

14 个多年生黑麦草品种幼苗期对盐胁迫的生理响应

魏晓艳¹, 梁丹妮¹, 庞丁铭¹, 兰剑^{1,2*}

(1. 宁夏大学农学院, 宁夏银川 750021; 2. 宁夏大学西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地, 宁夏银川 750021)

摘要 [目的] 研究 14 个多年生黑麦草品种幼苗期对盐胁迫的生理响应。[方法] 采用盆栽法研究了不同盐(NaCl)浓度胁迫对 14 个多年生黑麦草(*Lolium perenne* L.) 品种幼苗期叶绿素含量、丙二醛含量、可溶性糖含量、脯氨酸含量和过氧化氢酶活性 5 个生理生化指标的影响, 并运用隶属函数法对 14 个多年生黑麦草品种的耐盐性进行了综合评价。[结果] 随着盐胁迫的加强, 不同品种多年生黑麦草幼苗期叶绿素含量总体呈现下降趋势, 丙二醛含量总体呈上升趋势, 可溶性糖含量品种间变化趋势无规律, 脯氨酸含量呈增长趋势, 过氧化氢酶活性先升后降; 不同品种的耐盐性强弱依次为凯蒂沙、球道、天马、匹克威、新速 2 号、全顺、金牌美达利、德北极品、启萌、爱神特、雷神 4、守门员、龙卷风、博士。[结论] 凯蒂沙的耐盐性较好, 可在宁夏盐渍化地区草坪建植中推广运用。

关键词 多年生黑麦草; 幼苗期; 抗盐性; 生理生化指标

中图分类号 S543+.6 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)01-0008-05

Physiological Responses of 14 Cultivars of Perennial *Lolium perenne* L. to Salt Stress during Seedling StageWEI Xiao-yan¹, LIANG Dan-ni¹, PANG Ding-ming¹, LAN Jian^{1,2*} (1. College of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 2. State Key Laboratory Breeding Base of Land Degradation and Ecological Restoration of Northwest China, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract [Objective] To research the physiological responses of 14 cultivars of perennial *Lolium perenne* L. to salt stress during seedling stage. [Method] Pot method was used to research the effects of different concentrations of NaCl stress on the five physiological and biochemical indexes of chlorophyll (Chl) content, malondialdehyde (MDA) content, soluble sugar (SS) content, proline (Pro) content and catalase (CAT) activity of 14 *L. perenne* cultivars at seedling stage. And salt tolerance of the 14 perennial cultivars were comprehensively evaluated by membership function method. [Result] With the increase of salt stress concentration, chlorophyll contents in different cultivars decreased, and MDA content showed upward trend in general. There were no rules for the change trend of soluble sugar content. Proline content increased, catalase activity decreased firstly and then declined. Salt tolerance of different cultivars from big to small was in the order of Caddy sand, Fairway, Tianma, Pickwick, Newspeed 2, Quanshun, Jinpaimeidali, Debeijipin, Qimeng, Accent, Raytheon 4, Goalkeeper, Tornado, Doctor. [Conclusion] Caddy sand shows relatively good salt tolerance, which can be extended in lawn planting in Ningxia salinization area.

Key words Perennial *Lolium perenne* L.; Seedling stage; Salt tolerance; Physiological and biochemical indexes

盐土是盐碱土中面积较大的类型之一, 我国主要分布在甘肃、青海、宁夏等省和自治区地势低平的盆地和平原中。当前, 土壤盐渍化已成为我国乃至世界主要的环境问题之一^[1-3]。土壤中的盐分是影响植物生长发育的重要限制因子, 其主要胁迫因子包括 Na⁺ 和 Cl⁻, 其中氯化物为主的盐土毒性较大, 其含盐量的下限为 0.6%。土壤盐渍化严重影响了我国, 特别是西北地区的农业生产和生态环境, 制约了畜牧业的发展。宁夏位于西北地区东部、黄河中上游, 地处中温带半干旱、干旱区, 降水稀少, 蒸发强烈, 溶解在水中的盐分容易在土壤表层积聚。宁夏盐碱土主要分布在北部引黄灌区, 盐渍化面积达 24.06 万 hm², 占现有耕地面积的 48.93%, 其中轻级、中级、重级盐渍区的比例分别为 2.1:1.4:1.0^[4], 是导致该地区中低产的主要限制因子之一^[5]。近年来, 土壤盐渍化已成为影响宁夏农业和畜牧业生产的重要问题之一, 解决土壤盐渍化问题已迫在眉睫。多年生黑麦草(*Lolium perenne* L.) 是一种重要的禾本科牧草和草坪草。在耐盐性方面, 禾本科牧草通常优于豆科牧草和作物^[6], 具有适应性好、耐盐性强的特性, 是改良和利用盐碱地的良好植物。黑麦草既可做美化环境的草坪草, 又可为牛羊提供优质的饲草, 还可有效地改良宁夏地区大面积的盐碱地。因

