

# 偃麦草和中间偃麦草种质材料苗期抗旱性鉴定研究

张国芳, 孟 林, 毛培春

(北京草业与环境研究发展中心, 北京 100097)

**摘要:** 选用来自 9 个国家的 17 份偃麦草和中间偃麦草种质材料, 在日光温室模拟旱境胁迫条件下, 通过土壤干旱法, 开展了苗期抗旱性鉴定研究, 分析测定了植株叶片的相对含水量、细胞膜透性、脯氨酸含量、丙二醛含量等理化指标, 综合评定了 17 份种质材料的抗旱性强弱, 并针对上述 4 个理化指标变化率, 通过赋分分级的办法将其划分为较强、中等、较弱 3 个抗旱性级别, 抗旱性强的种质材料包括 Ag-2, Greenar, AJC-320, Reliant, 1; 抗旱性中等的种质材料包括 2, Clarke, D-2111, Slate, DF-3175, D-1483, X93035; 抗旱性较弱的种质材料包括 D-1987, 699, D-939, D-3244, VIR103。

**关键词:** 偃麦草; 中间偃麦草; 苗期; 抗旱性; 鉴定

中图分类号: S688.4; Q948.123.3; S54; Q945.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2007)03-0054-06

## Study on the Identification of the Drought Resistance of *Elytrigia repens* and *E. intermedia* at Seedling Stage

ZHANG Guo-fang, MENG Lin, MAO Pei-chun

(Beijing Research and Development Center for Grass and Environment, Beijing 100097, China)

**Abstract:** Seventeen germplasm and materials of *E. repens* (L) Nevski and *E. intermedia* (Host) Nevski from 9 different countries were chosen for the identification of the drought resistance with soil drought stress methods at sunlight greenhouse. Drought resistances of 17 germplasm and materials at seedling stage have been all evaluated through the analysis of physiological and biochemical parameters of relative water content, cell membrane permeability, free proline content and malondialdehyde content in the leaves of these plants. The results showed that 17 germplasm and materials were classified into 3 groups, strong drought resistance, moderate drought resistance and weak drought resistance, according to the variation rates of the related parameters.

**Key words:** *E. repens* (L) Nevski; *E. intermedia* (Host) Nevski; Seedling stage; Drought resistance; Identification

偃麦草属 (*Elytrigia* Desv) 是禾本科小麦族 (*Triticeae* Dumort) 多年生根茎疏丛型草本植物。该属植物具有耐干旱、耐寒冷、耐盐碱、适于砂质土壤生长等优良特点, 是我国新疆、青海、内蒙等省的重要牧草资源和防风固沙植物。偃麦草属全世界约有 40 种, 分布于寒温带, 我国栽培的共 6 种<sup>[1]</sup>, 其中偃麦草 (*E. repens* (L) Nevski) 不仅草质柔软, 营养丰富, 而且根茎发达, 固土护坡效果极佳, 饲用价值和生态用途兼优<sup>[2]</sup>; 中间偃麦草 (*E. intermedia* (Host) Nevski) 产量高, 抗逆性强, 是干旱半干旱地区理想的饲草品种。同时, 偃麦草和中间偃麦草不仅是重要的饲草植物资源, 而且也是小麦远缘杂交的重要亲本材料。近年来, 国内外对偃麦草和中间

偃麦草的研究多集中于引种驯化与栽培技术<sup>[3]</sup>、细胞学<sup>[4,5]</sup>及分子遗传学<sup>[6]</sup>等方面; 在植物生理学方面, 张国芳等<sup>[7]</sup>对 4 种偃麦草属植物的光合日变化进行了分析, 白玉娥等<sup>[8]</sup>对包括中间偃麦草在内的 8 种根茎类禾草种子耐盐性进行研究; 而在抗旱性种质鉴定评价方面研究较少。为此, 本研究针对偃麦草和中间偃麦草在我国推广应用的前景, 选择来自 9 个国家的 9 份偃麦草种质材料和 8 份中间偃麦草种质材料, 通过温室模拟干旱胁迫的方法, 对其苗期抗旱性进行分析比较, 筛选出优异抗旱的种质材料, 为偃麦草和中间偃麦草抗性品种选育提供理论依据。

