

施用氮磷肥对盐土中碱蓬生长及矿物质吸收 累积特征的影响

王界平^{a,b,c}, 田长彦^{a,c}

(中国科学院 a 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; b 研究生院, 北京 100049;

c 绿洲生态与荒漠重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011)

【摘 要】 【目的】研究施用氮磷肥对盐地碱蓬生长及其矿物质吸收累积特征的影响, 以提高盐生植物的生物量, 从而实现其盐分的高吸收累积, 为重盐渍化地区的生态恢复提供参考。【方法】在新疆南疆典型盐化土壤上, 采用田间试验方法及完全随机区组设计, 研究不同氮肥(0, 75, 150, 225 kg/hm²)、磷肥(0, 135 kg/hm²)施用量, 对盐地碱蓬地上部生物量、株高、根系干质量、种子产量, 以及地上部各部分氮、磷含量和矿质灰分累积含量、累积量的影响。【结果】施氮能显著提高盐地碱蓬的地上部生物量、根系干质量、种子产量和总矿物质累积量, 其中施用 225 kg/hm² 氮肥时, 盐地碱蓬每年可从土壤中带走 3 228.8 kg/hm² 矿质灰分, 是不施氮肥的 5.8 倍, 施用 225 kg/hm² 氮肥的地上部生物量、株高、根系干质量、种子产量分别是未施氮肥处理的 4.96, 1.48, 4.89 及 4.30 倍, 施肥效果均达显著水平; 增施氮肥还可以显著提高盐地碱蓬茎秆、短枝和种子中的氮含量, 有利于盐地碱蓬氮素营养状况的改善, 而对地上部各器官磷含量无显著影响; 此外, 施用氮肥可以在一定程度上提高盐地碱蓬各器官中的矿质灰分累积含量, 有益于盐地碱蓬耐盐能力的增强; 施用磷肥对盐地碱蓬生长、养分吸收以及灰分累积均无显著影响。【结论】在试验区盐化土壤中, 氮肥是制约盐地碱蓬生长和吸盐的限制性因子, 在应用盐地碱蓬改良盐碱土时, 加强氮素养分管理具有重要作用。

【关键词】 盐地碱蓬; 氮; 磷; 养分含量; 矿质灰分含量; 盐碱地改良

【中图分类号】 S14-33; Q948.113

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)11-0201-08

Effects of nitrogen and phosphorus application on growth, mineral ash absorption and accumulation feature of *Suaeda salsa* L.

WANG Jie-ping^{a,b,c}, TIAN Chang-yan^{a,c}

(a Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China;

b Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; c Key Laboratory of Oasis Ecology and

Desert Environment, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: 【Objective】 Research was done in the hope of restoring the saline land rapidly and effectively through improving halophytes' biomass and performance by applying nitrogen and phosphorus fertilizer in saline areas. 【Method】 Effects of varying levels of N fertilization (0, 75, 150 and 225 kg/hm²) and P fertilization (0 and 135 kg/hm²) on aerial biomass, plant height, root dry weight, seed yield, nitrogen and phosphorus content in *Suaeda salsa*'s aerial part, mineral ash absorption and accumulation of *S. salsa* L. were studied through complete randomized block design under the field saline condition in Xinjiang. 【Result】 The results indicated that the aerial biomass, the plant height, the root dry weight, the seed yield and the mineral ash content and cumulant increased significantly with increasing N levels. Among the different ni-

* 【收稿日期】 2010-04-08

【基金项目】 新疆维吾尔自治区科学技术攻关项目(200633131); 新疆维吾尔自治区“十一五”重大专项(200733144-1)

【作者简介】 王界平(1982—), 男, 陕西榆林人, 在读硕士, 主要从事植物营养与生态恢复研究。E-mail: wjpwhfsx@sina.com

【通信作者】 田长彦(1961—), 男, 陕西山阳人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤与植物营养研究。E-mail: tianchy@ms.xjb.ac.cn

trogen treatments, the highest ash cumulant absorbed by *S. salsa* L. was N 225, with 3 228.8 kg/hm² being the figure recorded, which was 5.8 times more than CK. Meanwhile, N 225 also claimed the highest aerial biomass, plant height, root dry weight and seed yield which was 4.96, 1.48, 4.89 and 4.30 times more than CK, respectively. Furthermore, compared with CK, applying nitrogen can improve N concentration in stem, shoot and seed of *S. salsa* significantly when nitrogen level went up to 225 kg/hm². In addition, nitrogen application also increased ash concentration in stem, shoot and seed to some extent, yet the difference was not significant. However, no significant difference in phosphorus concentration in all the three plant organs listed above was noted among different nitrogen levels. Phosphorus application showed no significant effect on *S. salsa*'s growth, nutrient and mineral ash absorption and accumulation. 【Conclusion】 The results suggest that under the saline land condition, nitrogen is the decisive factor which restricts *S. salsa*'s growth and mineral ash absorption, as a result, strengthening nitrogen management is very important in the process of saline land restoration by planting *S. salsa*.