此, 筛选出适合宁夏气候条件的黑麦草耐盐品种, 为盐渍化地区草地建设提供优良的种植材料具有深远的意义。鉴于此, 该试验选取 14 个黑麦草属多年生黑麦草品种, 研究其在不同盐浓度胁迫下幼苗期的生理指标, 并进行抗盐性综合评价, 旨在选出较适宜宁夏盐渍化地区的种植品种。

1 材料与方法

1.1 材料 试验材料为多年生黑麦草, 包括匹克威、启萌、德北极品、凯蒂沙、守门员、雷神 4、龙卷风、全顺、金牌美达利、新速 2 号、天马、球道、爱神特、博士 14 个品种。

1.2 试验方法 2016 年 6 月 1—30 日, 在宁夏大学农学院草业科学实验室进行试验。试验采用盆栽试验与实验室测定相结合的方法。在盐胁迫下进行苗期盆栽试验, 按每盆土样的 0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5% 加化学纯 NaCl 进行处理, 设 3 次重复。处理后第 30 天取样, 取样时间为 08:00—10:00。取样后迅速将样品冷冻在 -20 ℃ 的低温冰箱中, 以备测定生理生化指标。

取非盐碱地大田土壤过筛, 并装入无孔塑料花盆(高 12.5 cm, 底径 12.0 cm, 口径 15.5 cm), 每盆装土 1.5 kg, 同时取样测定其含水率, 以确定实际每盆装入的干土重一致。花盆置于实验室内。根据种子发芽率的高低, 每个花盆播种 30~40 粒, 出苗后间苗, 2 叶定苗, 留生长整齐一致、分布均匀的 20 株幼苗。

1.3 测定方法及指标 5 项生理生化指标的测定参照李合

作者简介 魏晓艳(1991—), 女, 甘肃武威人, 硕士研究生, 研究方向: 草坪建植与管理。* 通讯作者, 教授, 博士, 硕士生导师, 从事草坪建植与管理的教学与研究。

收稿日期 2016-11-07

生^[7]的方法,在此基础上,根据该试验的实际情况,用大量的预试验摸索经验,在一些地方做了相应的调整或进行了综合。

1.3.1 叶绿素(Chl)含量测定。采用 95% 乙醇提取法。按下列公式计算叶绿素的含量:

$$\text{Chla 浓度}(\text{mg/L}) = 13.95A_{665} - 6.88A_{649}$$

$$\text{Chlb 浓度}(\text{mg/L}) = 24.96A_{649} - 7.32A_{665}$$

$$\text{色素含量}(\text{mg/g}) = (\text{色素浓度} \times 25 \times 0.001) / \text{样品鲜重}$$

式中, A_{649} 、 A_{665} 分别为叶绿素提取液在 649 和 665 nm 处的吸光值。

1.3.2 丙二醛(MDA)含量测定。采用 TBA - MDA 显色法。按下列公式计算 MDA 含量:

$$\text{MDA 浓度}(\mu\text{mol/L}) = 6.45(A_{532} - A_{600}) - 0.56A_{450}$$

$$\text{MDA 含量}(\mu\text{mol/g}) = [\text{MDA 浓度} \times (5/2) \times 0.001] / \text{样品鲜重}$$

式中, A_{450} 、 A_{532} 和 A_{600} 分别为 MDA 显色反应液在 450、532 和 600 nm 处的吸光值。

1.3.3 可溶性糖含量测定。采用 80% 乙醇提取液蒽酮比色法。按下列公式计算样品可溶性糖含量:

$$\text{可溶性糖含量} C(\mu\text{g/g}) = AN/W$$

式中, A 为标准曲线中得到的可溶性糖含量($\mu\text{g/g}$); N 为稀释倍数; W 为样品重量(g)。

1.3.4 脯氨酸(Pro)含量测定。采用酸性茚三酮法。按下列公式计算脯氨酸含量:

$$\text{Pro 浓度}(\mu\text{g}/2 \text{ mL}) = 45.308A_{520} - 0.091$$

$$(\text{脯氨酸标准曲线为: } Y = 45.308X - 0.091)$$

$$\text{Pro 含量}(\mu\text{g/g}) = [\text{Pro 浓度} \times (5/2)] / \text{样品鲜重}$$

式中, A_{520} 为甲苯萃取液在 520 nm 处的吸光值。

1.3.5 过氧化氢酶(CAT)活性测定。采用高锰酸钾滴定法。按下列公式计算 CAT 活性:

$$\text{被分解的 } \text{H}_2\text{O}_2(\text{mg/mL}) = [(V_{\text{CK}} - V_{\text{差}}) \times C_{\text{KMnO}_4} \times (5/2) \times 34] / 1$$

$$\text{CAT 活性}[\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{min})] = (\text{被分解的 } \text{H}_2\text{O}_2 \times 5) / (\text{样品鲜重} \times 10)$$