收稿日期: 2006-09-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30571321); 国家高技术研究发展计划 (“863”计划) (2002AA241101)

作者简介: 张国芳 (1974-), 女, 河北涿州人, 硕士, 助理研究员, 主要从事牧草资源评价与筛选工作。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试材料详见表 1。表中除序号 8 和 16 种质材

料分别由内蒙古农业大学和新疆农业大学提供外,其余均由美国种质资源信息网(Grin-Germplasm Resources Information Network)提供。

表 1 17 份偃麦草和中间偃麦草种质材料

Tab. 1 17 tested germplasm and materials of *E. repens* and *E. intermedia*

序号 No	种名 Species	种质材料 Germplasm and materials	来源地 Original areas or countries	原编号 Original ID
1	中间偃麦草 <i>Elytrigia. intermedia</i>	Clarke	Saskatchewan, Canada	PI578694
2		Slate	Nebraska, United States	PI578693
3		Greenar	Washington, United States	PI578691
4		VIR 103	Temjuk, Russian	PI618798
5		D-21 11	Chimkent, Kazakhstan	PI440026
6		Reliant	North Dakota, United States	PI556987
7		Ag-2	Constanta, Romania	PI494686
8	偃麦草 <i>E. repens</i>	2	Inner Mongolia, China	2
9		D-1483	Stavropol, Russian	PI440074
10		D-3244	Wroclaw, Poland	PI531747
11		D-1987	Dzhambul Kazakhstan	PI440084
12		AJC-320	Cherga, Russian	PI598744
13		X93035	Xinjiang, China	PI595136
14		699	Qala Shaharak, Afghanistan	PI317409
15		DT-3175	Xinjiang, China	PI531746
16		1	Xinjiang, China	1
17		D-939	Semnan, Iran	PI401313

1.2 方法

1.2.1 幼苗培育与干旱胁迫 试验于 2004 年 3 月 14 日至 5 月 5 日在北京市农林科学院温室内进行,采用土壤干旱法,选用大田土壤,过筛,去掉石块、杂质,与细砂和草炭土按 2∶1 的比例混匀,装入直径 20 cm,深 18 cm 的塑料花盆中,每盆装土 3 kg(干土)。将处理过的种子均匀撒在盆中,覆土,然后用喷头浇透水,置于温室中,正常生长。待幼苗生长到 3~4 叶期时,进行干旱胁迫处理,每材料 3 次重复,连续干旱 12 d,分别于停水第 0,4,8,12 d 采样测定,采样的时间为早上 7:30~8:00,分别选取植株基部向上第 2 和第 3 个叶片作为测定样本。

1.2.2 生理生化指标测定 叶片相对含水量(Relative Water Content,简称 RWC)采用华东师范大学主编植物生理学实验指导的方法测定<sup>[9]</sup>;细胞膜透性采用电导法<sup>[10]</sup>测定,用相对电导率(Relative Electrical Conductivity Rate,简称 REC)来反映各材料的细胞膜透性的大小;叶片游离脯氨酸含量(Free Proline Content,简称 Pro)采用茚三酮法<sup>[10]</sup>测定,丙二醛(Malondialdehyde,简称 MDA)含量采用三氯乙酸提取法<sup>[10]</sup>测定。