Key words: *Suaeda salsa* L.; nitrogen; phosphorus; nutrition concentration; mineral ash concentration; improvement of saline soil

盐地碱蓬(*Suaeda salsa* L.)系藜科碱蓬属 1 年生草本肉质化真盐生植物,分布于盐湖、滨海盐碱地、盐化沼泽和重盐渍土地段,是一种耐盐能力很强的陆生高等植物类群^[1-2]。有研究表明,盐地碱蓬对盐具有积累效应,它能从土壤中吸收大量的可溶性盐类,并将这些盐聚集在体内,因此种植盐地碱蓬可明显降低土壤含盐量,是盐碱地改良的优势草种^[1,3-6]。但长期以来受粮食、经济二元种植结构的影响,盐地碱蓬目前主要以自然野生为主,产量极低。在低产情况下,尽管盐地碱蓬植株中盐分累积浓度很高,但盐分总吸收累积量却很小,这在很大程度上限制了其在盐碱地改良中的应用。因此,对盐地碱蓬进行驯化栽培,实现高产,并维持或提高其盐分累积浓度,是快速改良盐碱地的重要途径之一。

植物要适应盐渍化的生境,获得较高的生物量,就必须具备克服盐离子毒害(离子胁迫)、抵抗低水势(渗透胁迫)和平衡养分吸收的能力^[7-8]。研究表明,施氮可显著提高植物的渗透调节能力,并可明显改善植株的氮素营养状况,这主要是因为氮肥不仅可促进脯氨酸、可溶性糖、NO₃⁻和 Na⁺等有机、无机渗透调节物质的积累,同时还能增加植株对氮素的吸收积累^[9-11]。磷素能增强原生质抵抗脱水的能力,在水分胁迫条件下,增施磷肥可显著改善植株的水分状况,能在一定程度上弥补因水分不足造成的影响,从而促进植物的生长发育,提高生物产量和籽粒产量^[12-13]。此外,还有研究表明,磷对盐胁迫下玉米、芦荟等植物的生长具有明显的缓解效应^[14-15]。近年来,有关外源氮、磷对盐生植物影响的报道不少,但大都集中在单一盐分(主要是 NaCl)胁迫下,

氮、磷营养对盐生植物生理特性(渗透调节和抗盐性等)的影响方面^[9-11,14-15],而关于在自然条件复合盐分作用下,增施氮、磷肥对盐地碱蓬生长和灰分累积的影响程度目前尚不清楚。

矿物质灰分的主要成分是盐分,其累积浓度是衡量盐生植物耐盐能力的重要指标,累积量的高低直接决定着盐生植物改良盐碱地的速度与该植物在盐碱地改良中应用的深度与广度。因此,理论上和生产上迫切需要明确在大田复合盐分作用下,不同氮、磷肥施用量对盐地碱蓬生长和矿质灰分吸收累积的影响。为此,本研究通过田间试验,探讨了不同氮、磷肥施用量对盐地碱蓬生长及灰分吸收累积的影响,以期对盐碱地的生物改良及盐地碱蓬人工栽培中氮、磷肥的优化管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地自然概况

试验于 2009-04-10 在国家水利部、巴州水管处重点灌溉试验站进行。该试验站位于新疆维吾尔自治区库尔勒市西尼尔镇,地处沙漠边缘干旱荒漠区,属暖温带大陆性干旱气候,降水量少而蒸发量大,土地沙漠化、盐渍化十分严重^[16]。试验区土壤属典型盐渍土,其主要理化特性是:有机质 7.88 g/kg,全氮 0.51 g/kg,全磷 0.67 g/kg,全钾 7.60 g/kg,碱解氮 31.27 mg/kg,速效磷 10.62 mg/kg,速效钾 141.12 mg/kg,电导率 1.93 ms/cm, pH 7.59。