式中, V_{CK} 为对照(无酶液)所消耗的 KMnO_4 体积(mL); $V_{\text{差}}$ 为有酶液时所消耗的 KMnO_4 体积(mL); C_{KMnO_4} 为 KMnO_4 浓度(mol/L)。

1.4 耐盐性综合评价方法 用模糊数学隶属法进行耐盐性综合评价,公式为:

$$X_{(U)} = (X - X_{\text{min}}) / (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \quad (1)$$

$$X_{(U)} = 1 - (X - X_{\text{min}}) / (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \quad (2)$$

式中, X 为参试植物某一耐盐指标的测定值, X_{max} 为该指标中的最大值, X_{min} 为该指标中的最小值。若某一指标与耐盐性呈正相关,用公式(1);如果某一指标与耐盐性呈负相关,可通过公式(2)反隶属函数计算其耐盐性隶属函数值,先求出各份材料各个耐盐指标在不同盐浓度下的隶属值,然后把每一指标在不同浓度下的隶属值累加求平均值,再将每一材料各耐盐指标的隶属值累加,求其平均值。通过比较各材料的耐盐隶属值的平均值大小,确定其耐盐性的强弱^[8]。试验中

将参试的不同品种多年生黑麦草与抗盐性有关的指标采用隶属函数进行综合分析,计算不同材料的各指标的隶属值,并以各材料的平均隶属函数值作为抗盐鉴定综合评价指标。

1.5 数据分析 采用 DPS v8.01 版软件进行不同品种间的显著性检验,使用 Microsoft Excel 2003 软件进行制表、制图、数据计算及隶属函数分析。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对不同品种多年生黑麦草叶绿素含量的影响

植物受到盐胁迫时,各种生理过程受到干扰,造成水分亏缺、膜系统结构破坏、有害代谢产物累积、蛋白质合成下降等变化,这些均直接影响叶绿素含量的变化^[9]。盐胁迫下植株体内的叶绿素酶活性增强,促进了叶绿素 b 的降解,使植株叶片的叶绿素含量降低^[10]。由表 1 可知,随着胁迫的加强,除凯蒂沙呈上升趋势外,其他品种的多年生黑麦草幼苗期叶绿素含量总体呈现下降趋势。当盐浓度为 1.2% 时,守门员、全顺、天马及爱神特 4 个品种的叶绿素含量下降幅度较大,分别为 -38.38%、-31.59%、-25.92%、-24.16%;当盐浓度为 1.5% 时,启萌、德北极品、金牌美达利、新速 2 号和博士共 5 个品种的叶绿素含量下降幅度较大,分别为 -27.98%、-26.55%、-7.86%、-34.86%、-7.28%。当盐浓度达 1.2% 时,雷神 4 与守门员、全顺、球道差异极显著($P < 0.01$),且叶绿素含量较高,抗盐性较强;当盐浓度达 1.5% 时,全顺与雷神 4、天马的差异极显著($P < 0.01$),叶绿素含量最低,抗盐性较差。

2.2 盐胁迫对不同品种多年生黑麦草丙二醛含量的影响

丙二醛含量的高低可以反映细胞质过氧化的程度和植物对逆境条件反应的强弱^[11]。抗逆性越强的植株丙二醛含量上升幅度越小^[12]。由表 2 可知,随着盐浓度的增加,除天马呈现下降趋势外,其他品种多年生黑麦草的丙二醛含量总体呈上升趋势。当盐浓度为 1.2% 时,启萌、守门员、雷神 4、龙卷风、全顺的丙二醛含量达最大值;当盐浓度达 1.5% 时,启萌、德北极品、凯蒂沙等 9 个品种的丙二醛含量上升平缓,甚至下降,说明 1.2% ~ 1.5% 的盐浓度可能是这几个品种的抗盐临界浓度。

