

盐胁迫下施氮对海滨锦葵营养生长期生长的影响

闫道良¹, 连俊方¹, 任燕燕¹, 盛琳杰², 钦佩³

(1. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 天目学院, 浙江 临安 311300; 3. 南京大学 盐生植物实验室, 江苏 南京 210093)

摘要: 海滨锦葵 *Kosteletzkya virginica* 是耐海水浇灌的经济盐生植物。为优化海滨锦葵在沿海滩涂的栽培, 探讨了盐胁迫下施氮对海滨锦葵营养期生物量特征及其关联的影响。实验设为 50, 150, 250 mmol·L⁻¹ 氯化钠及 50, 150, 250 mmol·L⁻¹ 氯化钠 + 15 mmol·L⁻¹ 硝酸铵等 6 个处理。试验采用 3~4 叶期的海滨锦葵小苗, 5 个重复·处理⁻¹。研究表明: 处理 35 d 后, 施氮显著增加了植株的高度, 当处理为 50 mmol·L⁻¹ 氯化钠 + 15 mmol·L⁻¹ 硝酸铵时, 植株高度为 26.1 cm, 是不施氮处理的 1.4 倍。施氮对主根长度没有明显影响。低盐下(50 mmol·L⁻¹ 氯化钠)施氮明显增加主根直径, 是不施氮的 1.4 倍。施氮显著($P < 0.05$)增加了叶质量比, 高盐(250 mmol·L⁻¹ 氯化钠)处理下施氮的叶质量比为 0.25 g·g⁻¹, 是不施氮处理的 1.8 倍。施氮降低了根比重和根冠比, 对茎比重没有显著影响。施氮促进了叶的生长, 但抑制了须根的生长。施氮提高了根生物量与叶生物量之间的相关性($R^2=0.703$, $P < 0.01$), 从而有利于协调植株对资源的有效利用和分配。图 1 表 3 参 10

关键词: 植物学; 氮添加; 海滨锦葵; 生物量; 关联性

中图分类号: Q948.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2012)06-0817-05

Growth of salt stressed *Kosteletzkya virginica* with addition of nitrogen

YAN Dao-liang¹, LIAN Jun-fang¹, REN Yan-yan¹, SHENG Lin-jie², QIN Pei³

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Tianmu College, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Halophyte Research Laboratory, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China)

Abstract: *Kosteletzkya virginica*, an important economic plant with strong saline tolerance, was tested to better understand the effects of nitrogen additions on biomass characteristics and their relationship to *K. virginica* seedlings undergoing salt stress. Using completely random design, seedlings with 3–4 leaves were exposed for 35 d to treatments of 50, 150, and 250 mmol·L⁻¹ NaCl and treatments of 50, 150, and 250 mmol·L⁻¹ NaCl + 15 mmol·L⁻¹ NH₄NO₃ with 5 replications. Results showed that N addition significantly increased stem heights ($P < 0.05$), but did not affect axial root length. For 50 mmol·L⁻¹ NaCl + 15 mmol·L⁻¹ NH₄NO₃, the average stem height was 26.1 cm, but without N it was 18.9 cm; and with N the average axial root diameter was 9.2 mm, but without N it was 6.8 mm. Additionally, leaf-weight ratios increased significantly ($P < 0.05$) with N addition. Using 250 mmol·L⁻¹ NaCl + 15 mmol·L⁻¹ NH₄NO₃, leaf-weight ratios were 0.25 g·g⁻¹, but without N they were 0.14 g·g⁻¹. Root-weight ratios and root-to-shoot ratios significantly decreased ($P < 0.05$) with N additions. Also, N inhibited fine root growth; whereas it promoted leaf growth. Finally, N significantly strengthened ($P < 0.05$) the relationship between root mass and leaf mass. This could be helpful for utilization and allocation of N in *K. virginica* seedlings. [Ch, 1 fig, 3 tab, 10 ref.]