1.2.3 统计分析方法 用统计分析软件 SAS 处理数据,进行方差分析,采用 Excel 进行平均值计算及作图。

1.2.4 抗旱性等级鉴定评价方法 参考高吉寅等<sup>[11]</sup>植物抗旱性等级鉴定评价赋分分级办法,评价

时,根据每个偃麦草种质材料各个抗旱生理指标变化率的大小进行赋分,赋分标准为把每一种标准的最大变化率与最小变化率之间的差值均分为 10 个等级,每一等级为 1 分。在各种指标中均以伤害最轻的得分最高,即 10 分;伤害最重的得分最低,即 1 分。依此类推,最后把各个指标的得分进行相加,得出各种质材料抗旱性强弱的总分。值越大,抗旱性就越强。根据各偃麦草种质材料的抗旱性总得分进行抗旱性强弱的排序和等级划分。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对叶片相对含水量的影响

由表 2 可以看出,叶片相对含水量随着干旱胁迫呈下降趋势,说明在干旱胁迫下,植株的保水能力也随之下降。从胁迫开始到干旱胁迫第 8 天,叶片相对含水量虽然都有所下降,但下降幅度较小,变化率仅在 11.55% 以下,从第 8 天到第 12 天的 4 d 里,除 Ag-2 材料外,其余供试材料叶片相对含水量急剧下降,变化率最高达 67.72%。Slate, Greenar, D-2111, Reliant, Ag-2, AJC-320 在第 12 天叶片的相对含水量依然保持在 88.48%~89.40%,说明这几份材料保水能力相对较强,能受相对较长较重的水分胁迫。相反 VIR103, D-3244, D-1987, 699, D-939 变化幅度较大,其中, D-3244 由原来的 96.40% 下降到 31.12%,说明其保水能力相对较弱。

表 2 干旱胁迫下叶片相对含水量的变化  
Tab. 2 The change of relative water content under drought stress

种质材料 Gemplasm and materials	相对含水量/ % Relative water content				变化率/ % Variation ratio	得分 Score
	0 d(A)	4 d	8 d	12 d(B)		
Clarke	93. 53	89. 39	92. 57	77. 19ab	17. 48	8
Slate	95. 19	94. 48	92. 68	88. 63a	6. 89	10
Greenar	94. 17	94. 29	94. 17	88. 48a	2. 86	10
VIR103	93. 03	91. 89	84. 39	35. 95de	61. 35	1
D-2111	95. 82	94. 19	93. 92	89. 28a	2. 65	10
Reliant	95. 04	93. 14	91. 94	89. 40a	5. 93	10
Ag-2	94. 51	93. 09	89. 41	89. 31a	5. 51	10
2	95. 20	93. 60	88. 03	64. 37abcd	32. 39	6
D-1483	95. 48	92. 77	87. 80	51. 96bcd	45. 58	4
D-3244	96. 40	93. 60	91. 91	31. 12e	67. 72	1
D-1987	96. 01	92. 87	86. 19	41. 95de	56. 30	2
AJC-320	94. 50	93. 70	93. 30	89. 28a	1. 30	10
X93035	94. 64	92. 31	88. 51	73. 23abc	22. 62	7
699	94. 50	89. 32	85. 81	38. 86de	58. 88	2
DF-3175	95. 87	92. 87	88. 62	79. 22ab	17. 37	8
1	93. 82	93. 07	91. 07	64. 06abcd	31. 72	6
D-939	95. 25	93. 63	84. 25	45. 21cde	52. 53	3

注: 同列中不同小写字母表示 P< 0.05 水平下差异显著; X= (A- B)/ A× 100; 表 3, 4, 5 同  
Note: Different small letters in the same column mean significant difference (P< 0. 05); X= (A- B)/ A× 100; the same as table3, table4, table 5

2.2 干旱胁迫对细胞膜透性的影响

由表 3 显示, 17 份偃麦草种质材料随着干旱胁迫的加重, 相对电导率增大, 细胞膜透性增大。多数供试材料相对电导率呈现均匀上升的趋势, 但

VIR103, D-1987, 699 在第 8 天后增长幅度迅速增大, 说明这几个材料在干旱胁迫第 8 天后, 外渗液中电解质增加, 细胞组织受到严重伤害, 因而判定这几种材料抗旱性较弱。

表 3 干旱胁迫下叶片相对电导率的变化  
Tab. 3 The change of the relative electrical conductivity rate under drought stress

