

文章编号: 1674-7054(2020)01-0011-09

海雀稗种质资源的耐盐性评价

申 晴^{1,2}, 韦海燕^{1,2}, 卞 华^{1,2}, 王志勇³, 丁西朋²

(1. 海南大学 热带作物学院/海南省耐盐作物生物技术重点实验室, 海口 570228; 2. 中国热带农业科学院 热带作物品种资源研究所, 海口 571101; 3. 海南大学 热带特色林木花卉遗传与种质创新教育部重点实验室, 海口 570228)

摘 要: 对海雀稗耐盐体系进行优化, 并通过测定坪用质量和枯黄率对 27 份海雀稗种质资源进行了耐盐性评价。结果表明, 7 个不同 NaCl 浓度(0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 g·L⁻¹)处理下, 坪用质量、枯黄率和叶色各指标之间存在显著差异($P<0.05$)。随着 NaCl 处理浓度的增加, 坪用质量显著下降($P<0.05$), 枯黄率显著增加($P<0.05$), 叶色显著变浅($P<0.05$)。建立回归方程, 以枯黄率 50% 为标准, 确定海雀稗最适盐处理浓度为 25 g·L⁻¹。利用 25 g·L⁻¹ NaCl 对 27 份海雀稗种质资源进行耐盐性评价, 筛选出 2 种极端耐盐种质: USA17-18(耐盐)和 USA17-26(敏盐)。对海雀稗耐盐极端材料的钠钾离子含量进行测定, 发现盐处理后, 地上和地下 Na⁺含量均显著增加, 但 K⁺含量和 K/Na 值都显著下降。减少 Na⁺的摄入, 维持较高的 K⁺含量, 可能是海雀稗耐盐的机制。

关键词: 海雀稗; 耐盐性; 坪用质量; 枯黄率

中图分类号: S 543+.9

文献标志码: A

DOI: 10.15886/j.cnki.rdswwb.2020.01.003

土地盐碱化是指土壤含盐量超过 0.3% 使农作物低产或不能生长^[1]。土地盐碱化日益加剧, 已成为全球性的生态问题。目前, 我国盐碱化土壤面积约为 3.69×10^7 hm²^[2], 造成大面积土地资源难以被利用, 严重制约了农业生产和生态环境的可持续发展。随着经济的发展和耕地的减少, 人们越来越重视对沿海盐碱地的开发和利用^[3], 因此, 培育耐盐品种是改良盐碱地土壤的有效途径之一^[4]。海雀稗(*Paspalum vaginatum* Sw.) 为多年生禾本科的暖季型草坪草, 具有耐盐、耐镭、抗旱、耐践踏等多种优良抗逆性^[5-8]。广泛分布于马来西亚、澳大利亚、南非、美国南部以及我国海南、广西、广东等热带、亚热带沿海地区^[9]。海雀稗作为草坪草, 已广泛应用于高尔夫球场、运动场、景观绿地等休闲及运动草坪中^[10]。海雀稗主要生长在沿海高盐度的生境中, 因此, 人们开始对其耐盐性进行研究, 发现与其他品种相比, 海雀稗具有更好的耐盐性^[11]。MARCUM^[12] 通过水培法对 6 种暖季型草坪草进行盐胁迫, 发现海雀稗耐盐性最强。同一草种不同品种或品系的耐盐性有明显差异^[13], 因此需要进行耐盐性评价, 从中筛选出耐盐性较强的品种或品系。LEE 等^[14] 对 93 份海雀稗种质资源进行耐盐性评价, 筛选出 SI92, SI93-1, SI93-2, SI94-1 和 HI101 等耐盐性较强的种质。海雀稗作为优良的暖季型草坪草资源, 是改良盐渍化土壤的优异草种, 具有重要的经济价值和生态价值, 也正日益受到人们的重视。目前, 对国内外海雀稗种质资源进行耐盐性评价的研究报道较少。为高效地开发和利用海雀稗, 本实验通过水培法对海雀稗耐盐体系进行优化, 并对 27 份国

收稿日期: 2019-11-18

修回日期: 2019-12-15

基金项目: 2017 年海南省研究生创新科研课题(Hys2017-81); 2018 年海南大学作物学学科研究生科研创新课题(ZWCX2018032); 滇桂黔石漠化地区特色作物产业发展关键技术集成示范项目; 海南省教育厅重点项目(Hnky2019ZD-3); 科技基础资源调查专项(2017FY100600)

第一作者: 申晴(1993-), 女, 海南大学热带作物学院 2016 级硕士研究生. E-mail: qingshen0709@163.com

通信作者: 王志勇(1979-), 男, 教授. 研究方向: 暖季型草坪草种质资源评价与遗传育种. E-mail: wangzhiyong@hainu.edu.cn; 丁西朋(1982-), 男, 副研究员. 研究方向: 热带牧草遗传育种. E-mail: xipding@163.com

内外海雀稗种质资源进行耐盐性评价,筛选出耐盐性较强的种质,旨在丰富我国草坪草耐盐种质资源,也为选育优质耐盐海雀稗品种提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料 本试验材料为来自国内外的 27 份海雀稗种质资源(表 1),其中 20 份从美国引进,7 份来自海南,现保存于海南大学儋州校区农科基地。试验材料按序号顺序分别种植在 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的小区内,每 2 周对小区边缘进行 1 次修剪,以防止不同材料间的混淆。进行常规灌溉和施肥,以保持材料的健康生长。