收稿日期: 2011-11-18; 修回日期: 2011-12-07

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD09A04, 2006BAD09A08); 浙江农林大学人才启动基金资助项目(2034020060)

作者简介: 闫道良, 从事耐盐植物和植物生理生态及功能生态学研究。E-mail: liangjie2000@yahoo.com.cn。通信作者: 钦佩, 教授, 博士生导师, 从事海滨湿地生态研究。E-mail: qinpei@nju.edu.cn

Key words: botany; nitrogen addition; *Kosteletzkya virginica*; biomass; correlation

盐胁迫所引起的水分胁迫和离子毒害等对植物的生长、植被分布和农业生产均造成了较大的影响。为有效开发利用中国后备土地资源——盐碱地，引种耐盐经济植物是最有效的途径。海滨锦葵 *Kosteletzkya virginica* 是一种多年生宿根植物，能耐盐水浇灌，且其宿根的更新周期长，种子产量高，营养成分丰富，作为食物(饲料)或油料作物开发的潜力很大，是当前开发利用盐碱滩涂的候选植物之一^[1-2]。引种试验表明，海滨锦葵具有较高的综合开发利用前景^[3-4]。海滨锦葵的地下块根特别发达，茎干可用于生产环保板材^[1]。海滨锦葵花期长，花大而艳丽，是海滨沿海城市景观大道的优选绿化植物；海滨锦葵还被誉为“生物柴油”^[5]，是把沿海滩涂“盐田”变为“油田”的“生物柴油”原料植物。氮营养缺乏可能是盐碱地区植物生长的主要限制因素之一。施氮在一定程度上提高了植物在逆境下抗水分胁迫的能力^[6]。对于盐生植物而言，施氮对其在逆境下生长的影响研究较少。如盐生植物囊果碱蓬 *Suaeda physophora*，硝态氮增加其高盐胁迫下地上部有机氮，改善了植株的营养状况和渗透调节，提高了囊果碱蓬的耐盐能力^[7]。笔者以盐生植物海滨锦葵为材料，研究了施氮对其在盐胁迫下生物量的影响及其施氮前后生物量关联的影响，为在盐碱地科学栽培海滨锦葵，提高其产量提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

选取饱满的海滨锦葵种子经表面消毒后于 25~30 ℃温水中浸泡 2 h，播种于口径为 12 cm，高为 11 cm 的塑料钵内。苗钵放在规格一致的塑料盆内，放置 6 钵·盆⁻¹。钵内基质为河沙和珍珠岩按 3:1 配比。出苗后保留健壮的一致小苗 1 株·钵⁻¹，待小苗 3~4 片真叶完全展开后，分别用 50, 150, 250 mmol·L⁻¹ 氯化钠(分别记为 50SC, 150SC, 250SC)和 50, 150, 250 mmol·L⁻¹ 氯化钠+ 15 mmol·L⁻¹ 硝酸铵(分别记为 50SC-A, 150SC-A, 250SC-A)处理，施处理液 100 mL·盆⁻¹，并同时添加不含硝酸铵的改良 Hoagland 营养液 10 mL。此时，苗钵底部大约 1.5 cm 高度处于处理液中，隔 3~4 d 更换 1 次处理液及添加相应营养液。5 个重复·处理⁻¹，共 30 钵。待小苗处理 35 d 后收获测量。

1.2 指标测定

把收获的海滨锦葵植株于水中小心洗净根部基质，分离各构件，测定株高、主根直径(根颈下 1 cm 长度内)、主根长度之后 110 ℃烘箱中杀青 20 min，转至 80 ℃烘干至恒量，测定全株干质量以及叶、茎、主根和须根干质量。计算叶质量比(叶干质量/全株干质量，leaf weight ratio, LWR, g·g⁻¹)，茎质量比(茎干质量/全株干质量，stem weight ratio, SWR, g·g⁻¹)，根质量比(根干质量/全株干质量，root weight ratio, RWR, g·g⁻¹)和根冠比(根干质量/地上部分干质量，root/shoot ratio, R/S)。

