球性的自然灾害, 全球干旱或半干旱地区面积约为全球总面积的三分之一<sup>[1]</sup>, 干旱胁迫会通过影响牧草生理生化<sup>[2]</sup>、光合<sup>[3]</sup>和形态<sup>[4-5]</sup>等指标导致牧草减产。随着内蒙古草牧业的发展, 对于优质饲草的需求逐渐增加<sup>[6]</sup>, 但牧草常因受到干旱胁迫, 导致生产力降低, 所以培育抗旱牧草品种变得尤为重要。老芒麦(*Elymus sibiricus*)是禾本科披碱草属多年生草本植物, 具有品质高、适口性好等优良性状<sup>[7-8]</sup>。前人对老芒麦抗旱性研究很多, 多为老芒麦与其他禾本科牧草抗旱性比较<sup>[9-11]</sup>, 对于老芒麦乡土品种的抗旱性研究报道较少<sup>[12]</sup>。聚乙二醇(PEG)是一种高分子量的渗压剂, 既可以使环境保持干旱又不会破坏植物细胞, 因其周期短、易于控制等优点, 聚乙二醇常被用来作干旱胁迫剂<sup>[13]</sup>。因此, 本研究利用

聚乙二醇(PEG)模拟干旱胁迫, 比较和分析干旱胁迫对 3 个老芒麦种质苗期叶片相对含水量和生理生化指标的影响, 以期老芒麦草种选择和生产提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试材料

试验所用川草 2 号老芒麦(E01)、新品系老芒麦(E02)、呼伦贝尔老芒麦(E03)的种子, 均为 2018 年新种子, 具体信息见表 1。

### 1.2 试验设计

试验采用盆栽(盆口半径 10 cm、盆底半径 5 cm、盆高 13 cm), 首先在花盆内套上保鲜袋, 每盆所装沙土:蛭石(2:1), 装填至距离盆口 5 cm 处。选择大小一致, 籽粒饱满, 完整的种子, 种子表面用 1%高锰酸钾溶液消毒 10 min, 消毒后用蒸馏水冲洗 3 次, 每盆 50 粒, 覆土 2~3 cm。覆土后浇水或 PEG 溶液 400 mL (花盆内土壤全部内部湿润), 浇水后用塑料袋把花盆口封住, 待出苗后打开, 每次补水所有花盆补水量一致。待幼苗生长至 3 叶时进行生理指标测定。用 0%、5%、10%、15% PEG-6000 浓度模拟干旱胁迫, 每处理 6 次重复。

**收稿日期:**2020-04-24; **修回日期:**2020-04-29

**基金项目:**国家重点研发计划(2016YFC0500604); 国家重点研发计划(2016YFC050050702); 内蒙古农牧业创新基金项目(2020CXJJM09)

**作者简介:**田永雷(1994-), 男, 内蒙古赤峰市人, 硕士研究生。

E-mail: tyl\_nmgny@163.com

白春利为通讯作者。E-mail: nmgbc@126.com

表 1 供试种质及来源  
Table 1 Materials and sources

编号	中文名	来源	发芽率/%
E01	川草 2 号老芒麦	四川省草原科学研究院	91
E02	新品系老芒麦	内蒙古自治区农牧业科学院	90
E03	呼伦贝尔老芒麦	呼伦贝尔地区采集野生种子	87

### 1.3 测定方法

各项指标测定方法:游离脯氨酸含量采用茚三酮染色法<sup>[15]</sup>,可溶性糖含量采用蒽酮比色法<sup>[16]</sup>;可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝法<sup>[16]</sup>,超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑光化还原法<sup>[17]</sup>,过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法<sup>[17]</sup>,过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法<sup>[18]</sup>,丙二醛(MDA)采用硫代巴比妥酸(TBA)法<sup>[15]</sup>,叶片相对含水量采用饱和称重法<sup>[17]</sup>。

### 1.4 数据分析

使用 office 2010 进行数据整理,SPSS 17.0 进行方差显著性分析。利用隶属函数法<sup>[19]</sup>对 3 种老芒麦苗期抗旱性  $j$  进行综合评价,公式如下:

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min,j}}{X_{\max,j} - X_{\min,j}}$$

式中: $Y_{ij}$  为  $i$  品种的  $j$  指标的隶属函数值; $X_{ij}$  为  $i$

品种  $j$  指标均值; $X_{\min,j}$  各品种  $j$  指标均值的最小值; $X_{\max,j}$  各品种  $j$  指标均值的最大值。

若  $j$  指标与抗旱性呈负相关,则有:

$$Y_{ij} = 1 - \frac{X_{ij} - X_{\min,j}}{X_{\max,j} - X_{\min,j}}$$

## 2 结果与分析

### 2.1 PEG 处理对老芒麦苗期叶片含水量的影响

随着干旱胁迫的增加,老芒麦叶片的含水量呈降低的趋势,E01 和 E02 均在 10% PEG 浓度处理时叶片含水量开始显著降低( $P < 0.05$ );E03 在 5% PEG 浓度处理时叶片含水量开始显著降低( $P < 0.05$ )。0%PEG 浓度处理时 3 个种质材料的叶片含水量无显著差异;随着胁迫的增加,E02 的叶片含水量显著高于其他 2 个品种( $P < 0.05$ )(表 2)。

表 2 PEG 处理下老芒麦苗期叶片含水量

Table 2 Effect of PEG Treatment on leaf water content of *E. sibiricus* at Seedling Stage

PEG 浓度/%	E01	E02	E03
0	94.32 ± 1.01 <sup>Aa</sup>	95.23 ± 2.34 <sup>Aa</sup>	92.01 ± 2.31 <sup>Aa</sup>
5	91.79 ± 2.16 <sup>Aa</sup>	89.56 ± 2.65 <sup>Aba</sup>	85.79 ± 2.89 <sup>Bb</sup>
10	83.62 ± 2.38 <sup>Ba</sup>	85.52 ± 5.22 <sup>Ba</sup>	79.67 ± 3.32 <sup>Cb</sup>
15	72.48 ± 3.17 <sup>Cab</sup>	76.66 ± 4.65 <sup>Ca</sup>	66.65 ± 5.55 <sup>Db</sup>

注:不同大写字母代表相同种质不同 PEG 处理间比较( $P < 0.05$ );不同小写字母代表相同 PEG 处理不同品种间比较( $P < 0.05$ ),下同

### 2.2 PEG 处理对老芒麦苗期叶片抗氧化物质的影响

随着胁迫的增加,老芒麦各种质 POD、SOD、CAT 酶活性逐渐增加;E01 的 CAT 酶活性在 5% PEG 浓度处理时显著增加( $P < 0.05$ ),E02 的 SOD、POD 酶活性在 10% PEG 浓度处理时显著增加( $P < 0.05$ ),CAT 酶活性在 5% PEG 浓度处理时显著增加( $P < 0.05$ );E03 的 SOD、POD、CAT 酶活性均在 10% PEG

浓度处理时显著增加( $P < 0.05$ );SOD、POD 酶活性在 10%PEG 浓度处理时显著增加( $P < 0.05$ )。0% PEG 和 5% PEG 处理时,3 个种质叶片 SOD、CAT 酶活性无显著差异;10% PEG 和 15%PEG 处理时,E02 叶片 SOD、CAT 酶活性显著高于其他 2 个品种( $P < 0.05$ );E02 叶片 POD 酶活性显著高于其他品种( $P < 0.05$ )(表 3)。

表 3 PEG 处理下老芒麦苗期叶片抗氧化特性

Table 3 The effect of PEG Treatment on the antioxidant properties of the leaves in the seedling stage of the *E. sibiricus*