表 1 海雀稗供试材料来源

Tab. 1 The sources of *Paspalum vaginatum* accessions under test

序号 No.	材料名 Materials	来源 Sources	序号 No.	材料名 Materials	来源 Sources
1	USA17-1	美国	15	USA17-35	美国
2	USA17-2	美国	16	USA17-38	美国
3	USA17-4	美国	17	USA17-42	美国
4	USA17-6	美国	18	USA17-46	美国
5	USA17-8	美国	19	USA17-47	美国
6	USA17-9	美国	20	Seaspray	美国
7	USA17-11	美国	21	HN17-13	海南万宁
8	USA17-12	美国	22	HN17-16	海南文昌
9	USA17-18	美国	23	HN17-18	海南文昌
10	USA17-19	美国	24	HN17-29	海南东方
11	USA17-20	美国	25	HN17-42	海南三亚
12	USA17-24	美国	26	HN17-52	海南临高
13	USA17-26	美国	27	HN17-54	海南临高
14	USA17-30	美国			

1.2 海雀稗种质资源耐盐体系优化 随机选取 3 份田间坪用质量较好的海雀稗材料(USA17-35, USA17-47 和 Seaspray),从试验地取大小、生长一致的匍匐茎,种植于装好石英砂的塑料杯中。在塑料杯杯底垫 1 块大小合适的纱布,以防止石英砂外漏。参照 MARCUM 等^[15]及陈静波等^[16]的试验方法,采用水培法对海雀稗材料进行预培养,每周换营养液并进行修剪。参照钟小仙等^[17]的方法,设置 0(对照),5, 10, 15, 20, 25 和 $30\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 共 7 个浓度。修剪一致后开始进行盐处理,处理 28 d 后,采用目测打分法记录坪用质量、叶片枯黄率和叶色。

1.3 海雀稗种质资源耐盐性评价 利用筛选出的盐浓度($25\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl),对 27 份海雀稗种质资源进行耐盐性评价。选取健康的匍匐茎,水培法预培养 3 个月左右,修剪后,开始盐处理,以不加 NaCl 作为对照。为防止高浓度盐冲击,以每天 $5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 的浓度逐渐增加。第 5 天时,达到预期的 $25\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 浓度。盐处理 28 d 后,采用目测打分法记录叶片枯黄率和坪用质量。然后对极端耐盐材料测定钠、钾离子含量。

1.4 测定指标及方法 测定指标参考廖丽等^[18]和 GUO 等^[19]的方法,具体测定方法如下:(1)坪用质量:采用目测法,参照 NTEP(The National Turfgrass Evaluation Program,美国国家草坪评比项目)标准,以草坪的密度、质地、颜色、均一性等为指标进行综合评分,坪用质量最高为 9 分,6 分为可以接受的草坪质量,

1 分为草坪死亡。3 人打分求平均值。

相对坪用质量=(处理坪用质量/对照坪用质量)×100%。

(2) 枯黄率: 采用目测法记录枯黄叶片面积占总面积的百分比。3 人打分求平均值。

(3) 叶色: 采用目测法记录不同材料的叶色, 重复 3 次并求平均值。采用 9 分级, 分别为蓝绿(9 分)、深绿(7 分)、绿(5 分)、浅绿(3 分)、黄绿(1 分)。

(4) 钠、钾离子含量: 采用微波消解法和火焰光度计测量海雀稗地上、地下部分的 Na^+ , K^+ 含量。

1.5 数据处理 采用 Excel 软件和 SPSS 20.0 软件进行数据整理及分析。

2 结果与分析

2.1 海雀稗耐盐体系优化 不同 NaCl 浓度处理之间, 海雀稗生长差异明显(图 1)。随着 NaCl 浓度的增加, 海雀稗生长呈现出枯黄率增加, 叶色逐渐变浅, 坪用质量随之降低。对照条件下, 海雀稗生长状况良好, 颜色健康; 低浓度($5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl)促进了海雀稗的生长; ($10 \sim 20$) $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 处理的海雀稗生长受到抑制, 但是坪用质量较好; 高浓度($25, 30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl)抑制了其生长, $25 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 处理下海雀稗植株就会出现 50% 以上的枯黄, 叶色变得很浅, 叶片也因盐胁迫而卷曲, 尤其是 NaCl 浓度在 $30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 植株受到严重胁迫, 大部分叶片已经死亡, 存活的叶片也渐渐变黄。