1.3 数据统计分析

利用 SPSS 13.0 对数据进行统计分析，处理间差异显著性采用 Duncan 氏多重比较。图表绘制借助 Sigmaplot 10.0 软件。

2 结果与分析

2.1 施氮对盐胁迫下海滨锦葵株高和根系的影响

从表 1 中可见：施氮后植株的高度增加。当氯化钠浓度小于 250 mmol·L⁻¹ 时，施氮明显增加了植物的高度($P<0.05$)。当氯化钠浓度达 250 mmol·L⁻¹ 时，施氮处理的植株高度与不施氮处理差异不明显，说明氮肥施加并不能消除高盐下对植株生长的抑制作用。从表 1 中还可以看出：无论施氮与否，随着盐浓度的增加，植株的高度变化不显著。这也说明海滨锦葵对盐浓度变化不敏感，海滨锦葵具有较强的抗盐特性。

在 3 个氯化钠处理水平条件下，不同的盐浓度对主根长影响不大。施氮后，主根长也没有发生明显的变化。主根直径随着盐浓度的提高而逐渐减小。施氮后，主根直径与不施氮相比有所增大。在低盐(50 mmol·L⁻¹)胁迫下时，施氮效果较为明显。从表 1 中还可以看出：在盐浓度小于 150 mmol·L⁻¹ 处理下，施氮可以缓解盐胁迫对海滨锦葵主根增粗的抑制。在 250 mmol·L⁻¹ 氯化钠处理条件下，施氮后的主

根直径(6.8 mm)比不施氮主根直径(5.6 mm)虽有所增粗, 但差异不显著。说明高浓度的氯化钠对主根增粗生长的抑制作用并不为施以氮肥而有所缓解。

表 1 施氮处理对盐胁迫下海滨锦葵株高和根系的影响

处理	株高/cm	主根长/cm	主根直径/mm
50 SC	18.9 (1.8) c	8.7 (0.9) a	6.8 (0.7) bc
150 SC	17.3 (1.5) c	5.1 (0.6) b	6.2 (0.1) c
250 SC	17.3 (1.5) c	6.8 (0.9) ab	5.6 (0.3) c
50 SC-A	26.1 (1.0) a	7.5 (0.4) ab	9.5 (0.2) a
150 SC-A	25.5 (2.7) ab	5.8 (1.0) b	7.8 (0.3) b
250 SC-A	22.1 (1.6) abc	7.3 (0.6) ab	6.8 (0.5) bc
<i>F</i> 值, <i>P</i> 值	<i>F</i> = 4.068, <i>P</i> = 0.022	<i>F</i> = 2.972, <i>P</i> = 0.057	<i>F</i> = 12.408, <i>P</i> = 0.000

说明: 表内数据为平均值(标准误), 平均值后注有不同英文字母表示处理间达 5%显著性差异。

2.2 施氮对盐胁迫下海滨锦葵生物量及分配的影响

在氯化钠浓度小于 150 mmol·L⁻¹ 处理下, 施氮显著提高了全株的生物量。在 150 mmol·L⁻¹ 处理下施氮, 植株生物量是不施氮的 1.68 倍, 而在低盐 50 mmol·L⁻¹ 处理下施氮则是不施氮的 2.00 倍, 差异显著($P < 0.05$)。当盐浓度为 250 mmol·L⁻¹ 时施氮, 同样增加了植株的生物量, 是不施氮的 1.53 倍, 差异显著($P < 0.05$)。在高盐(250 mmol·L⁻¹)胁迫下施氮植株生物量与小于 150 mmol·L⁻¹ 氯化钠处理下不施氮植株生物量差异不明显(图 1)。说明施氮大大减缓了由于盐害对生物量所造成的胁迫效应。