1.2 试验设计及田间管理

氮肥(纯氮)处理设 4 个水平: N0(0 kg/hm²)、N1(75 kg/hm²)、N2(150 kg/hm²)、N3(225

kg/hm²), 磷肥 (P₂O₅) 处理设 2 个水平: P0 (0 kg/hm²)、P1(135 kg/hm²)。试验采用完全随机区组设计, 共计 8 个处理, 每处理 4 次重复。小区面积为 3 m×5 m=15 m², 试验地总面积 480 m²。为消除水肥侧向运动的影响, 小区之间设宽 80 cm 的地垄。供试植物为盐地碱蓬, 种子于 2008-11 采集于国家阜康荒漠生态试验站盐生植物园。2009-05-08 试验小区布置好后, 按行距 20 cm 播种, 播种深度 1 cm。播种后为了保证出苗率, 对各小区进行等量灌溉, 灌水量为每小区 0.8 m³。2009-06-05 和 2009-06-20 进行人工定苗, 定苗后株距为 20 cm (种植密度为 25×10⁴ 株/hm²)。全生育期灌水总量 4 266 m³/hm² (不包括生育期降水量), 以水表定量分 10 次灌入, 灌溉用水为孔雀河河水。以尿素作为氮肥, 分别在碱蓬的苗期、分枝期和花期按 3:4:3 的质量比分 3 次随水施入, 过磷酸钙作为磷肥分别在播种前及碱蓬分枝期进行基肥和追肥, 基肥和追肥的质量比为 3:2。

1.3 测定项目及方法

于收获期(2009-10-31)在每小区随机采集面积为 0.5 m×0.5 m 的碱蓬地上部样品 (分为种子、短枝和茎秆 3 部分), 于 105 ℃杀青 30 min, 80 ℃烘干测定干质量。根系样品采集深度为 0.6 m, 采集面积与地上部样品相同, 具体操作时将土壤连同根系整体取出, 仔细检出根系冲洗干净, 烘干测定干质量。全氮、全磷含量的测定采用浓硫酸-双氧水消

煮, 用凯氏定氮法测定氮含量, 钒钼黄比色法测定磷含量^[17]。种子、短枝和茎秆灰分含量测定采用国标 GB/T 6438—2007 的方法^[18]。土壤基本理化性状用常规方法测定^[19]。

1.4 数据处理

试验数据用 SPSS 16.0 软件进行方差分析, 多重比较用 Least Significant Difference(LSD)法。数据用“平均值±标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 不同氮磷水平对盐地碱蓬生长的影响

生物量、根系、株高是衡量植物生长状况的重要指标^[20-21], 是实现高盐分累积量的基础与前提条件。从表 1 可以看出, 不论施磷与否, 施用氮肥均明显增加了地上部及根系的干物质累积, 并明显促进了株高的增加。例如, P0 处理下, 与 N0 相比, N1、N2 和 N3 处理的地上生物量分别增加了 4 650.6, 17 119.7 和 22 787.2 kg/hm², 增长率分别为 81%, 300% 和 399%, 株高分别增加了 18%, 32% 和 49%, 根系干质量分别是 N0 的 1.62、3.65 和 5.22 倍, 差异均达到显著水平 ($P<0.05$)。说明在盐化土壤上增施氮肥可明显促进碱蓬的生长。相同施氮水平下, P0 与 P1 处理的地上生物量、株高与根系干质量均无显著差异 ($P>0.05$), 说明在本试验条件下, 施用 135 kg/hm² 磷肥对盐地碱蓬生长无显著影响。

表 1 不同氮磷水平对盐地碱蓬生长的影响

Table 1 Effect of different nitrogen and phosphorus levels on <i>S. salsa</i> 's growth					
磷水平 P level	氮水平 N level	地上部生物量/ (kg·hm ⁻²) Aerial biomass	株高/cm Plant height	根系干质量/ (kg·hm ⁻²) Root dry weight	种子产量/ (kg·hm ⁻²) Seed yield
P0	N0	5 708.6±140.6 dA	100.8±1.8 dA	680.3±36.8 dA	1 173.7±170.7 dA
	N1	10 359.2±337.7 cA	119.3±0.9 cA	1 099.2±15.2 cA	1 869.5±136.4 cA
	N2	22 828.3±1 407.6 bA	133.3±0.9 bA	2 484.2±101.2 bA	3 129.7±110.4 bA
	N3	28 495.8±2 577.31 aA	150.5±1.7 aA	3 552.8±123.3 aA	4 135.5±123.3 aA
P1	N0	6 968.3±627.7 cA	104.5±1.9 dA	705.3±30.4 cA	1 255.1±35.5 cA
	N1	11 403.3±616.5 cA	120.3±1.0 cA	1 235.6±79.2 cA	1 865.8±111.7 cA
	N2	23 511.9±2 204.4 bA	135.5±0.9 bA	2 182.5±106.7 bA	3 602.6±328.1 bA
	N3	34 376.4±4 202.8 aA	152.5±3.1 aA	3 227.8±380.2 aA	6 313.4±698.0 aA