测定指标	PEG 浓度/%	E01	E02	E03
SOD/(U · g <sup>-1</sup> )	0	97.48 ± 2.08 <sup>Ca</sup>	101.42 ± 7.21 <sup>Ca</sup>	95.54 ± 4.53 <sup>Ca</sup>
	5	100.14 ± 4.47 <sup>Ca</sup>	105.17 ± 5.20 <sup>Ca</sup>	103.92 ± 7.66 <sup>Ca</sup>
	10	119.35 ± 3.12 <sup>Bb</sup>	136.50 ± 8.74 <sup>Ba</sup>	124.77 ± 5.23 <sup>Bab</sup>
	15	150.82 ± 5.52 <sup>Ab</sup>	166.50 ± 5.41 <sup>Aa</sup>	141.05 ± 3.66 <sup>Ac</sup>
POD/(U · min <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup> )	0	33.63 ± 1.24 <sup>Cb</sup>	40.03 ± 3.21 <sup>Ca</sup>	32.95 ± 3.52 <sup>Bb</sup>
	5	36.34 ± 3.74 <sup>Cb</sup>	42.31 ± 2.28 <sup>Ca</sup>	37.97 ± 4.65 <sup>Bb</sup>
	10	45.57 ± 2.35 <sup>Bb</sup>	54.27 ± 3.34 <sup>Ba</sup>	51.91 ± 4.50 <sup>Aa</sup>
	15	59.67 ± 4.41 <sup>Ab</sup>	65.10 ± 5.71 <sup>Aa</sup>	54.25 ± 2.32 <sup>Ab</sup>
CAT/(U · min <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup> )	0	38.06 ± 1.43 <sup>Ca</sup>	39.06 ± 1.13 <sup>Ca</sup>	41.74 ± 2.74 <sup>Ba</sup>
	5	48.57 ± 3.91 <sup>Ba</sup>	50.99 ± 2.05 <sup>Ba</sup>	48.82 ± 4.14 <sup>ABa</sup>
	10	53.35 ± 3.42 <sup>Bb</sup>	59.67 ± 3.33 <sup>ABa</sup>	54.25 ± 3.34 <sup>Aab</sup>
	15	67.27 ± 2.96 <sup>Aa</sup>	69.44 ± 4.44 <sup>Aa</sup>	59.67 ± 3.78 <sup>Ab</sup>

### 2.3 PEG 处理对老芒麦苗期叶片渗透调节物质的影响

老芒麦各种质叶片可溶性糖、可溶性蛋白含量均随着干旱胁迫的增加呈增加趋势(表 4)。E01 可溶性糖含量在 10% PEG 浓度处理时显著增加( $P < 0.05$ ),可溶性蛋白含量在 15% PEG 浓度处理时显著增加( $P < 0.05$ );E02 可溶性蛋白含量在 5% PEG 浓度处理时显著增加( $P < 0.05$ ),可溶性糖含量在 10% PEG 浓度处理时显著增加( $P < 0.05$ );E03 可溶性糖含量在 5% PEG 浓度处理时显著增加( $P < 0.05$ ),可溶性蛋白含量在 15% PEG 浓度处理时显著增加( $P < 0.05$ )。15% PEG 浓度处理时 E02 可溶性糖和可溶性蛋白含量显著高于 E01 和 E03(表 4)。

表 4 PEG 处理下老芒麦苗期叶片可溶性糖和可溶性蛋白的含量

Table 4 Effect of PEG Treatment on soluble sugar and soluble protein in seedling stage leaves of *E. sibiricus*

测定指标	PEG 浓度/%	E01	E02	E03
可溶性糖/(mg · g <sup>-1</sup> )	0	3.52 ± 0.56 <sup>Ca</sup>	4.14 ± 0.45 <sup>Ca</sup>	3.39 ± 0.28 <sup>Ca</sup>
	5	4.06 ± 0.54 <sup>BCa</sup>	5.10 ± 0.65 <sup>Ca</sup>	4.88 ± 0.30 <sup>Ba</sup>
	10	5.42 ± 0.67 <sup>ABa</sup>	6.22 ± 0.31 <sup>Ba</sup>	5.36 ± 0.47 <sup>Ba</sup>
	15	6.37 ± 1.01 <sup>Ab</sup>	8.54 ± 0.45 <sup>Aa</sup>	6.61 ± 0.64 <sup>Ab</sup>
可溶性蛋白/(mg · g <sup>-1</sup> )	0	24.07 ± 2.23 <sup>Ba</sup>	28.02 ± 2.05 <sup>Ca</sup>	25.49 ± 1.65 <sup>Ba</sup>
	5	28.75 ± 1.45 <sup>ABa</sup>	30.16 ± 3.12 <sup>Ba</sup>	27.12 ± 2.21 <sup>Ba</sup>
	10	29.48 ± 2.25 <sup>ABa</sup>	33.85 ± 2.19 <sup>Ba</sup>	31.46 ± 2.98 <sup>ABa</sup>
	15	32.46 ± 2.11 <sup>Ab</sup>	39.27 ± 2.24 <sup>Aa</sup>	34.72 ± 3.45 <sup>Aab</sup>