2.3 盐胁迫对不同品种多年生黑麦草可溶性糖含量的影响

可溶性糖是植物体内的主要渗透调节剂,不仅可稳定细胞膜和原生质体,还可在细胞内无机离子浓度高时保护酶类,可溶性糖含量高说明抗盐性强^[13]。由表 3 可知,随着盐浓度的增加,可溶性糖含量变化:启萌、德北极品、凯蒂沙呈“W”型趋势;守门员、雷神 4、龙卷风、全顺、金牌美达利、天马、球道、爱神特、博士呈“M”型趋势;匹克威呈倒“N”型趋势;新速 2 号呈倒“V”型趋势。可见,随着盐胁迫浓度的升高,品种间变化趋势不同,无规律性。多年生黑麦草各品种可溶性糖含量变化的多样性反映了品种间存在较大的种质差异。当盐浓度为 1.5% 时,匹克威的可溶性糖含量与其他品种差异极显著($P < 0.01$),且该品种的可溶性糖含量最低,为 0.26 $\mu\text{g/g}$,表明该品种的抗盐性较弱。

表1 盐胁迫对不同品种多年生黑麦草叶绿素含量的影响

Table 1 Effects of salt stress on the chlorophyll contents of different cultivars of perennial *L. perenne*

mg/g

品种 Cultivars	盐浓度 Salt concentrations//%				
	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
匹克威 Pickwick	2.50 abcABC	3.01 abcdABC	2.27 abcAB	2.80 abcAB	2.26 abcAB
启萌 Qimeng	2.70 abAB	3.06 abcABC	2.42 abcAB	3.20 abAB	2.30 abcAB
德北极品 Debeijipin	2.30 abcABC	2.18 cdeBC	1.73 cAB	2.57 abcAB	1.89 bcAB
凯蒂沙 Caddy sand	1.82 bedABC	2.00 deC	2.06 bcAB	2.50 abcAB	2.54 abcAB
守门员 Goalkeeper	3.12 aA	3.02 abcdABC	2.82 abcAB	1.74 cB	2.50 abcAB
雷神 4 Raytheon 4	1.78 bedABC	3.94 aA	2.69 abcAB	3.65 aA	3.06 aA
龙卷风 Tornado	1.08 dC	2.87 bcdeABC	2.23 abcAB	2.47 abcAB	2.40 abcAB
全顺 Quanshun	2.26 abcABC	1.93 eC	2.62 abcAB	1.79 cB	1.54 cB
金牌美达利 Jinpaimeidali	1.98 bedABC	2.00 deC	2.18 abcAB	2.57 abcAB	2.37 abcAB
新速 2 号 Newspeed 2	2.19 abcABC	3.41 abAB	2.28 abcAB	2.89 abcAB	1.88 bcAB
天马 Tianma	2.66 abAB	2.54 bcdeBC	3.29 aA	2.44 bcAB	3.04 aA
球道 Fairway	2.34 abcABC	2.12 cdeBC	1.64 cB	1.86 cB	2.76 abAB
爱神特 Accent	2.35 abcABC	2.42 bcdeBC	3.13 abAB	2.38 bcAB	2.04 abcAB
博士 Doctor	1.51 cdBC	2.41 bcdeBC	2.37 abcAB	2.59 abcAB	2.40 abcAB

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,同列不同大写字母表示在 0.01 水平差异极显著

Note:Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level;different capital letters in the same column indicated extremely significant differences at 0.01 level

表2 盐胁迫对不同品种多年生黑麦草丙二醛含量的影响

Table 2 Effects of salt stress on the MDA contents of different cultivars of perennial *L. perenne*

μmol/g

品种 Cultivars	盐浓度 Salt concentrations//%				
	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
匹克威 Pickwick	0.011 2 aA	0.007 7 cdeAB	0.005 8 cdBC	0.007 5 bcdeBC	0.010 2 aA
启萌 Qimeng	0.007 3 bedBC	0.007 5 cdeAB	0.006 6 abcABC	0.007 9 bcdeABC	0.007 8 bAB
德北极品 Debeijipin	0.003 5 eD	0.010 0 abA	0.006 7 abcABC	0.007 3 bcdeBC	0.007 3 bcAB
凯蒂沙 Caddy sand	0.006 7 cdBCD	0.008 8 abcdAB	0.006 0 bedABC	0.007 1 cdeBC	0.006 9 bcAB
守门员 Goalkeeper	0.006 5 cdBCD	0.009 5 abcAB	0.006 4 bcABC	0.010 3 abAB	0.007 3 bcAB
雷神 4 Raytheon 4	0.009 8 abAB	0.010 4 aA	0.008 3 aA	0.011 8 aA	0.007 7 bAB
龙卷风 Tornado	0.006 8 cdBCD	0.008 4 abcdeAB	0.006 8 abcABC	0.010 0 abcAB	0.005 2 cdBC
全顺 Quanshun	0.008 5 bcABC	0.006 5 eB	0.007 1 abcAB	0.008 3 deABC	0.005 2 cdBC
金牌美达利 Jinpaimeidali	0.007 6 bedBC	0.008 1 bcdeAB	0.007 7 abAB	0.006 7 abcdBC	0.007 2 bcAB
新速 2 号 Newspeed 2	0.006 9 cdBCD	0.008 0 bcdeAB	0.008 3 aA	0.009 2 abcdABC	0.007 5 bcAB
天马 Tianma	0.008 2 bedABC	0.008 3 abcdeAB	0.006 8 abcABC	0.006 2 deBC	0.003 5 dC
球道 Fairway	0.005 6 deCD	0.008 3 abcdeAB	0.006 6 abcABC	0.006 9 deBC	0.008 3 abAB
爱神特 Accent	0.006 3 cdBCD	0.006 8 deB	0.004 4 dC	0.005 7 eC	0.008 5 abA
博士 Doctor	0.007 2 bedBC	0.006 6 deB	0.005 7 cdBC	0.007 0 cdeBC	0.008 8 abA