注: 同列数据后标相同小写字母者表示同一磷水平下不同氮肥处理之间差异不显著 ($P>0.05$), 标不同小写字母者表示同一磷水平下不同氮肥处理之间差异显著 ($P<0.05$); 同列数据后标相同大写字母者表示同一氮水平下不同磷肥处理之间差异不显著 ($P>0.05$), 标不同大写字母者表示同一氮水平下不同磷肥处理之间差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Within each column, the same small letters denote that the mean values for nitrogen treatment under same phosphorus treatment are not significantly different ($P>0.05$), different small letters denote that the mean values for nitrogen treatment under same phosphorus treatment are significantly different ($P<0.05$); Within each column, the same capital letters denote that the mean values for phosphorus treatment under same nitrogen treatment are not significantly different ($P>0.05$), different capital letters denote that the mean values for phosphorus treatment under same nitrogen treatment are significantly different ($P<0.05$).

2.2 不同氮磷水平对盐地碱蓬种子产量的影响

种子是植物收获期光合产物和养分累积的库^[22],是地上生物量的重要组成部分,其产量大小是衡量植物生长状况的重要指标。表 1 显示,与生物量累积规律相似,施氮显著提高了盐地碱蓬的种子产量。P0 处理下,施用氮肥的增产率为 59%~295%,N1、N2 和 N3 处理的增产效果均达显著水平($P<0.05$)。P1 处理下,施用氮肥的增产率为 49%~403%,N2、N3 处理显著高于 N0 处理($P<0.05$)。以上结果说明,合理增施氮肥能显著提高盐地碱蓬的种子产量。相同施氮水平(N1 处理除外)下,P1 处理的种子产量高于 P0 处理的种子产量,并且 N3 处理的增产效果最好,但差异均未达到显著水平($P>0.05$)。说明施用磷肥 135 kg/hm² 时,对盐地碱蓬种子的增产效果不显著。

2.3 不同氮磷水平对盐地碱蓬地上部氮磷含量的影响

植株特定组织中的养分浓度,是衡量植物营养状况的重要指标,能够更直接地反映植株的生长状况^[23]。图 1A 显示,随着施氮水平的增加,盐地碱蓬

茎秆、短枝与种子中的氮含量均呈增加趋势,其中种子氮含量对氮肥用量的响应最为敏感。与 N0 处理相比,N1、N2 和 N3 处理的种子氮含量分别增加了 1.66、2.72 和 8.16 g/kg,且 N3、N2 处理显著高于 N0 处理($P<0.05$)。与 N0 处理相比,除了 N3 处理外,其他氮肥处理下茎秆和短枝氮含量与其差异均不显著($P>0.05$),这可能与生殖生长期间,大量氮素从茎秆和短枝等营养器官转运至种子,优先满足种子生长代谢有关。因此,合理增施氮肥能在一定程度上提高碱蓬植株的氮含量,有利于植株氮素营养的改善。图 1B 表明,P1 处理的茎秆、短枝和种子中氮含量均与 P0 处理无显著差异,说明增施磷肥对盐地碱蓬地上各部分氮素吸收无明显影响。图 1C 与图 1D 显示,除短枝外,增施氮、磷肥对盐地碱蓬各部位磷含量无明显影响,这可能是因为施入土壤的磷肥主要被化学物质和土壤胶体所吸附、固定而难以被盐地碱蓬吸收利用;也可能与盐地碱蓬对磷素需求量相对较小,土壤中的磷就能满足盐地碱蓬生长发育的需要有关。