叶质量比、茎质量比和根质量比反映了生物量在叶、茎和根 3 种器官之间分配的比

重。从表 2 可以看出: 施氮显著提高了叶质量比, 在 250 mmol·L⁻¹ 氯化钠处理下, 施氮下的叶质量比是不施氮的 1.79 倍。在 50 mmol·L⁻¹ 氯化钠处理下, 施氮的叶质量比是不施氮的 2.15 倍, 表明盐胁迫下施氮有利于海滨锦葵叶片碳物质的积累。施氮对茎质量比没有明显影响。不论在低盐和高盐处理下, 施氮处理的根质量比显著($P < 0.05$)低于不施氮处理, 在 250 mmol·L⁻¹ 氯化钠处理下施氮的根质量比约是不施氮的 80%, 表明盐胁迫下施氮并没有促进海滨锦葵在根系上的碳投资, 反而对根系的生长有抑制作用。但施氮后主须根比有显著($P < 0.05$)的增加, 尤其在盐浓度小于 150 mmol·L⁻¹ 氯化钠处理下, 施氮效果更为明显, 如在 150 mmol·L⁻¹ 氯化钠处理下, 施氮下的主须根比是不施氮的 2.18 倍, 这表明施氮有利于海滨锦葵主根的生长。

根冠比反映了生物量在地上和地下部分之间分配的关系(表 2)。盐胁迫下海滨锦葵根冠比在施氮条件下显著($P < 0.05$)下降, 其中 250 mmol·L⁻¹ 氯化钠处理下施氮的根冠比是不施氮的 60%。结合根质量比, 可以看出施氮肥对海滨锦葵根的生长不利, 分配到根部的生物量下降。

2.3 施氮处理下海滨锦葵叶、根和地上干质量与相关性状的关联性

植物的叶片和根作为植物体地上和地下部分的重要的营养器官, 很多功能性状在两者之间存在着一定的关联性。本研究结果显示(表 3): 施氮后盐胁迫下的海滨锦葵叶干质量与根干质量性状相关性得以加强($R^2=0.845 5^{**}$, $P < 0.01$), 与地上干质量的相关性系数由未施氮的 0.730 8($P < 0.05$)升高为施氮后的

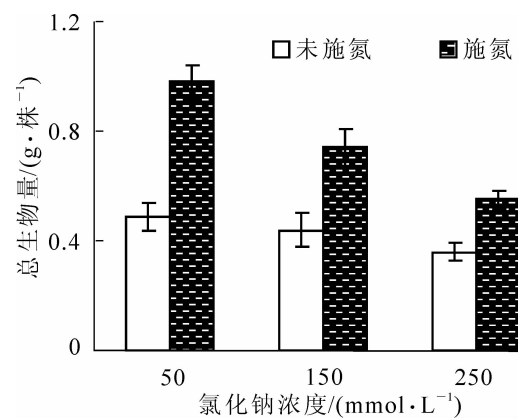


图 1 盐胁迫下施氮对海滨锦葵植株总生物量的影响
Figure 1 Effects of addition of nitrogen on total biomass of *Kosteletzkya virginica* under salt stress

0.986 5 ($P < 0.01$), 而未施氮肥盐胁迫下的叶干质量仅与地上干质量表现相关。作为吸收养分的根和制造养料的叶在施氮后生物量显著相关, 线性回归方程为 $y_{\text{根干质量}} = 1.74x_{\text{叶干质量}} + 0.083$ ($R^2 = 0.703$, $F = 16.592$, $P = 0.005$), 而在施氮前并没明显的关联。这说明施氮后更密切了叶和根功能器官的协调关系, 有利于提高植株对逆境的抵抗。

表2 施氮对盐胁迫下海滨锦葵生物量分配的影响

Table 2 Effects of addition of nitrogen on the biomass allocation of *Kosteletzkya virginica* under salt stress