### 2.4 PEG 处理对老芒麦苗期叶片脯氨酸和丙二醛的影响

随着干旱胁迫的增加,3 个老芒麦品种叶片丙二醛和脯氨酸含量逐渐增加(表 5),E02 丙二醛含量在 10% PEG 浓度处理时显著增加( $P < 0.05$ ),脯氨酸含量在 5% PEG 浓度处理时显著增加( $P < 0.05$ );E01 和 E03 在 5% PEG 浓度处理时叶片丙二醛含量开始显著增加( $P < 0.05$ ),E03 脯氨酸含量在 5% PEG 浓度处理时显著增加( $P < 0.05$ ),E01 脯氨酸含量在 10% PEG 浓度处理时显著增加( $P < 0.05$ );0% PEG 浓度处理时 3 个品种的丙二醛和脯氨酸含量无显著差异,随着胁迫的增加,E01 丙二醛和脯氨酸含量显著高于 E02 和 E03( $P < 0.05$ )(表 5)。

表 5 PEG 处理下老芒麦苗期叶片丙二醛和脯氨酸含量

Table 5 Effect of PEG Treatment on malondialdehyde and proline content in leaves of *E. sibiricus* at Seedling Stage

测定指标	PEG 浓度/%	E01	E02	E03
丙二醛/(nmol · g <sup>-1</sup> )	0	11.70 ± 1.03 <sup>Ca</sup>	8.66 ± 2.01 <sup>Ca</sup>	9.36 ± 1.98 <sup>Ca</sup>
	5	19.29 ± 2.22 <sup>Ba</sup>	13.87 ± 2.57 <sup>BCb</sup>	16.78 ± 2.23 <sup>Bab</sup>
	10	23.72 ± 2.11 <sup>Ba</sup>	18.08 ± 3.03 <sup>ABb</sup>	19.42 ± 2.40 <sup>Bb</sup>
	15	30.23 ± 1.56 <sup>Aa</sup>	23.63 ± 2.09 <sup>Ab</sup>	25.80 ± 3.20 <sup>Ab</sup>
脯氨酸/(mg · g <sup>-1</sup> )	0	31.84 ± 3.39 <sup>Ca</sup>	36.70 ± 3.21 <sup>Ca</sup>	37.89 ± 2.23 <sup>Ca</sup>
	5	37.07 ± 2.28 <sup>BCb</sup>	47.76 ± 1.71 <sup>Ba</sup>	45.68 ± 3.33 <sup>Ba</sup>
	10	40.72 ± 1.64 <sup>Bb</sup>	52.46 ± 4.40 <sup>Ba</sup>	50.18 ± 5.65 <sup>ABa</sup>
	15	53.75 ± 4.92 <sup>Ab</sup>	61.26 ± 2.65 <sup>Aa</sup>	54.25 ± 4.48 <sup>Ab</sup>

## 2.5 老芒麦抗旱性综合评价

利用隶属函数法对 3 个老芒麦种质苗期叶片的含水量、SOD、POD、CAT、可溶性糖、可溶性蛋白、丙二醛和脯氨酸含量进行综合评价,得到 3 个老芒麦种质

的隶属函数值(表 6)。根据隶属函数的综合评价价值进行排序,得出 3 个老芒麦种质苗期叶片的抗旱性强弱依次为 E02 > E03 > E01。

表 6 PEG 处理下老芒麦苗期叶片各指标隶属函数值及综合评价值

Table 6 The value of subordinate function and comprehensive evaluation of in leaves of *E. sibiricus* at Seedling Stage