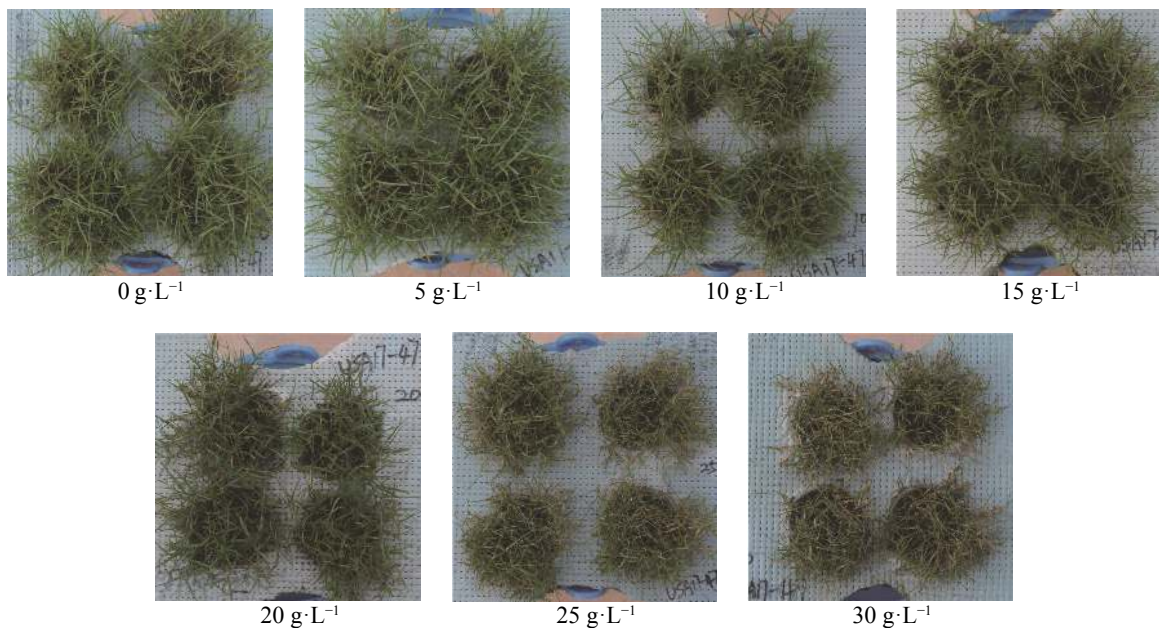


图 1 不同浓度 NaCl 处理对海雀稗(USA17-47)的影响

Fig. 1 Effects of different NaCl concentrations on *P. vaginatum* accession USA17-47

2.1.1 盐处理对坪用质量的影响 在盐胁迫下, 随着 NaCl 浓度的增加, 海雀稗坪用质量呈现逐渐下降趋势(表 2)。低浓度($5, 10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl)处理坪用质量较好, 与对照无显著差异, 而与高浓度($25, 30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl)处理间差异显著($P < 0.05$)。($0 \sim 15$) $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 各处理间和($20 \sim 30$) $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 各处理间无显著差异($P > 0.05$)。低浓度($5, 10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl)处理下, 海雀稗坪用质量在 6 分左右, 但在高浓度($25, 30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl)处理下, 海雀稗坪用质量低于 4 分, 均显著低于对照处理($P < 0.05$)。

2.1.2 盐处理对枯黄率的影响 不同 NaCl 浓度处理对海雀稗枯黄率的影响较大, 各处理之间显著差异($P < 0.05$)(表 2)。低浓度($5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl)处理下, 海雀稗的枯黄率较低, 在 10% 左右, 与对照无显著性差异($P > 0.05$), 而中等、高浓度($15 \sim 30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl)各处理枯黄率与对照处理存在显著差异($P < 0.05$)。中等浓度($10 \sim 20 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl)与高浓度($25, 30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl)处理之间也存在着显著差异($P < 0.05$), ($0 \sim 20$) $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 处理间, 叶片枯黄率基本低于 40%, 但在高浓度($25, 30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl)处理时, 海雀稗的枯黄率在

表2 不同浓度 NaCl 对海雀稗材料的影响

Tab. 2 Effects of different NaCl concentrations on *P. vaginatum* accessions

编号 Codes	浓度/(g·L ⁻¹) Concentration	坪用质量 Turf quality	枯黄率 Leaf firing	叶色 Leaf colour
USA17-35	0	6.83±2.02a	8.33±2.89e	6.67±0.58a
	5	6.67±1.53a	13.33±2.89de	6.00±0.50ab
	10	6.17±1.44ab	21.67±7.64cd	5.50±0.87ab
	15	5.67±1.44abc	31.67±12.58c	4.67±0.76bc
	20	4.00±0.50bcd	50.00±8.66b	3.33±0.29cd
	25	3.67±0.58cd	51.67±2.89b	3.17±1.04d
	30	2.33±0.58d	68.33±7.64a	2.00±1.00d
	USA17-47	0	7.00±2.18a	6.67±2.89f
5		6.83±1.76a	6.67±2.89f	7.00±0.00a
10		5.50±1.80ab	13.33±2.89e	5.83±0.76ab
15		5.33±1.61ab	21.00±3.61d	5.17±0.76b
20		5.00±1.32ab	29.33±5.13c	5.00±1.00b
25		3.50±0.50b	51.67±2.89b	3.33±0.58c
30		2.83±0.76b	66.67±2.89a	2.67±0.58c
Seaspray		0	5.83±1.61a	8.33±2.89e
	5	6.17±1.44a	6.00±1.73e	6.67±0.29a
	10	5.33±1.61ab	13.33±2.89de	5.67±0.58b
	15	4.17±1.04abc	23.33±10.41cd	4.83±0.29c
	20	3.67±1.04bcd	34.33±8.14c	4.17±0.29cd
	25	3.17±1.04cd	48.33±7.64b	3.67±0.58d
	30	1.83±0.29d	76.67±10.41a	2.00±0.00e

注: 同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$) (LSD)。

Note: Different lowercase letters within the same column mean significant difference at 0.05 by LSD.