种质材料 Gemplasm and materials	相对电导率/ % The relative electrical conductivity rate				变化率/ % Variation ratio	得分 Score
	0 d(A)	4 d	8 d	12 d(B)		
Clarke	8. 95	21. 00	21. 39	25. 03 e	179. 66	6
Slate	6. 25	17. 71	19. 62	20. 83 de	232. 98	4
Greenar	9. 48	13. 44	15. 27	17. 51 ef	84. 58	9
VIR103	14. 40	22. 97	23. 39	58. 70 a	307. 59	2
D-2111	13. 44	15. 02	17. 82	21. 21 def	57. 76	10
Reliant	10. 36	13. 74	18. 53	23. 04 def	122. 36	8
Ag-2	12. 24	14. 18	17. 98	20. 93 f	70. 95	10
2	7. 62	14. 46	15. 16	20. 57 de	169. 98	7
D-1483	7. 92	14. 91	18. 45	21. 93 de	177. 06	6
D-3244	10. 49	14. 03	17. 34	24. 92 d	137. 49	8
D-1987	11. 42	13. 63	22. 20	56. 39 a	393. 83	1
AJC-320	9. 28	12. 78	17. 64	23. 26 ef	150. 69	7
X93035	9. 08	12. 73	18. 45	26. 00 d	186. 42	6
699	10. 02	15. 39	17. 38	44. 82 b	347. 31	1
DF-3175	6. 83	12. 26	17. 13	21. 84 de	219. 94	5
1	8. 90	13. 67	13. 64	20. 28 de	127. 78	8
D-939	9. 76	11. 56	20. 51	33. 98 c	248. 08	4

2.3 干旱胁迫对叶片游离脯氨酸含量的影响

由表 4 可以看出, 正常供水生长情况下, 各种质材料植株体内游离脯氨酸含量不高, 但干旱胁迫一定时间后, 它的含量急增至几十倍, 甚至几百倍。参试的绝大多数材料的叶片游离脯氨酸含量当干旱胁迫到 12 d 时急剧增加, 胁迫刚开始时变化缓慢, 然后急剧上升, 其中变化最大的 Ag-2, 由胁迫开始时的 6. 87 μg/ g 增加到胁迫 12 d 的 2 875. 44 μg/ g, 增加了近 300 倍。可见干旱胁迫条件下, 脯氨酸含量的积累不仅敏感, 而且幅度相当大。通过叶片游离脯氨酸含量的分析判断, 参试的 17 份种质材料中, Ag-2, 1, AJC-320, Greenar 种质材料的苗期抗旱性相对较强。

表 4 干旱胁迫下叶片游离脯氨酸含量变化  
Tab. 4 The change of the free proline content under drought stress

种质材料 Gemplasm and materials	游离脯氨酸含量/( $\mu\text{g/g}$ ) Free proline content				变化率/ % Variation ratio	得分 Score
	0 d(A)	4 d	8 d	12 d(B)		
Clarke	10.99	53.34	141.79	1 367.86 ef	12 343.35	3
Slate	32.14	38.05	563.70	1 632.02 d	4 977.15	1
Greenar	9.53	66.75	495.44	2 550.76 b	26 668.55	7
VIR103	31.13	39.42	447.71	367.84 i	1 081.47	1
D-2111	27.43	123.98	221.69	1 820.51 cd	6 536.81	2
Reliant	7.76	31.54	133.72	1 678.65 d	21 539.87	6
Ag-2	6.87	29.69	238.47	2 875.44 a	41 784.93	10
2	8.50	46.15	258.87	1 271.18 f	14 863.54	4
D-1483	7.46	60.42	112.62	902.77 g	12 004.11	3
D-3244	9.03	24.85	145.78	638.54 h	6 974.62	2
D-1987	7.09	130.25	327.56	1 139.96 fg	15 981.33	4
AJC-320	10.92	229.06	711.22	2 874.45 a	26 226.20	7
X93035	10.61	28.74	151.03	517.99 hi	4 783.14	1
699	10.68	28.41	153.79	1 561.73 de	14 521.94	4
DT-3175	9.55	17.81	217.28	500.98 hi	5 143.56	2
1	6.50	124.50	208.95	2 042.43 c	31 316.87	8
D-939	29.06	26.60	357.17	539.37 hi	1 756.04	1