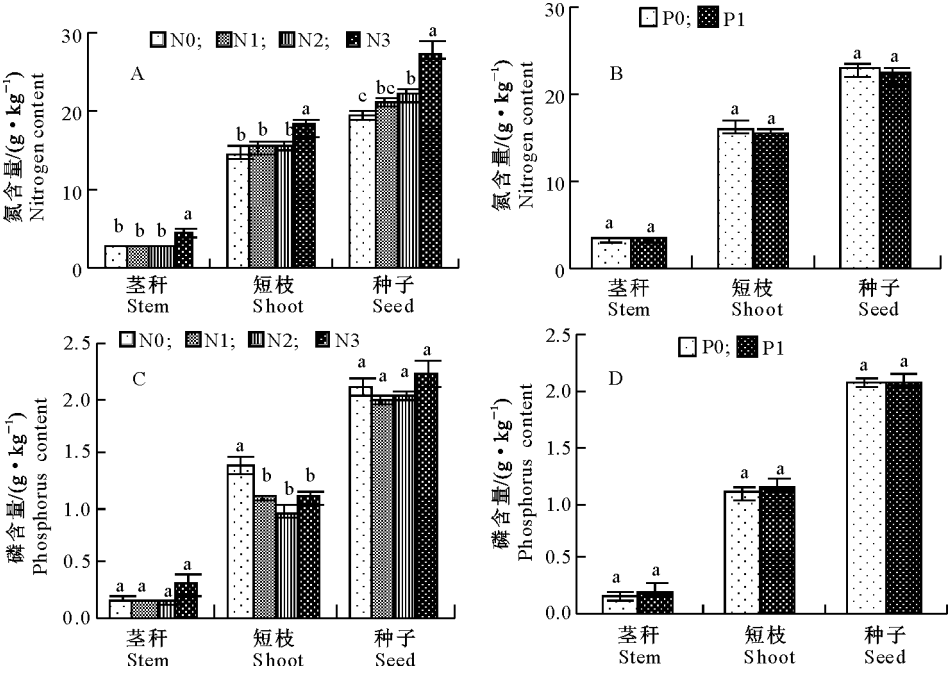


图 1 不同氮磷水平对盐地碱蓬地上部氮磷含量的影响

同一部位标相同字母者表示差异不显著($P>0.05$),标不同字母者表示差异显著($P<0.05$),下同

Fig. 1 Effect of different nitrogen and phosphorus levels on nitrogen and phosphorus content in *S. salsa*'s aerial part
Values with the same letters within the same part are not significantly difference ($P>0.05$), different letters mean significant difference ($P<0.05$). The same below

2.4 不同氮磷水平对盐地碱蓬矿质灰分累积含量及累积量的影响

从图 2A 可以看出,4 个施氮水平下,N3 处理的

茎秆、短枝和种子中矿质灰分累积含量较未施氮处理(N0)高,特别是在短枝中,N3 处理的矿质灰分累积含量明显高于 N0,较之增高了 25.16 g/kg。施用

氮肥对碱蓬地上部各部分灰分累积含量的提高有限,各施氮处理间的差异均未达显著水平($P>0.05$)。图 2B 显示,P1 处理的茎秆、短枝及种子中灰分累积含量与 P0 处理无显著差异($P>0.05$)。以上结果说明,在盐化土壤上增施氮肥能在一定程度上提高各器官矿质灰分的累积含量,而施用磷肥不能明显改变盐地碱蓬植株体内矿质灰分的累积含量。盐地碱蓬在实现高生物产量的同时,还能维持植株体内灰分累积含量不下降甚至略有升高,表明增施氮磷肥能促进盐地碱蓬对矿质盐分离子的吸收。

从图 2C 可以看出,施氮显著提高了盐地碱蓬地上部的总灰分累积量。与 N0 处理相比,N1、N2、

N3 处理的灰分累积总量分别增加了 434.8,1 311.3 和 2 668.1 kg/hm²,增长率为 78%~476%,除 N1 与 N0 处理外,其他施氮处理间差异均达显著水平($P<0.05$)。随着氮肥用量的增加,各器官中灰分累积量变化趋势与灰分累积总量相似。图 2D 显示,P1 处理的茎秆灰分累积量和灰分累积总量均高于 P0 处理,较 P0 处理分别增加了 16%和 9%,但差异不显著($P>0.05$)。P1 处理的短枝和种子灰分累积量与 P0 处理无明显差异。以上结果说明,在盐化土壤上增施氮肥能显著提高盐地碱蓬地上部各部分及总的灰分累积量,而施用磷肥则对灰分累积量无显著影响。