50% 以上。

2.1.3 盐处理对叶色的影响 海雀稗的叶色随着 NaCl 浓度的增加呈现由深变浅的趋势(图 1, 表 2)。在低浓度(5, 10 g·L⁻¹ NaCl)处理下, 海雀稗叶色较深, 与对照无显著性差异($P > 0.05$), 而与中等、高浓度(15 ~ 30 g·L⁻¹ NaCl)处理之间有显著差异($P < 0.05$)。中等浓度(15, 20 g·L⁻¹ NaCl)处理, 海雀稗叶色相对于对照颜色较浅, 与高浓度(25, 30 g·L⁻¹ NaCl)处理的也有一些差异。高浓度(25, 30 g·L⁻¹ NaCl)处理, 叶色下降更多, 显著低于对照($P < 0.05$)。5 g·L⁻¹ NaCl 处理, 叶色大致在 7 分, 具有良好的视觉效果; 而在 10, 15 g·L⁻¹ NaCl 处理下, 叶色仅有 5 分左右; 25, 30 g·L⁻¹ NaCl 处理, 叶色均低于 4 分, 视觉效果显著下降。

2.1.4 各指标间的相关性分析 各指标间均达到极显著相关($P < 0.01$) (表 3)。其中坪用质量与枯黄率之间呈极显著负相关($r = -0.787$); 坪用质量与叶色间呈极显著正相关($r = 0.847$); 枯黄率与叶色呈极显著负相关($r = -0.917$)。

表3 海雀稗各指标间的相关系数

Tab. 3 Correlation coefficients between indices

	坪用质量 Turf quality	枯黄率 Leaf firing	叶色 Leaf colour
坪用质量 Turf quality	1.000		
枯黄率 Leaf firing	-0.787**	1.000	
叶色 Leaf colour	0.847**	-0.917**	1.000

注: ** 表示在 0.01 水平上显著相关。

Note: ** indicate significant correlation at 0.01 level.

2.1.5 临界盐处理浓度的计算 分别以海雀稗不同 NaCl 浓度处理的枯黄率为自变量, NaCl 处理浓度作为因变量, 建立回归方程, 分别求得线性回归方程 USA17-35: $Y=0.6788X-0.0027X^2-4.3012$, $R^2=0.9806$; USA17-47: $Y=0.9673X-0.0074X^2-2.8258$, $R^2=0.9659$; Seaspray: $Y=0.8375X-0.0055X^2-2.1662$, $R^2=0.9576$ 。参照徐毓皎等^[20]的方法, 以叶片枯黄率为 50% 的 NaCl 浓度作为海雀稗的临界盐处理浓度, 得出海雀稗具有 50% 存活的临界盐处理浓度分别为 22.89, 27.04 和 25.96 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 平均为 25.30 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。为了操作方便, 本研究选取的最适盐处理浓度为 25 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

2.2 海雀稗种质资源耐盐性的评价

2.2.1 盐处理对不同海雀稗种质资源的影响 以相对坪用质量和枯黄率为主要测定指标, 利用 25 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 对 27 份海雀稗种质资源进行耐盐评价, 如图 2, 3 所示, 海雀稗不同种质资源之间的相对坪用质量无显著差异, 枯黄率存在明显差异。盐处理下, 海雀稗的耐盐性因材料不同而不同。USA17-18, HN17-18, HN17-13, USA17-01 和 HN7-29 的相对坪用质量都在 0.80 左右, 表明这些海雀稗材料的耐盐性较好; USA17-19, HN17-42, USA17-30, USA17-35 和 USA17-26 的相对坪用质量均在 0.65 左右, 说明这些海雀稗材料的耐盐性较差(图 2)。USA17-18, Seaspray, USA17-02 和 HN17-18 的枯黄率均小于 40%, 说明它们受盐处理的影响相对较小; 而 USA17-24, USA17-19, USA17-30 和 USA17-26 的枯黄率均大于 70%, 说明它们的生长受盐处理的影响较为严重。相对坪用质量和枯黄率 2 个指标综合分析, 发现 USA17-18 的相对坪用质量较高, 枯黄率较低; USA17-26 的相对坪用质量较低, 枯黄率较高, 因此筛选出极端耐盐种质: USA17-18(耐盐)和 USA17-26(敏盐)(图 4)。