2.4 干旱胁迫对叶片丙二醛含量的影响

由表 5 可知, 丙二醛含量随干旱胁迫的进程呈上升趋势, 其中, 有些种质材料变化缓慢, 如 Clarke, Slate, 变化率仅为 33.88% 和 29.81%; 有些材料干旱胁迫第 12 天时丙二醛含量迅速积累, 且变化幅度较大, 如 VIR103 从 29.42  $\mu\text{mol/g}$  增加到 134.73  $\mu\text{mol/g}$ ; 还有的材料干旱胁迫到第 12 天时丙二醛含量不高, 变化的幅度却非常明显, 如 D-3244, D-2111 等, 由于丙二醛初始水平较低, 所以变化率也高达 1 228.43% 和 987.09%。

表 5 干旱胁迫下叶片丙二醛含量的变化  
Tab. 5 The change of the malondialdehyde content under drought stress

种质材料 Gemplasm and materials	丙二醛含量/( $\mu\text{mol/g}$ ) Malondialdehyde content				变化率/ % Variation ratio	得分 Score
	0 d(A)	4 d	8 d	12 d(B)		
Clarke	29.72	32.33	33.18	39.78 e	33.88	10
Slate	34.14	40.90	44.31	44.31 de	29.81	10
Greenar	14.93	21.94	18.65	39.18 de	162.48	9
VIR103	29.42	33.37	38.11	134.73 a	358.04	8
D-2111	3.48	18.10	21.39	37.86 de	987.09	3
Reliant	10.54	20.59	17.99	43.69 de	314.42	8
Ag-2	20.63	39.26	31.65	55.11 cde	167.21	9
2	18.38	32.13	19.78	38.26 de	108.19	10
D-1483	11.29	24.95	24.64	65.45 bcd	479.49	7
D-3244	4.71	19.46	28.56	62.53 bcd	1 228.43	1
D-1987	35.88	21.39	38.63	85.26 b	137.61	10
AJC-320	13.55	17.39	14.73	46.70 de	244.72	9
X93035	22.04	21.20	24.79	141.38 a	541.42	6
699	23.65	20.21	25.29	58.25 bode	146.24	10
DT-3175	12.38	14.97	20.73	49.56 de	300.37	8
1	13.41	26.72	31.62	57.22 bode	326.67	8
D-939	26.36	35.02	31.70	83.54 bc	216.90	9

2.5 偃麦草和中间偃麦草种质材料抗旱性综合评价

对于干旱胁迫下, 17 份偃麦草和中间偃麦草种质材料的叶片相对含水量、叶片细胞膜透性、叶片游离脯氨酸积累量、叶片丙二醛含量这 4 项生理指标的变化率, 采用分级赋分的办法, 进行苗期抗旱型的综合评价(表 6)。

根据抗旱生理生化指标分级赋分, 17 份偃麦草和中间偃麦草种质材料苗期抗旱性由强到弱依次为 Ag-2, Greenar, AJC-320, Reliant, 1, Clarke, 2, D-2111, Slate, DT-3175, D-1483, X93035, D-1987, 699, D-939, VIR103, D-324。通过排序, 将得分为 40~ 30(含)分

划分为抗旱性强的种质材料, 包括 Ag-2, Greenar, AJC-320, Reliant, 1; 30~ 20 分(含)的为抗旱性中等的种质材料, 包括 2, Clarke , D-2111, Slate, DT-3175, D-1483, X93035; 20 分以下的为抗旱性较弱的种质材料, 包括 D-1987, 699, D-939, D-3244, VIR103。