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,同列不同大写字母表示在 0.01 水平差异极显著

Note:Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level;different capital letters in the same column indicated extremely significant differences at 0.01 level

表3 盐胁迫对不同品种多年生黑麦草可溶性糖含量的影响

Table 3 Effects of salt stress on the soluble sugar contents of different cultivars of perennial *L. perenne*

μg/g

品种 Cultivars	盐浓度 Salt concentrations//%				
	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
匹克威 Pickwick	0.77 abA	0.62 eCD	0.76 bcdeAB	0.49 bB	0.26 eF
启萌 Qimeng	0.79 abA	0.59 eCD	0.92 abcAB	0.45 bB	0.98 aA
德北极品 Debeijipin	0.89 abA	0.64 deBCD	0.89 abcdeAB	0.41 bB	0.84 abcABC
凯蒂沙 Caddy sand	0.88 abA	0.40 eD	0.86 abcdeAB	0.42 bB	0.91 abcAB
守门员 Goalkeeper	0.80 abA	0.87 cdABC	0.86 abcdeAB	1.01 aA	0.76 bcBC
雷神 4 Raytheon 4	0.87 abA	1.05 abcA	0.94 abAB	1.16 aA	0.83 abcABC
龙卷风 Tornado	0.79 abA	1.16 aA	0.85 abcdeAB	1.23 aA	0.75 bcBC
全顺 Quanshun	0.83 abA	1.14 abA	0.90 abcdAB	1.07 aA	0.67 cCDE
金牌美达利 Jinpaimeidali	0.80 abA	0.97 abcAB	0.71 eB	1.12 aA	0.50 dDE
新速 2 号 Newspeed 2	0.86 abA	0.96 abcAB	0.97 aA	1.09 aA	0.49 dE
天马 Tianma	0.97 aA	1.05 abcA	0.82 abcdeAB	1.03 aA	0.70 cBCDE
球道 Fairway	0.82 abA	0.97 abcAB	0.73 deAB	1.01 aA	0.52 dDE
爱神特 Accent	0.72 ba	0.88 bcABC	0.73 deAB	1.10 aA	0.74 bcBC
博士 Doctor	0.83 abA	1.00 abcAB	0.75 cdeAB	1.00 aA	0.72 cBCD

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,同列不同大写字母表示在 0.01 水平差异极显著

Note:Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level;different capital letters in the same column indicated extremely significant differences at 0.01 level

2.4 盐胁迫对不同品种多年生黑麦草脯氨酸含量的影响 植物在盐胁迫等逆境条件下会积累脯氨酸,且脯氨酸含量越高,抗性越强^[14]。一般情况,脯氨酸含量上升越快,幅度越大,说明植物的抗性越强^[15]。由表 4 可知,随着盐浓度的增大,14 个多年生黑麦草品种的脯氨酸含量总体呈增长趋势。当盐浓度为 1.5% 时,匹克威、启萌、德北极品、全顺、球道、爱神特 6 个品种的脯氨酸含量上升幅度较大,分别为

378.39%、99.47%、85.04%、388.93%、68.61%、78.61%。其中,匹克威和全顺的脯氨酸上升幅度比其他品种高 4 倍以上,说明匹克威和全顺的抗盐性较好。当盐浓度为 1.2% 时,雷神 4 与其他品种的差异达到了极显著水平($P < 0.01$);在盐浓度为 1.5% 时,多年生黑麦草的 14 个品种间的差异都不显著($P > 0.05$),说明当盐浓度增加到 1.5% 时破坏了黑麦草的细胞结构,使得黑麦草的抗盐性减弱。

表 4 盐胁迫对不同品种多年生黑麦草脯氨酸含量的影响

Table 4 Effects of salt stress on the proline contents of different cultivars of perennial *L. perenne*