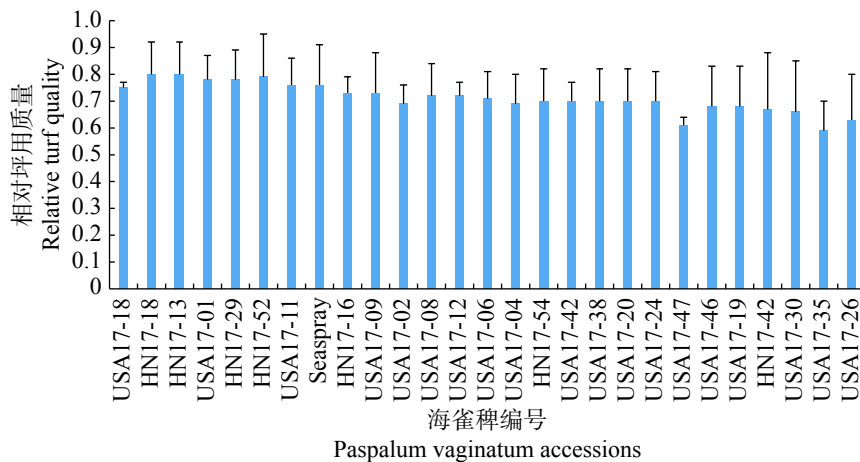


图 2 盐处理对不同海雀稗种质资源相对坪用质量的影响

Fig. 2 Effects of salt tolerance on the relative turf quality of different accessions of *P. vaginatum*

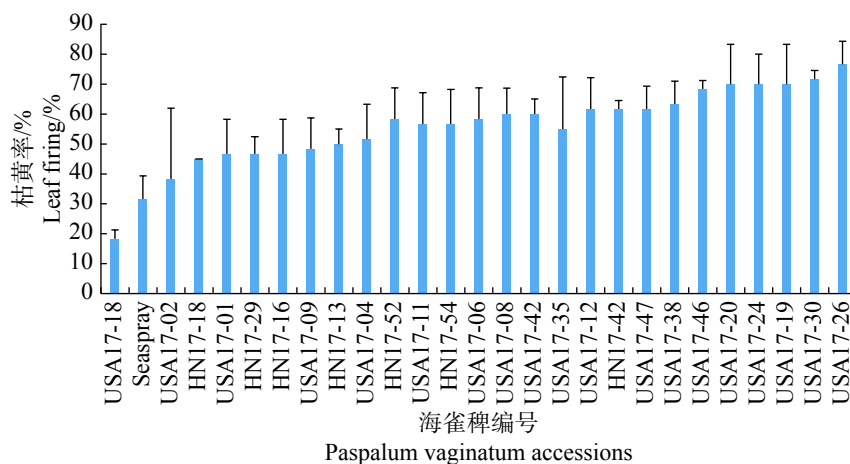


图 3 盐处理对不同海雀稗种质资源枯黄率的影响

Fig. 3 Effects of salt tolerance on the leaf firing of different accessions of *P. vaginatum*

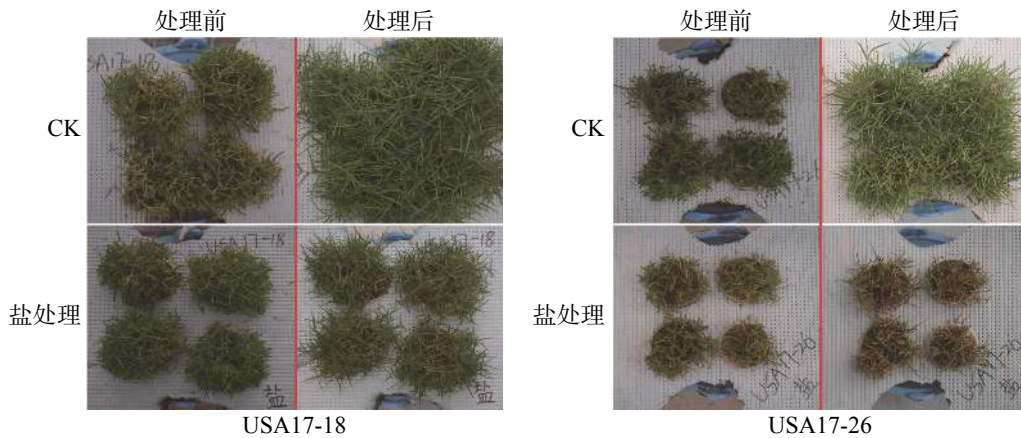
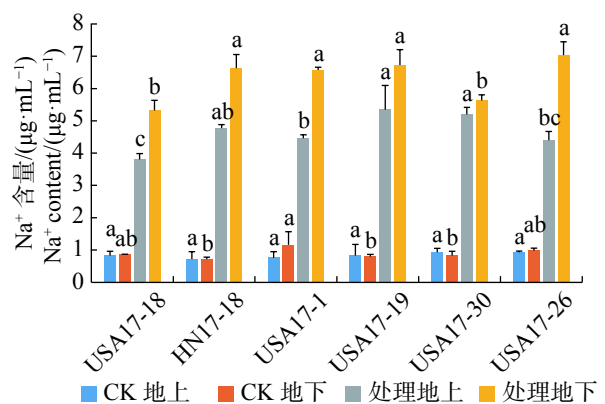
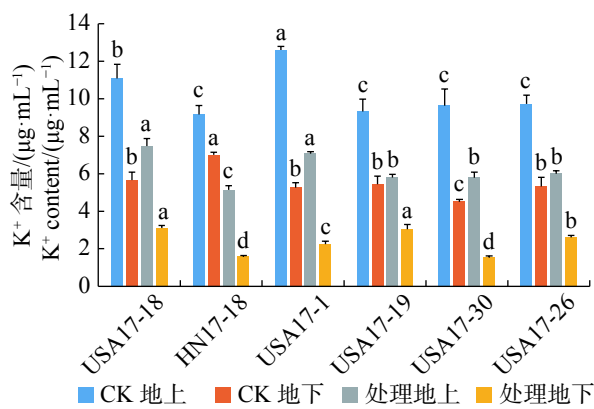
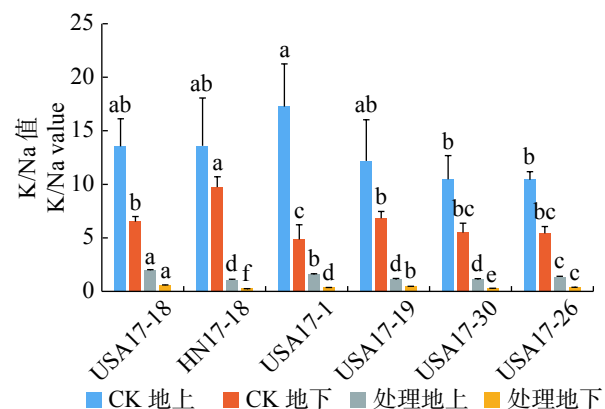