表 6 17 份供试材料干旱胁迫下苗期抗旱性综合评价

种质材料 Germplasm and materials	单一指标抗旱性得分 Score for every index				总分 Sum score	排序 Sort order	抗旱分级 Classifying grades for drought resistance
	相对含水量 RWC	相对电导率 REC	脯氨酸 Pro	丙二醛 MDA			
Clarke	8	6	3	10	27	6	II
Slate	10	4	1	10	25	9	II
Greenar	10	9	7	9	35	2	I
VIR103	1	2	1	8	12	16	III
D-2111	10	12	2	3	27	8	II
Reliant	10	8	6	8	32	4	I
Ag-2	10	10	10	9	39	1	I
2	6	7	4	10	27	6	II
D-1483	4	6	3	7	20	11	II
D-3244	1	8	2	1	12	16	III
D-1987	2	1	4	10	17	13	III
AJC-320	10	7	7	9	33	3	I
X93035	7	6	1	6	20	11	II
699	2	1	4	10	17	13	III
DT-3175	8	5	2	8	23	10	II
1	6	8	8	8	30	5	I
D-939	3	4	1	9	17	13	III

注:I 为抗旱性强;II 为抗旱性中等; III 为抗旱性较弱  
Note:I means strong drought resistances; II means moderate drought resistances ; III means weak drought resistances

3 结论与讨论

试验筛选出 5 份苗期抗旱性较强的种质材料, 其中, 偃麦草 2 份, 分别是中国新疆的 1 号种质材料和来自俄罗斯的 AJC-320; 中间偃麦草 3 份, 分别是来自罗马尼亚的 Ag-2, 来自美国的 Greenar 和 Reliant。

植物对干旱胁迫的反应综合复杂, 其抗旱能力的大小是多种代谢的综合表现。因此, 植物抗旱性鉴定时应采用多指标进行综合评价。

在本试验所采用的生理生化指标中, 叶片的相对含水量的变化趋势可以表示植物的渗透调节能力, 它被认为是植物在水分亏缺条件下是否维持生长的一个很好的指标。在相同的水分胁迫条件下, 抗旱性强的植物叶片相对含水量下降速度较慢, 幅度较小, 能保持较好的水分平衡<sup>[12,13]</sup>。用电导仪测定外渗液电导率的变化, 可反映出细胞膜受伤害的程度, 因为植物组织在受到干旱逆境危害时, 细胞膜的结构和功能首先受到伤害, 细胞膜透性增大, 组织受伤害越严重, 电解质增加越多。大量研究表明, 抗旱性越强的植物细胞膜伤害可能性越小, 其渗透量越少<sup>[14,15]</sup>, 电导率越小; 反之, 电导率相对较大。多数研究证实脯氨酸积累同植物抗旱性存在密切的关

系<sup>[16-19]</sup>, 当植物受到干旱胁迫时, 水分亏缺使蛋白质分解加快, 植物体内发生大量的脯氨酸含量的积累, 在本试验中, 抗旱性强的植物脯氨酸维持积累时间长, 维持积累量大, 由此可以初步鉴定出植物抗旱性的强弱。植物器官衰老或逆境环境下遭受伤害, 往往发生膜脂过氧化作用, 丙二醛是膜脂过氧化的最终分解产物之一<sup>[17]</sup>, 通常利用 MDA 作为脂质过氧化指标, 表示细胞膜脂过氧化程度和植物对逆境反应的强弱。

不同的理化指标反映植株生理活动的不同侧面, 而且不同植株抗旱机理也不尽相同, 必须多指标综合系统地进行分析, 才能得出相对客观的鉴定结果。

抗旱性鉴定技术和指标体系很多, 而运用生理生化指标体系来进行植物抗旱性鉴定评价近年来较为普遍<sup>[21]</sup>。本研究所选用的生理生化指标方法简便、重复性好, 已在农作物品种抗旱性鉴定评价和抗旱机理研究中广泛应用, 成为重要的抗旱性鉴定指标。此外, 科学完善的抗旱性评价体系还应包括形态、生态、物质代谢等。