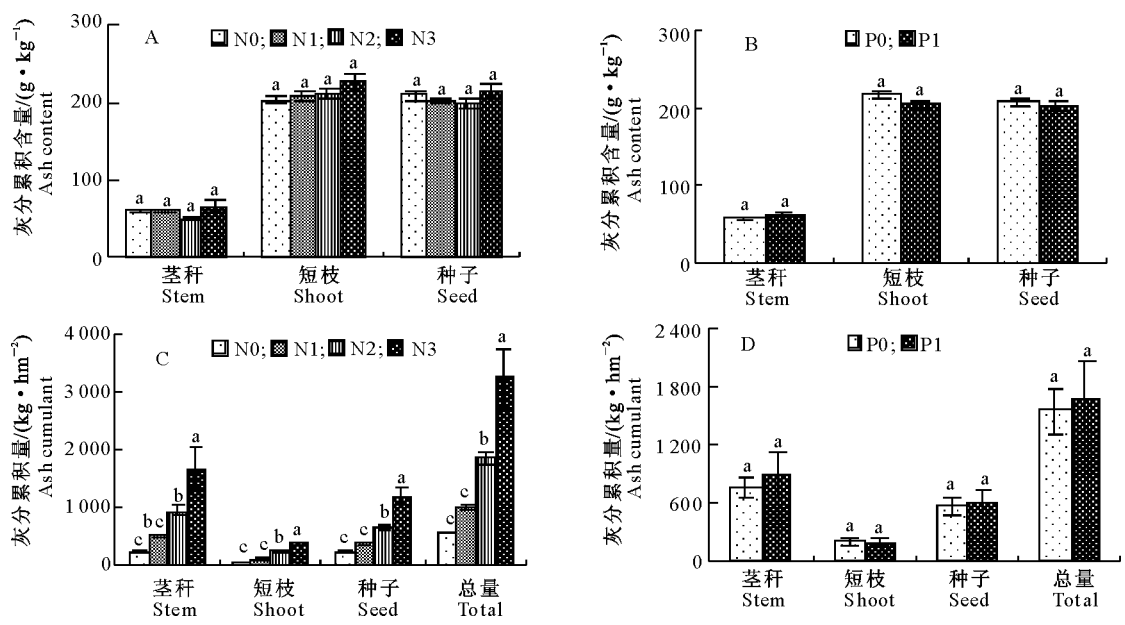


图 2 不同氮磷水平对盐地碱蓬地上部矿质灰分累积含量和累积量的影响

Fig. 2 Effect of different nitrogen and phosphorus levels on mineral ash content and cumulant in *S. salsa*'s aerial part

3 讨论

3.1 盐地碱蓬氮磷素需求特性及其生态学意义

氮磷是植物体内许多重要化合物的组分,对植物生命活动以及作物产量的形成和品质的提高均有极其重要的作用^[24-25]。盐渍化土壤中的有效氮磷含量一般较低,常常难以满足植物生长发育对氮磷素的需求。研究表明,对生长在盐渍土上的植物(无论是盐生植物还是非盐生植物)增施氮磷肥,不仅可以明显改善植株体内的氮磷素养分状况,而且还能明显提高植物的耐盐能力与渗透调节能力,缓解盐分胁迫对植物的危害,从而促进其生长发育和产量的形成^[9-15]。本研究发现,施氮量为 0~225 kg/hm²时,不论施磷与否,盐地碱蓬地上部生物量、根系干

质量及种子产量均随氮肥用量的增加而显著升高,不同氮肥用量处理间差异也多达显著水平。同时,与其他甜土农作物相比,氮肥对盐地碱蓬的增产率明显较高^[26]。例如,联合国粮农组织(FAO)对 41 个国家 18 年的肥料试验结果进行分析后发现,施用化肥农作物平均增产 60%,最高增产 67%;而本试验发现,施用氮肥使盐地碱蓬地上部干物质质量增加 64%~399%,种子增产 59%~403%。说明通过增施氮肥提高盐生植物干物质累积量的潜力较大,这可能与农田生态系统的基础肥力以及长期培肥土壤有关,也可能与盐地碱蓬的自身需肥特性有关。本研究还发现,在同一施氮水平下,施磷处理时盐地碱蓬的地上部生物量、根系干质量与种子产量均与不施磷处理无显著差异,说明在试验区盐化土壤上,氮

肥是制约盐地碱蓬生长发育的限制性因子,增施氮肥可明显促进盐地碱蓬的生长,其影响效果明显大于磷肥。因此,加强氮素养分管理,在盐地碱蓬种植中具有重要作用。但是,有报道显示,过量增施氮磷会加重土壤的盐渍化程度,抑制植物的生长^[27]。如,Magdalena^[27]在盐碱地上的研究发现,施用 140 和 200 kg/hm² 氮肥,对胡椒干物质累积有明显的抑制作用。Grattan 等^[28] 和廖红等^[29] 指出,在作物盐分敏感时期过量施磷,很可能会加剧盐胁迫对大豆生长的影响。而在本试验条件下,施用 225 kg/hm² 氮肥和 135 kg/hm² 磷肥不仅未对盐地碱蓬生长产生抑制作用,反而表现出一定的促进作用,说明盐地碱蓬有较高的耐氮耐磷特性,可能会在未来富营养化水体的修复中发挥更大的生态与经济效益。