图4 海雀稗耐盐极端种质比较

Fig. 4 Comparison of *P. vaginatum* accessions very highly or less tolerant to salt

2.2.2 盐胁迫后海雀稗的钠钾离子含量 对海雀稗耐盐极端材料的钠钾离子含量进行测定,发现盐胁迫后,地上和地下 Na^+ 含量均显著增加,但 K^+ 含量和 K/Na 值都显著下降(图 5, 6, 7)。耐盐材料(USA17-18, HN17-18 和 USA17-1)的 Na^+ 含量比敏感材料(USA17-19、USA17-30 和 USA17-26)低;耐盐材料的 K^+ 含量比敏感材料高;而 K/Na 值无显著变化。减少 Na^+ 的摄入,维持较高的 K^+ 含量,可能是海雀稗耐盐的机制。

图5 海雀稗耐盐极端材料的 Na^+ 含量Fig. 5 Na^+ contents of *P. vaginatum* accessions very highly or less tolerant to salt图6 海雀稗耐盐极端材料的 K^+ 含量Fig. 6 K^+ contents of *P. vaginatum* accessions very highly or less tolerant to salt图7 海雀稗耐盐极端材料的 K/Na 值Fig. 7 K/Na value of *P. vaginatum* accessions very highly or less tolerant to salt

3 讨论

土壤盐碱化严重降低了作物的生产力,开发盐碱地是农业生产将面临的重大难题。种植耐盐性较强的植物被认为是最为经济高效的盐碱地改良的方法^[21]。草坪草在生长过程中,受到盐胁迫,生长速度减慢,生物量降低。而且高盐胁迫下,叶片枯黄增加,甚至叶片边缘出现灼烧现象,从而降低了坪用质

量^[20]。很多暖季型草坪草都比较耐盐^[12-13,15,22-23], 比如海雀稗、沟叶结缕草、结缕草等, 被认为是盐生植物^[24]。许多学者对暖季型草坪草的耐盐能力进行了研究。MARCUM^[12]发现 6 种草坪草的耐盐能力依次为海雀稗>沟叶结缕草>钝叶草>狗牙根>结缕草>假俭草。陈静波等^[4,25]也报道过暖季型草坪草中, 海雀稗的抗 NaCl 能力较强。

坪用质量、叶片枯黄率和叶色是评价草坪草耐盐性的常用指标^[26]。目前利用这 3 个指标对草坪草盐胁迫的响应进行了大量研究^[5,17,25,27]。本研究选取了坪用质量、枯黄率和叶色这 3 个指标进行海雀稗耐盐体系优化。结果表明, 在盐胁迫下, 海雀稗种质资源的生长响应表现为叶片枯黄率增加, 坪用质量下降, 生长受到抑制。在本研究中, 当 NaCl 浓度不断增加时, 叶片枯黄率随之增加, 坪用质量随之降低, 叶色也逐渐变浅, 与 GUO 等^[19]的研究结果一致。但是在 5 g·L⁻¹ NaCl 处理时, 对海雀稗的生长有促进作用, 当 NaCl 浓度提高到 10 g·L⁻¹ 时, 海雀稗生长开始受到抑制, 与陈静波等^[25]的研究结果一致。本研究中海雀稗叶色随着 NaCl 浓度增加而显著下降, 高浓度(25, 30 g·L⁻¹)NaCl 处理, 叶片卷曲且出现 50% 以上的枯黄, 尤其是在 30 g·L⁻¹ 时植株受到严重胁迫, 大部分叶片已经死亡, 存活的叶片也渐渐变黄, 此结果与竹节草^[28]和钝叶草^[20]耐盐性的研究结果相似。相关性分析结果可知, 坪用质量与枯黄率之间呈极显著负相关($P<0.01$), 说明盐处理下枯黄率的增加影响了坪用质量的变化, 与廖丽等^[29]的研究结果一致。徐毓皎等^[20]对钝叶草盐胁迫半致死浓度筛选中确定了 50% 枯黄率时的 NaCl 浓度为临界浓度。本研究通过建立回归方程, 确定了海雀稗最适盐处理浓度为 25 g·L⁻¹。