品种 Cultivars	盐浓度 Salt concentrations//%				
	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
匹克威 Pickwick	451.01 abAB	208.39 dC	570.61 bcdBC	290.64 eC	1 390.41 abcA
启萌 Qimeng	236.57 cdBC	316.70 cdBC	591.15 bcBC	653.82 bcBC	1 304.14 abcA
德北极品 Debeijipin	313.40 bcABC	311.08 cdBC	391.48 cdeBC	511.41 cdeC	946.33 abcA
凯蒂沙 Caddy sand	299.47 bcABC	232.90 cdC	212.51 eC	632.61 cdBC	1 698.70 aA
守门员 Goalkeeper	86.04 dC	204.94 dC	533.63 bcdBC	624.56 cdBC	803.91 bcA
雷神 4 Raytheon 4	335.23 bcABC	540.96 abAB	776.89 bB	1 569.04 aA	1 693.13 aA
龙卷风 Tornado	241.93 cdBC	186.43 dC	268.95 deC	558.99 cdeBC	977.04 abcA
全顺 Quanshun	228.56 cdBC	303.70 cdBC	386.62 cdeBC	320.11 deC	1 565.10 abA
金牌美达利 Jinpaimeidali	262.71 bcdBC	515.98 abAB	204.50 eC	468.24 cdeC	728.13 cA
新速 2 号 Newspeed 2	174.28 cdC	597.48 aA	1 386.06 aA	476.01 cdeC	1 219.86 abcA
天马 Tianma	155.41 cdC	437.85 abcABC	389.01 cdeBC	566.40 cdeBC	1 038.89 abcA
球道 Fairway	298.82 bcABC	300.25 cdBC	273.17 deC	407.28 cdeC	686.72 cA
爱神特 Accent	544.11 aA	535.03 abAB	305.42 cdeC	715.10 bcBC	1 277.25 abcA
博士 Doctor	329.54 bcABC	387.40 bcdABC	255.74 deC	946.28 bB	1 375.85 abcA

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,同列不同大写字母表示在 0.01 水平差异极显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level; different capital letters in the same column indicated extremely significant differences at 0.01 level

2.5 盐胁迫对不同品种多年生黑麦草过氧化氢酶活性的影响 过氧化氢酶可以将超氧化物歧化酶等产生的 H_2O_2 转化为 H_2O ,是清除活性氧的关键,与 SOD 协同作用^[16]。由表 5 可知,随着盐浓度的增加,不同品种多年生黑麦草的过氧化氢酶活性呈先升后降的趋势。当盐浓度从 0.3% 逐渐增加到

1.2% 时,过氧化氢酶活性呈增长趋势;但当盐浓度增加到 1.5% 时,过氧化氢酶活性总体呈下降趋势。当盐浓度为 1.5% 时,新速 2 号与金牌美达利、球道的差异达极显著水平($P < 0.01$);但与其他品种的差异未达显著水平($P < 0.05$),且该品种的过氧化氢酶活性最差,说明新速 2 号的抗盐性较差。

表 5 盐胁迫对不同品种多年生黑麦草过氧化氢酶活性的影响

Table 5 Effects of salt stress on the catalase activities of different cultivars of perennial *L. perenne*

品种 Cultivars	盐浓度 Salt concentrations//%				
	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
匹克威 Pickwick	2.79 abcAB	6.75 aA	10.47 aA	14.14 aA	2.46 bAB
启萌 Qimeng	3.67 abcAB	5.29 abcABCD	3.64 bcdeBCD	10.66 abAB	3.28 abAB
德北极品 Debeijipin	4.70 abAB	5.91 abAB	4.91 bcdeBCD	8.13 bcABC	2.71 bAB
凯蒂沙 Caddy sand	3.49 abcAB	2.82 defEF	5.29 bcdeBCD	5.21 cdBC	4.19 abAB
守门员 Goalkeeper	5.23 aAB	6.35 aA	7.05 bABC	3.54 cdBC	3.60 abAB
雷神 4 Raytheon 4	3.76 abcAB	5.69 abABC	2.03 eD	2.85 cdC	3.57 abAB
龙卷风 Tornado	2.08 bcAB	2.28 efEF	2.79 deBCD	1.70 dC	2.38 bAB
全顺 Quanshun	1.55 cB	3.72 cdeBCDEF	3.06 cdeBCD	2.58 cdC	3.84 abAB
金牌美达利 Jinpaimeidali	3.57 abcAB	3.18 defDEF	7.19 bAB	1.69 dC	5.70 aA
新速 2 号 Newspeed 2	3.69 abcAB	3.34 defCDEF	3.99 bcdeBCD	5.04 cdBC	1.79 bB
天马 Tianma	5.53 aA	5.69 abABC	6.18 bcdABCD	7.29 bcdABC	4.35 abAB
球道 Fairway	5.31 aA	1.79 fF	6.50 bcABCD	3.62 cdBC	5.86 aA
爱神特 Accent	1.84 cAB	4.33 bcdABCDE	2.21 eCD	3.74 cdBC	3.73 abAB
博士 Doctor	2.23 bcAB	2.14 efEF	3.81 bcdeBCD	4.82 cdBC	3.48 abAB