3.2 施用氮肥对盐地碱蓬氮含量的影响

植物组织中的养分含量能反映植物的营养状况,且与养分的供应量有直接的关系^[30-31]。有研究认为,在盐分胁迫下,增施氮磷肥能提高耐盐植物和盐生植物植株中的氮磷素养分含量,有利于改善植株的养分平衡,减轻盐分胁迫产生的危害^[32-35]。而一些对盐分敏感的植物,在盐分胁迫下增施氮磷肥对其植株体内氮磷素含量无明显影响,甚至某些耐盐性较弱的植物在高盐胁迫下增施氮磷肥反而会加重其盐害程度,导致养分含量和干物质累积量明显下降^[9,27-29]。但也有研究认为,盐分与养分的交互作用对植物养分吸收利用的影响具有其复杂性,不仅因植物种类、生长阶段、器官、盐分形式及胁迫程度不同而表现各异,而且对于不同的养分形态及供应量,其影响也不同^[11]。例如,Tabatabaei^[36] 研究了盐分胁迫条件下,施用氮肥对橄榄树 3 个栽培变种氮素养分状况的影响,结果发现,在同一盐分水平下,增施氮肥对 Mission 变种的全氮含量无明显影响,但 Manzanillo 和 Zard 这 2 个栽培变种的全氮含量随氮水平的提高有增高趋势,而增施氮肥却显著提高了 3 个栽培变种中的硝态氮含量。在本研究条件下,与不施氮处理相比,增施氮肥显著提高了盐地碱蓬茎秆、种子和短枝中的氮素含量,且种子中氮含量变化对氮肥施用量最为敏感,短枝次之,茎秆比较迟钝。这可能是因为盐地碱蓬进入生殖生长期后,种子成为养分累积的库,氮会从茎秆和短枝等营养器官中输出,并被重新分配到种子中去,以优先满足种子生长的需求。盐地碱蓬种子氮含量的增加可能有利于其在养分贫瘠的生境中生存和竞争。程军等^[37] 研究发现,施氮可明显提高新疆高羊茅种子的

标准发芽率。本试验中,增施磷肥对盐地碱蓬各器官中氮素含量无明显影响,这与邵晶等^[15] 在海水灌溉下对芦荟的施肥试验结果并不一致,可能与供试土壤的理化性质以及盐地碱蓬自身的肥料特性有关。以上结果说明,在本试验复合盐分条件下,盐分对盐地碱蓬氮素的吸收并无抑制作用,增施氮肥明显改善了盐地碱蓬的氮素营养状况,说明在内陆重盐化土壤上,可以通过增施氮肥促进盐地碱蓬的生长,这对盐土地区的生态恢复和经济建设具有重要意义。

本研究还发现,在盐化土壤上增加氮磷肥用量,盐地碱蓬地上各部分的磷含量无明显变化。由于磷素易被土壤固定,土壤有效磷含量较低,是常见的植物生长限制因子。盐地碱蓬对磷素较低的利用量,可能是其长期生长在盐渍环境中对营养胁迫适应的重要机制之一,但具体原因仍需进一步研究。

3.3 盐地碱蓬灰分吸收累积特性探讨

植物的吸盐量除与植物自身的生物学特性有关外,还受土壤类型及土壤理化性质的影响。研究显示,在滨海盐渍土上,盐地碱蓬每季可从土壤中吸收 6 851.4 kg/hm² 的 Na⁺^[6]。本研究发现,在 N3 水平下,盐地碱蓬每季可从土壤中带走 3 228.8 kg/hm² 的矿质灰分,如果土壤初始含盐量是 1.5%,土壤体积质量是 1 300 kg/m³,那么在 N3 水平下,种植盐地碱蓬 4 年可使耕作层(0~20 cm)土壤含盐量降低到适宜抗盐棉花和抗盐小麦耕种的水平(含盐量≤1.0%),而在 N0 水平下则需 23 年,表明在盐碱地上增施氮肥可明显加快盐化土壤的改良速度,这对提高我国土地资源利用效率,缓解人口增长和资源短缺矛盾具有重要意义;无疑也是遏制土地盐渍化、促进生态良性循环的重要途径。

灰分累积量受其含量、根系生长状况和干物质累积量的影响。增施氮磷肥对提高盐地碱蓬灰分累积量效果显著,一方面是由于提高了灰分含量和地上部干物质累积量;另一方面是由于促进了根系的生长,扩大了根系的吸收面积,从而提高了根系吸收矿质养分的能力。而关于如何利用各种有效调控措施,建立盐地碱蓬根系的理想构型,保证盐地碱蓬适量的氮磷素吸收量,实现盐地碱蓬高盐分的吸收累积,仍需进一步研究。

[参考文献]

- [1] 张立宾,徐化凌,赵庚星,等.碱蓬的耐盐能力及其对滨海盐渍土的改良效果[J].土壤,2007,39(2):310-313.