处理	叶质量比/(g·g ⁻¹)	茎质量比/(g·g ⁻¹)	根质量比/(g·g ⁻¹)	根冠比	主须根比
50 SC	0.13(0.02) b	0.16(0.02) a	0.71(0.00) a	2.45(0.03) a	3.86(0.18) bc
150 SC	0.16(0.02) b	0.17(0.01) a	0.68(0.02) a	2.12(0.19) a	2.90(0.40) c
250 SC	0.14(0.01) b	0.17(0.01) a	0.68(0.02) a	2.19(0.21) a	4.68(0.57) abc
50 SC-A	0.28(0.01) a	0.16(0.01) a	0.58(0.02) b	1.37(0.09) b	6.55(1.23) a
150 SC-A	0.27(0.02) a	0.18(0.01) a	0.56(0.03) b	1.29(0.18) b	6.33(0.88) a
250 SC-A	0.25(0.02) a	0.19(0.01) a	0.57(0.02) b	1.33(0.13) b	5.39(0.56) ab
F 值	F= 15.489	F= 1.201	F= 10.523	F= 11.790	F= 3.876
P 值	P= 0.000	P= 0.366	P= 0.000	P= 0.000	P= 0.025

说明: 表内数据为平均值(标准误), 平均值后注有不同英文字母表示处理间达 5%显著性差异。

表3 施氮和盐胁迫条件下海滨锦葵其他生长参数之间的相关性

Table 3 Correlations between leaf dry weight or root dry weight and other growth parameters of *K. virginica* under the conditions of applying nitrogen and salt stress

处理	主根直径	主根鲜质量	须根鲜质量	茎鲜质量	主根干质量	须根干质量	茎干质量	叶干质量	根干质量
施氮处理	叶干质量	0.863 9**	0.920 8**	0.814 1**	0.868 5**	0.831 3**	0.791 7*	0.942 0**	
	根干质量	0.841 9**	0.952 9**	0.889 5**	0.774 3*	0.996 2**	0.859 5**	0.870 6**	0.845 5**
	地上部干质量	0.834 3**	0.898 0**	0.843 7**	0.925 8**	0.839 7**	0.833 7**	0.978 5**	0.986 5**
未施氮	根干质量	0.693 6*	0.957 6**	0.890 1**	0.886 1**	0.972 5**	0.838 7**	0.855 7**	
	地上部干质量	0.669 1*	0.748 7*	0.887 5**	0.949 9**	0.756 5*	0.782 1*	0.896 1**	0.730 8*

说明: * 和 ** 表示显著性分别达到 0.05 和 0.01 水平。

3 结论与讨论

植物生长环境中盐分过多危害植物的正常生长和发育, 生长抑制是植物对高盐渍响应最敏感的生理现象。本实验观察到当盐浓度处理小于 150 mmol·L⁻¹ 氯化钠时, 施氮增加了植株的高度。结合施氮后的叶质量比(表2)来看, 植株高度的增加更有利于在盐逆境下通过承载茎上扩张的叶面积或增加叶数量来制造更多的碳水化合物。这与逆境(干旱)条件下, 较大的冠层叶面积对作物产量的贡献要大于较大根系的贡献研究结果类似^[6]。在本研究中, 施氮显著提高了海滨锦葵植株的总生物量, 增加了盐胁迫下海滨锦葵叶比重, 而这种施氮的影响效果无论在低盐(50 mmol·L⁻¹ 氯化钠)还是高盐(250 mmol·L⁻¹ 氯化钠)环境下, 没有显著差异。

植物最先感受逆境胁迫的器官是根系, 逆境胁迫下根系形态上的变化是最为直观的^[7]。海滨锦葵在盐胁迫下施氮并没有显著增加主根的长度, 在小于 150 mmol·L⁻¹ 氯化钠处理下施氮, 主根直径却有显著增加, 主根的增粗相应增加海滨锦葵主根的干质量, 但是并没有增加植株的根比重, 相反, 却降低了根比重。这与施氮后降低海滨锦葵的根冠比有一致之处。根作为异养器官, 适宜的根系似乎更有利于植株把逆境下“来之不易”的氮转向于叶以此来合成积累更多的有机物质。这对于盐生环境植物来说, 是对变化的环境作出的适宜碳投资权衡。

目前, 由于环境污染而导致的氮沉降有全球增加的趋势^[8], 氮沉降在一定程度上对地上部分的生长有促进作用, 对根系生长则不利, 表现在氮沉降增加会使根部生物量生产减少^[9]。这些结论在本研究中