本研究利用 25 g·L⁻¹ NaCl 对 27 份海雀稗种质资源进行耐盐性评价时, 发现海雀稗不同种质资源之间的枯黄率存在明显差异, 其耐盐性因品种不同而异, 这与 GUO 等^[19]的研究结果一致。本研究在测定钠钾离子含量时, 发现盐处理后地上和地下 Na⁺含量均显著增加, 但 K⁺含量和 K/Na 值都显著下降, 说明海雀稗受到盐处理后 Na⁺抑制 K⁺的吸收, 与 LEE 等^[30]和李珊^[31]的研究结果一致。本研究还发现耐盐材料的 Na⁺含量比敏盐材料低; 耐盐材料的 K⁺含量比敏盐材料高。所以减少 Na⁺的摄入, 维持较高的 K⁺含量, 可能是海雀稗耐盐的机制。本研究结果为优质耐盐海雀稗品种的选育提供理论依据, 也为盐碱化土壤的改良奠定了基础。

参考文献:

- [1] 许媛媛. 浅谈新疆盐碱地改良利用的措施[J]. *甘肃农业*, 2014(16): 65-67.
- [2] 冯宇, 周颜, 杨虎彪, 等. 6 种豇豆属植物耐盐性评价及光合特性研究[J]. *热带作物学报*, 2018, 39(12): 2410-2420.
- [3] 姚瑞玲, 方升佐. NaCl 胁迫及钙调节对青钱柳根部组织离子分布的影响[J]. *植物资源与环境学报*, 2007, 16(2): 22-26.
- [4] 陈静波, 阎君, 姜燕琴, 等. NaCl 胁迫对 6 种暖季型草坪草新选系生长的影响[J]. *植物资源与环境学报*, 2007, 16(4): 47-52.
- [5] 贾新平, 邓衍明, 孙晓波, 等. 盐胁迫对海滨雀稗生长和生理特性的影响[J]. *草业学报*, 2015, 24(12): 204-212.
- [6] WU X L, SHI H F, GUO Z F. Overexpression of a NF-YC gene results in enhanced drought and salt tolerance in transgenic seashore paspalum [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 9: 1355.
- [7] 段瑞军, 吴朝波, 王蕾, 等. 镉胁迫对海雀稗脯氨酸、可溶性糖和叶绿素含量及氮、磷、钾吸收的影响[J]. *江苏农业学报*, 2016, 32(2): 357-361.
- [8] SHAHBA M A, ABBAS M S, ALSHAMARY S F, et al. Drought resistance strategies of seashore paspalum cultivars at different mowing heights [J]. *HortScience*, 2014, 49: 221-229.
- [9] CHEN Z, KIM W, NEWMAN M, et al. Molecular characterization of genetic diversity in the USDA seashore paspalum germplasm collection [J]. *International Turfgrass Science Journal*, 2005, 10: 543-549.
- [10] 解新明, 卢小良. 海滨雀稗种质资源的优良特性及其利用价值[J]. *华南农业大学学报*, 2004, 25(Z2): 64-67.
- [11] 陈静波, 褚晓晴, 李珊, 等. 盐水灌溉对 7 属 11 种暖季型草坪草生长的影响及抗盐性差异[J]. *草业科学*, 2012, 29(8): 1185-1192.
- [12] MARCUM K B. Salinity tolerance mechanisms of six C₄ turfgrasses [J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1994, 119(4): 779-784.
- [13] QIAN Y L, ENGELKE M C, FOSTER M J V. Salinity effects on Zoysiagrass cultivars and experimental lines [J]. *Crop Science*, 2000, 40: 488-492.

- [14] LEE G, CARROW R N, DUNCAN R R. Criteria for assessing salinity tolerance of the halophytic turfgrass seashore paspalum [J]. *Crop Science*, 2005, 45: 251 – 258.
- [15] MARCUM K B, ANDERSON S J, ENGELKE M C. Salt gland ion secretion: A salinity tolerance mechanism among five Zoysiagrass species [J]. *Crop Science*, 1998, 38: 806 – 810.
- [16] 陈静波, 阎君, 姜燕琴, 等. 暖季型草坪草优良选系和品种抗盐性的初步评价[J]. *草业学报*, 2009, 18(5): 107 – 114.
- [17] 钟小仙, 刘智微, 钱晨, 等. 海盐胁迫对海雀稗新品系 SP2008-3 植株形态与生长量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(2): 285 – 287.
- [18] 廖丽, 陈玉华, 赵亚荣, 等. 地毯草种质资源形态多样性[J]. *草业科学*, 2015, 32(2): 248 – 257.
- [19] GUO H L, WANG Y, LI D D, et al. Growth response and ion regulation of seashore paspalum accessions to increasing salinity [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2016, 131: 137 – 145.
- [20] 徐毓皎, 周宇杰, 罗瑛, 等. 钝叶草盐胁迫的临界浓度初步研究[J]. *草业科学*, 2018, 35(4): 816 – 821.
- [21] 龙卫华. 油菜发芽期耐盐评价、筛选与盐胁迫下根转录组分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
- [22] MARCUM K B. Use of saline and non-potable water in the turfgrass industry: Constraints and developments [J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 80(1-3): 132 – 146.
- [23] LEE G, DUNCAN R R, CARROW R N. Salinity tolerance of seashore paspalum ecotypes: Shoot growth responses and criteria [J]. *HortScience*, 2004, 39(5): 1138 – 1142.
- [24] 赵可夫, 李法曾. 中国盐生植物[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 1 – 40.
- [25] 陈静波, 阎君, 郭海林, 等. 暖季型草坪草大规模种质资源抗盐性评价指标的选择[J]. *草业科学*, 2008, 25(4): 95 – 99.
- [26] GUO H L, DING W W, CHEN J B, et al. Genetic linkage map construction and QTL mapping of salt tolerance traits in Zoysia grass (*Zoysia japonica*) [J]. *PLOS One*, 2014, 9(9): e107249.
- [27] 廖丽, 涂光秀, 王志勇, 等. 海雀稗优良品系 SA01 的耐盐性评价[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(4): 250 – 253.
- [28] 张静, 廖丽, 白昌军, 等. 竹节草对 NaCl 胁迫临界浓度的初步研究[J]. *草地学报*, 2014, 22(3): 661 – 664.
- [29] 廖丽, 张静, 吴东德, 等. 竹节草种质资源耐盐性初步评价[J]. *热带作物学报*, 2014, 35(10): 1905 – 1911.
- [30] LEE G J, YOO Y K, KIM K S. Comparative salt tolerance study in Zoysia grasses III. Changes in inorganic constituents and proline contents in eight Zoysia grasses (*Zoysia spp.*) [J]. *Journal of Korea Society of Horticulture Science*, 1994, 35(3): 241 – 250.
- [31] 李珊. 结缕草属植物耐盐性评价及其耐盐机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.