品种	隶属函数值									
	含水量	SOD	POD	CAT	可溶性糖	可溶性蛋白	丙二醛 MDA	脯氨酸	综合评价值 CEV	排名
E01	0.79	0.06	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	3.00
E02	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E03	0.00	0.00	0.00	0.19	0.24	0.24	0.34	0.71	0.61	2.00

## 3 讨论

牧草叶片相对含水量能直接反映牧草受到干旱胁迫时体内的水分状况,也是测定牧草抗旱能力的指标之一。本试验中 3 个老芒麦种质叶片相对含水量随着干旱胁迫越大逐渐降低,这与史晓霞<sup>[20]</sup>的研究一致,说明干旱胁迫会影响老芒麦叶片保水能力从而影响老芒麦生长。牧草在受到干旱胁迫时,体内的 SOD、POD、CAT 等的活性会增加,消除体内自由基,以此来提高自身的抗逆能力<sup>[21-22]</sup>。有研究表明,植物在干旱胁迫下,保护酶活性会呈现先升高后降低的趋势<sup>[23]</sup>,或是呈现逐渐升高的趋势<sup>[24]</sup>。本试验中老芒麦叶片保护酶活性随 PEG 浓度的升高均呈升高趋势,原因可能是 15% PEG 浓度未达到老芒麦酶活性降低的临界点。低 PEG 浓度处理时 3 个老芒麦种质间酶活性无明显差异,高 PEG 浓度处理时,E02 的酶活性显著高于 E01 和 E03,说明 E02 抗逆能力较强

性糖和可溶性蛋白含量变化不明显,高 PEG 浓度时可溶性糖和可溶性蛋白与对照相比显著增加,这与姚曹<sup>[25]</sup>的研究一致,说明老芒麦通过增加自身渗透调节物质来适应干旱胁迫,E02 的可溶性糖含量和可溶性蛋白含量均高于 E01 和 E03,说明 E02 的抗旱能力较强。

干旱胁迫下脯氨酸的积累量可作为评价植物抗旱能力的重要指标,脯氨酸积累量与品种抗旱性呈正相关<sup>[26-27]</sup>,但也有学者研究表明,逆境下脯氨酸的积累会对植物自身产生伤害<sup>[28-29]</sup>。本试验中脯氨酸含量随着 PEG 浓度的增加逐渐升高,可认为脯氨酸增加对植物自身有益,提高了老芒麦的抗逆能力。植物 MDA 含量越大,说明植物受到的胁迫越大<sup>[30]</sup>。3 个老芒麦种质 MDA 含量均随 PEG 浓度的增加而增加,低 PEG 浓度处理时 3 个种质间酶活性无明显差异,高 PEG 浓度处理时 E02 的酶活性显著低于 E01 和 E03,说明在同等干旱环境下,E02 受到的胁迫较小,其抗旱能力较强。

本试验中在低 PEG 浓度时,3 个老芒麦种质可溶

## 4 结论

干旱胁迫下,3个老芒麦种质苗期叶片相对含水量降低;抗氧化物质 SOD、POD、CAT 等酶活性升高;可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸等渗透调节物质含量增加;MDA 含量逐渐增加。隶属函数分析表明 3 个老芒麦种质抗旱性为新品系老芒麦>呼伦贝尔老芒麦>川草 2 号老芒麦。