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,同列不同大写字母表示在 0.01 水平差异极显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level; different capital letters in the same column indicated extremely significant differences at 0.01 level

2.6 14 个多年生黑麦草品种的抗盐性综合评价 隶属函数综合评价值反应了各多年生黑麦草品种间的综合抗盐能力的大小,数值越大表明其越耐盐^[8]。由表 6 可知,不同品

种抗盐性由强到弱的顺序为凯蒂沙、球道、天马、匹克威、新速 2 号、全顺、金牌美达利、德北极品、启萌、爱神特、雷神 4、守门员、龙卷风、博士。

表 6 14 个多年生黑麦草品种的抗盐性综合评价

Table 6 The comprehensive evaluation of salt tolerances of 14 cultivars of perennial *L. perenne*

品种 Cultivars	综合评价指标 Comprehensive evaluation index					平均隶属函数值 Average membership function value	抗盐性排 序 Rank of salt tolerance
	叶绿素 Chlorophyll	可溶性糖 Soluble sugar	丙二醛 Malondialdehyde	脯氨酸 Proline	过氧化氢酶活性 Catalase activity		
匹克威 Pickwick	0.87	0.50	0.64	0.32	0.42	0.55	4
启萌 Qimeng	0.52	0.63	0.56	0.36	0.27	0.47	9
德北极品 Debeijipin	0.52	0.53	0.68	0.29	0.47	0.50	8
凯蒂沙 Caddy sand	0.49	2.32	0.58	0.27	0.56	0.84	1
守门员 Goalkeeper	0.35	0.41	0.40	0.51	0.46	0.43	12
雷神 4 Raytheon 4	0.43	0.46	0.42	0.48	0.42	0.44	11
龙卷风 Tornado	0.37	0.47	0.42	0.33	0.50	0.42	13
全顺 Quanshun	0.71	0.58	0.54	0.25	0.61	0.54	6
金牌美达利 Jinpaimeidali	0.60	0.54	0.51	0.44	0.47	0.51	7
新速 2 号 Newspeed 2	0.57	0.47	0.64	0.49	0.55	0.54	5
天马 Tianma	0.58	0.65	0.62	0.41	0.50	0.55	3
球道 Fairway	0.75	0.57	0.59	0.29	0.60	0.56	2
爱神特 Accent	0.59	0.47	0.30	0.38	0.53	0.46	10
博士 Doctor	0.31	0.44	0.49	0.36	0.43	0.40	14

3 结论与讨论

随着盐浓度的增加,14 个多年生黑麦草品种的叶绿素含量总体呈下降趋势,这与前人^[16]研究结果一致。随着盐胁迫的增强,除凯蒂沙呈上升趋势外,其他品种的多年生黑麦草叶绿素含量总体呈现下降趋势,造成这一现象的原因有可能是凯蒂沙的抗盐性较好,1.5% 盐浓度还未对其造成伤害,也有可能是试验过程中出现了失误。盐胁迫会使植物的生理过程受到干扰,降低水势,破坏膜系统,积累有害代谢产物,这些都有可能直接或间接地造成叶绿素含量下降。14 个多年生黑麦草品种的丙二醛含量随着盐胁迫的加强,总体呈上升趋势,这与赵功强等^[17]、周志红^[18]的研究结果一致。丙二醛是植物抵抗盐胁迫的重要渗透调节物质,其含量的增高可提高对盐胁迫的抵抗能力,从而维持细胞的正常代谢,使植物具有一定的抗盐性。张改过^[13]、李淑梅等^[19]研究显示,黑麦草在盐胁迫下可溶性糖含量呈上升趋势。该试验结果显示,随着盐浓度的增加,14 个多年生黑麦草品种的可溶性糖含量总体呈上升趋势。植物体内的可溶性糖是主要的渗透调节剂,盐胁迫会使植物细胞的水势升高,而可溶性糖的累积降低水势,增强植物的抗盐性。随盐浓度的增加,黑麦草各个品种的脯氨酸含量总体呈上升趋势,这与李孔晨等^[14]的研究结果一致。植物为了提高抗盐性,会累积脯氨酸来降低细胞水势,抵抗外界渗透胁迫,从而在盐胁迫环境中生存。不同品种多年生黑麦草的过氧化氢酶活性随着盐浓度的增加呈先升后降的趋势,其原因可能是当盐浓度达到 1.5% 时,过高的盐浓度,造成过氧化氢酶失活。该试验结果显示,随着盐胁迫程度的加剧,过氧化氢酶活性先上升后下降,这与李晓雅等^[20]结果相符。