Evaluation of Salt Tolerance of *Paspalum vaginatum* Germplasm Resources

SHEN Qing^{1,2}, WEI Haiyan^{1,2}, BIAN Hua^{1,2}, WANG Zhiyong³, DING Xipeng²

(1. Institute of Tropical Crops, Hainan University/Hainan Key Laboratory for Biotechnology of Salt Tolerant Crops, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 2. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China;

3. Key Laboratory of Ministry of Education for Genetics and Germplasm Innovation of Tropical Special Trees and Ornamental Plants, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: In order to obtain salt-tolerant *Paspalum vaginatum* Germplasm resources, the Salt tolerance system of *Paspalum vaginatum* was optimized and used to evaluate the salt tolerance of 27 accessions of *P. vaginatum*. The accessions were treated with NaCl at 7 levels of concentration (0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30 g·L⁻¹) and their turf quality, leaf firing and leaf color were measured. The results showed that there were significant differences in the indicators of turf quality, leaf firing and leaf colour ($P < 0.05$) between the *P. vaginatum* accessions under the NaCl treatments. With the increase of NaCl concentration, the *P. vaginatum* accessions were significantly higher in turf quality ($P < 0.05$) and leaf firing ($P < 0.05$), and significantly paler in leaf colour ($P < 0.05$). A regression equation was established to determine the optimum salt treatment concentration for *P. vaginatum* at 25 g·L⁻¹ with the leaf firing of 50% as a criterion. The NaCl concentration of 25 g·L⁻¹ was used to evaluate the

salt tolerance of 27 accessions of *P. vaginatum*, based on which two accessions, USA17-18 with very high salt tolerance and USA17-26 with very low salt tolerance or high salt sensitivity, were selected and their contents of Na^+ and K^+ were determined. It was found that the two accessions increased significantly in Na^+ content above ground and underground after salt treatment, but decreased significantly in K^+ content and K/Na value, and that the very highly salt tolerant accession was lower in Na^+ content and higher in K^+ content as against the very low salt tolerant accession. Reducing Na^+ intake and maintaining high K^+ content may be the mechanism of salt tolerance of *P. vaginatum*.

Keywords: *Paspalum vaginatum* Sw.; salt tolerance; turf quality; leaf firing

(责任编辑: 钟云芳)

(上接第 10 页)

Effects of Gibberellin Treatment on Yield and Intrinsic Quality of the Main and Lateral Stems of Chinese Kale

TONG Lu, CHENG Shanhan, JU Lixiang, XU Yi, LEI Xin,
NI Miao, WANG Zhiwei, ZHU Guopeng, CHEN Yanli
(College of Horticulture, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: Chinese kale (*Brassica alboglabra* L. H. Bailey) was treated with gibberellin at different concentrations to screen a suitable gibberellin concentration for higher yield and optimal quality of the main and lateral stems of Chinese kale. The results showed that the gibberellin treatment by spraying at $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ significantly promoted the elongation of the main and the first lateral stems, and that the gibberellin treatment at $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ significantly promoted the elongation of the second lateral stem. The gibberellin treatment at $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ significantly increased the yield of the main stem and the second lateral stem in Chinese kale, thus increasing the yield of Chinese kale by 11.13% compared with the control. The $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ gibberellin treatment also promoted protein accumulation in the lateral stems, increased soluble sugar content in the main and lateral stems and reduced cellulose content of Chinese kale. Therefore, the $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ gibberellin treatment was the best in promoting yield and intrinsic quality of the main and lateral stems of Chinese kale.

Keywords: gibberellin; Chinese kale; main and lateral stems; yield; quality

(责任编辑: 叶静)