### 参考文献:

- [1] 刘兆普,刘玲,陈铭达.利用海水资源直接农业灌溉的研究[J].自然资源学报,2003,(4):423-429.
- [2] Nahar K,HasanuzzamanM,Alam M M,*et al.* Insights into spermine-induced combined high temperature and drought tolerance in mung bean; osmoregulation and roles of antioxidant and glyoxalase system[J]. Protoplasma, 2017, 254(1):445-460.
- [3] Mwendia S W, Yunusa I, Whalley R,*et al.* Use of plant water relations to assess forage quality and growth for two cultivars of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) subjected to different levels of soil water supply and temperature regimes[J]. Crop and Pasture Science, 2014, 64(10):1008-1019.
- [4] 云锦凤,米福贵,杨青川,等.牧草育种技术[M].北京:化学工业出版社,2004:336.
- [5] 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.
- [6] 方精云,白永飞,李凌浩,等.我国草原牧区可持续发展的科学基础与实践[J].科学通报,2016,61(2):155-164+133.
- [7] 德英,石凤翎,赵来喜,等.老芒麦种质资源耐盐性评价[J].中国草地学报,2017,39(6):106-111.
- [8] 黄帆,李志勇,李鸿雁,等.老芒麦种质资源形态多样性分析[J].中国草地学报,2015,37(3):111-115.
- [9] Im Moller, Pe Jensen, A Hansson. Oxidative modifications to cellular components in plants[J]. Annual Review of Plant Biology, 2007, 58(1):459-481
- [10] 张卫红,刘大林,苗彦军,等.西藏3种野生牧草苗期对干旱胁迫的响应[J].生态学报,2017,37(21):7277-7285.
- [11] 陈有军,周青平,孙建,等.六份乡土牧草苗期干旱胁迫的对比研究[J].西南民族大学学报(自然科学版),2016,42(6):598-603.
- [12] 孙守江,祁娟,金鑫,等.人工老化对老芒麦种子生理生化特征及醇溶蛋白组成的影响[J].草原与草坪,2019,39(1):83-89.
- [13] 潘林,李波,李红. PEG 胁迫对辐射种子的无芒雀麦幼苗叶片中抗氧化酶活性的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2020(7):116-118.
- [14] 田永雷,丁海君,赵和平,等.2种老芒麦种子发芽特性研究[J].畜牧与饲料科学,2019,40(12):43-46.
- [15] 李合生,孙群,赵世杰,等.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [16] 张志良.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2003:274-277.
- [17] 邹琦.植物生理学试验指导[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [18] 陈建勋,王晓峰.植物生理学实验指导[M].广州:华南理工大学出版社,2002.
- [19] 李培英,孙宗玖,阿不来提. PEG 模拟干旱胁迫下 29 份偃麦草种质种子萌发期抗旱性评价[J].中国草地学报,2010,32(1):32-39.
- [20] 史晓霞,毛培春,张国芳,等.15份马蔺材料苗期抗旱性比较[J].草地学报,2007,15(4):352-358.
- [21] 胡小文,王彦荣,武艳培.荒漠草原植物抗旱生理生态研究进展[J].草业学报,2007,13(3):9-15.
- [22] 马智宏,李征,王北洪,等.冷季型草坪草耐旱及耐寒性比较[J].草地学报,2002,10(4):318-321.
- [23] 孙清洋,李志勇,李鸿雁,等.水分胁迫对老芒麦种质萌发及幼苗生理特性的影响[J].中国草地学报,2016,38(3):19-25.
- [24] 赵丽丽,吴佳海,陈莹,等.干旱对高羊茅生理特性的影响及抗旱性评价[J].中国草地学报,2015,37(4):15-20.
- [25] 姚曹,周俊,徐洋,等.不同苜蓿品种幼苗对干旱胁迫的生理响应[J].安徽科技学院学报,2017,31(4):30-33.
- [26] 张力君,易津,贾光宏,等.九种禾草对干旱胁迫的生理反应[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2000,21(4):14-18.
- [27] Frick H, Golt C. Sensitivity of Lemnra minor growth to os-motic potential and relative tolerance of its callus[J]. Journal of Plant Physiology, 1995, 146(3):718-724.
- [28] 徐胜,何兴元,陈玮,等.高羊茅对高温的生理生态响应[J].应用生态学报,2007,18(10):2219-2226.
- [29] 宋娅丽,陈佳钰,王克勤,等. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 短期胁迫对 3 种冷季型草坪草幼苗生长及生理特性的影响[J].草原与草坪,2019,39(5):10-19.
- [30] 常雪刚,徐柱,易津,等.7种鹅观草属植物苗期干旱胁迫的生理评价[J].中国草地学报,2011,33(4):44-50.