单一的指标间比较不能全面反映多年生黑麦草品种间抗盐性的强弱,因此,该试验综合 14 个黑麦草品种 5 项抗盐性指标,采用隶属函数综合评价其抗盐能力,抗盐性由强至弱的顺序为凯蒂沙、球道、天马、匹克威、新速 2 号、全顺、金牌美达利、德北极品、启萌、爱神特、雷神 4、守门员、龙卷风、博士。其中,凯蒂沙的抗盐性最好,博士的抗盐性最差。因此,可初步考虑在宁夏地区推广凯蒂沙品种来建植草坪、防

风固沙、美化环境,同时该品种还能有效利用、改良该地区的大面积盐渍地。

参考文献

- [1] MUNNS R. Genes and salt tolerance: Bringing them together[J]. *New phytologist*, 2005, 167(3): 645–663.
- [2] TESTER M, DAVENPORT R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants[J]. *Annals of botany*, 2003, 91(5): 503–527.
- [3] ALSHAMMARY S F, QIAN Y L, WALLNER S J. Growth response of four turfgrass species to salinity[J]. *Agricultural water management*, 2004, 66(2): 97–111.
- [4] 李聪敏, 王彦兵. 宁夏引黄灌区耕地土壤盐渍化现状及影响因素调查研究[J]. *地下水*, 2007, 29(3): 41–44.
- [5] 鲍子云, 仝炳伟. 宁夏引黄灌区中低产田类型与改造措施[J]. *宁夏农林科技*, 2007(5): 123–124, 133.
- [6] 赵剑, 马福荣, 杨文杰, 等. 高压静电场(HVEF)对大豆种子吸胀冷害的影响[J]. *生物物理学报*, 1995, 11(4): 595–598.
- [7] 李合生. *植物生理生化实验原理和技术*[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134–261.
- [8] 陈德明, 俞仁培, 杨劲松. 盐渍条件下小麦抗盐性的隶属函数值法评价[J]. *土壤学报*, 2002, 39(3): 368–374.
- [9] 何惠琴, 李绍才, 孙海龙, 等. 4 种草坪草种耐盐性研究[J]. *四川师范大学学报(自然科学版)*, 2010, 33(1): 97–101.
- [10] DEMMIG-ADAMS B, ADAMS W W III. Photoprotection and other responses of plants to high light stress[J]. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1992, 43: 599–626.
- [11] JALEEL C A, SANKAR B, SRIDHARAN R, et al. Soil salinity alters growth, chlorophyll content, and secondary metabolite accumulation in *Catharanthus roseus*[J]. *Turkish journal of biology*, 2008, 32(2): 79–83.
- [12] 洪丽芸, 田大伦, 李芳, 等. 不同灌溉方式对银杏水分生理的影响[J]. *中国林业科技大学学报*, 2008, 28(1): 49–52.
- [13] 张改过. 黑麦草耐盐性的研究[J]. *山西农林科技*, 2009, 38(2): 19–21.
- [14] 李孔晨, 卢欣石. 黑麦草属 9 个品种萌发及苗期耐盐性研究[J]. *草业科学*, 2008, 25(3): 111–115.
- [15] 吕静, 刘卫东, 王丽, 等. 4 种暖季型草坪草的抗旱性分析[J]. *中国林业科技大学学报*, 2010, 30(3): 100–104.
- [16] BOWLER C, VAN MONTAGU M, INZÉ D. Superoxide dismutase and stress tolerance[J]. *Annual review plant physiology and plant molecular biology*, 1992, 43(1): 83–116.
- [17] 赵功强, 赵萍. 8 个高羊茅品种幼苗期抗盐性比较[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(20): 8447–8449, 8452.
- [18] 周志红. 3 种冷季型草坪草对盐胁迫的生理响应[J]. *草原与草坪*, 2014, 34(2): 81–85.
- [19] 李淑梅, 王付娟, 董丽平, 等. 盐分胁迫对黑麦草幼苗生理生化特性的影响[J]. *种子*, 2015, 34(5): 95–97.
- [20] 李晓雅, 赵翠珠, 程小军, 等. 盐胁迫对亚麻荠幼苗生理生化指标的影响[J]. *西北农业学报*, 2015, 24(4): 76–83.