关于脯氨酸积累能力与植物抗旱性关系的问题, 目前仍说法不一: 有研究认为水分胁迫下游离脯氨酸积累量与品种抗旱性之间无密切相关关系<sup>[18]</sup>; 也有研究认为植物抗旱性的差异与 Pro 的积累密切

相关<sup>[12, 14-16, 19]</sup>。本研究表明游离 Pro 可以作为偃麦草抗旱性鉴定的指标之一, 在进行多种植物抗旱性大小比较时, 也可参考游离 Pro 变化率。不同植物的抗旱机制不同, 表现在生理特性上也不尽相同。所以要全面了解游离脯氨酸与植物抗旱性的关系, 尚需结合生理学特性进行深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 胡子昂. 中国动植物的遗传多样性[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2002.
- [2] 孟 林. 优良饲用坪用水土保持兼用植物——偃麦草[J]. 草原与草坪, 2003(4): 16–18.
- [3] Casler M D, Goodwin W H. Genetic variation for rhizome growth traits in *Elytrigia repens* (L) Nevski [C] // Jarrige, *et al.* Proceedings of the XVI International Grassland Congress. The French Grasslands Society, Lusignan, France, 1989: 339–340.
- [4] 佟明友, 张自立. 偃麦草属三个种的染色体组研究[J]. 植物学报, 1989, 31(3): 185–190.
- [5] 高明君, 郝 水. 中间偃麦草染色体组构成的同工酶研究[J]. 遗传学报, 1992, 19(4): 336–343.
- [6] 尤明山, 李保云, 田志会, 等. 利用小麦微卫星引物建立偃麦草 E<sup>c</sup>染色体组特异 SSR 标记[J]. 农业生物技术学报, 2003, 11(6): 577–581.
- [7] 张国芳, 王北洪, 孟 林, 等. 四种偃麦草的光合特性日变化分析[J]. 草地学报, 2005, 13(4): 344–348.
- [8] 白玉娥, 易 津, 谷安琳, 等. 八种根茎类禾草种子耐盐性研究[J]. 中国草地, 2005, 27(2): 55–59.
- [9] 华东师范大学生物系. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 1980.
- [10] 邹 奇. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [11] 高吉寅. 国外抗旱性筛选方法的研究[J]. 国外农业科技, 1983(7): 12–15.
- [12] 孙启忠. 四种冰草幼苗抗旱性的研究[J]. 中国草地, 1991(3): 29–32.
- [13] 郭彦军, 倪 郁, 吕 俊, 等. 豆科牧草种子萌发特性与其抗旱性差异的研究[J]. 中国草地, 2003, 25(3): 24–27.
- [14] 曾 兵, 张新全, 彭 燕, 等. 优良牧草鸭茅的温室抗旱性研究[J]. 湖北农业科学, 2006(1): 103–106.
- [15] 史燕山, 骆建霞, 王 煦, 等. 5 种草本地被植物抗旱性研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2005, 33(5): 130–134.
- [16] 孙启忠. 水分胁迫下四种冰草体内游离脯氨酸的累积[J]. 牧草与饲料, 1989(3): 14–15.
- [17] 马宗仁, 刘荣堂. 牧草抗旱生理学[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1993.
- [18] 吕丽华, 胡玉昆, 李雁鸣. 水分胁迫下不同抗旱性冬小麦脯氨酸积累动态[J]. 华北农学报, 2006, 21(2): 75–78.
- [19] Singh T N, Aspinall D, Paleg L G. Proline accumulation and varietal adaptability to drought in barley a potential metabolic measure of drought resistance[J]. Nature New Biol, 1972, 236: 188–190.
- [20] 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.
- [21] Aspinell D, Paleg L G. The Physiology and Biochemistry of Drought Resistant in Plants[M]. Sydney: Academic Press, 1980.