得以进一步证实。施氮后海滨锦葵根比重显著下降, 而叶比重显著增加。从主须根比可以看出: 施氮后增加了主根的生长, 对须根的生长则有抑制作用, 这与氮沉降抑制细根的生长有一致之处^[9]。

我们的研究还发现, 氮处理盐胁迫下的海滨锦葵根与叶生物量关联性显著提高。这种更为密切的关系, 或许是植物功能器官在更有利于生长的环境下, 更好地协调生长过程中对资源的利用和分配^[10]。

参考文献:

- [1] 丁海荣, 洪立洲, 王凯, 等. 耐盐植物海滨锦葵研究进展[J]. 安徽农学通报, 2008, **14** (13): 43 - 45.
DING Hairong, HONG Lizhou, WANG Kai, *et al.* Research progress of anti-saline plant *Kosteletzkya virginica* [J]. *Anhui Agric Sci Bull*, 2008, **14** (13): 43 - 45.
- [2] RUAN Chengjiang, QIN Pei, CHEN Jingwen, *et al.* Analysis of nutritive compositions in the seeds of *Kosteletzkya virginica* [J]. *Acta Agron Sin*, 2004, **30** (9): 901 - 905.
- [3] 徐国万, 钦佩, 谢民, 等. 海滨锦葵的引种生态学研究[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1996, **32** (2): 268 - 274.
XU Guowan, QIN Pei, XIE Min, *et al.* A study on the trial planting ecology of *Kosteletzkya virginica* in China [J]. *J Nanjing Univ Nat Sci Ed*, 1996, **32** (2): 268 - 274.
- [4] 周桂生, 陆建飞, 封超年, 等. 海滨锦葵生长发育、产量和产量构成对盐分胁迫的响应 [J]. 中国油料作物学报, 2009, **31** (2): 202 - 206.
ZHOU Guisheng, LU Jianfei, FENG Chaonian, *et al.* Response of growth characteristics, yield and yield components in seashore mallow to saline stress [J]. *Chin J Oil Crop Sci*, 2009, **31** (2): 202 - 206.
- [5] 聂小安, 蒋剑春, 高一苇, 等. 海滨锦葵油生物柴油的制备及性能分析 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2008, **32** (1): 72 - 74.
NIE Xiao'an, JIANG Jianchun, GAO Yiwei, *et al.* Preparation technique of biodiesel from *Kosteletzkya virginica* oil and analysis of their properties [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2008, **32** (1): 72 - 74.
- [6] 张岁岐, 徐炳成. 根系与植物高效用水[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 152 - 153.
- [7] 原俊凤, 田长彦, 冯固, 等. 硝态氮对盐胁迫下囊果碱蓬幼苗根系生长和耐盐性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, **15** (4): 953 - 959.
YUAN Junfeng, TIAN Changyan, FENG Gu, *et al.* Effects of nitrate on the root growth and salt tolerance of *Suaeda physophora* seedlings under NaCl stress [J]. *Plant Nutr Fert Sci*, 2009, **15** (4): 953 - 959.
- [8] MATSON P A, MCDOWELL W H, TOWNSEN A R, *et al.* The globalization of N deposition: ecosystem consequences in tropical environments [J]. *Biogeochemistry*, 1999, **46**: 67 - 83.
- [9] PERSSON H, AHLSTRÖM K, CLEMENSSON-L A. Nitrogen addition and removal at Gårdsjön-effects on fine-root growth and fine-root chemistry [J]. *For Ecol Manage*, 1998, **101** (1/3): 199 - 205.
- [10] 徐冰, 程雨曦, 甘慧洁, 等. 内蒙古锡林河流域典型草原植物叶片与细根性状在种间及种内水平上的关联 [J]. 植物生态学报, 2010, **34** (1): 29 - 38.
XU Bing, CHENG Yuxi, GAN Huijie, *et al.* Correlations between leaf and fine root traits among and within species of typical temperate grassland in Xilin River Basin, Inner Mongolia, China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2010, **34** (1): 29 - 38.