- Zhang L B, Xu H L, Zhao G X, et al. Salt tolerance of *S. salsa* and its soil ameliorating effect on costal saline soil [J]. Soil, 2007, 39(2): 310-313. (in Chinese)
- [2] 赵可夫, 李法曾. 中国盐生植物 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- Zhao K F, Li F Z. Halophytes species in China [M]. Beijing: Science Publishing Company, 1999. (in Chinese)
- [3] 邵秋玲, 谢小丁, 张方申, 等. 盐地碱蓬人工栽培与品系选育初报 [J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(1): 47-49.
- Shao Q L, Xie X D, Zhang F S, et al. A preliminary study on the artificial cultivation and breeding selection of *Suaeda salsa* [J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2004, 12(1): 47-49. (in Chinese)
- [4] 林学政, 沈继红, 刘克奇, 等. 种植盐地碱蓬修复滨海盐渍土效果的研究 [J]. 海洋科学进展, 2005, 23(1): 65-69.
- Lin X Z, Shen J H, Liu K Z, et al. Study on remediation effects of *Suaeda salsa* planting on costal saline soil [J]. Advances in Marine Science, 2005, 23(1): 65-69. (in Chinese)
- [5] 孙宇梅, 赵进, 周威, 等. 我国盐生植物碱蓬开发的现状与前景 [J]. 北京工商大学学报: 自然科学版, 2005, 23(1): 1-4.
- Sun Y M, Zhao J, Zhou W, et al. Current situation and prospect of *Suaeda salsa* development [J]. Journal of Beijing Technology and Business University: Natural Science Edition, 2005, 23(1): 1-4. (in Chinese)
- [6] 赵可夫, 范海, 江行玉, 等. 盐生植物在盐渍土壤改良中的作用 [J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(1): 31-35.
- Zhao K F, Fan H, Jiang X Y, et al. Improvement and utilization of saline soil by planting halophytes [J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2002, 8(1): 31-35. (in Chinese)
- [7] Greenway H, Munns R. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes [J]. Plant Physiol, 1980, 131(1): 149-190.
- [8] Munns R, Termaat A. Whole plant response to salinity [J]. Plant Physiol, 1986, 137(1): 143-160.
- [9] 宁建凤, 郑青松, 刘兆普, 等. 外源 N 对 NaCl 胁迫下库拉索芦荟生理特性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4): 728-833.
- Ning J F, Zheng Q S, Liu Z P, et al. Effects of supplemental nitrogen on physiological characteristics of *Aloe vera* seedlings under NaCl stress [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(4): 728-833. (in Chinese)
- [10] 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 J F, Tian C Y, Feng G, et al. Effects of nitrate on the root growth and salt tolerance of *Suaeda physophora* seedlings under NaCl stress [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15(4): 953-959. (in Chinese)
- [11] 段德玉, 刘小京, 李存桢, 等. N 素营养对 NaCl 胁迫下盐地碱蓬幼苗生长及渗透调节物质变化的影响 [J]. 草业学报, 2005, 14(1): 63-68.
- Duan D Y, Liu X J, Li C Z, et al. The effects of nitrogen on the growth and solutes of halophyte *Suaeda salsa* seedlings under the stress of NaCl [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2005, 14(1): 63-68. (in Chinese)
- [12] Rrez-Boem F H, Thomas G W. Phosphorus nutrition affects wheat response to water deficit [J]. Agron, 1998, 90: 166-171.
- [13] 关军锋, 李广敏. 施磷对限水灌溉小麦根冠及产量的影响研究 [J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(4): 102-105.
- Guan J F, Li G M. Effects of P application on root-top characteristics and yield of wheat under water-limited condition [J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2004, 12(4): 102-105. (in Chinese)
- [14] 冯固, 张福锁, 李生秀, 等. 施磷和接种 AM 真菌对玉米耐盐性的影响 [J]. 植物资源与环境学报, 2000, 9(2): 22-26.
- Feng G, Zhang F S, Li S X, et al. Effect of phosphorus and arbuscular mycorrhizal fungus on response of maize plant to saline environment [J]. Journal of Plant Resource and Environment, 2000, 9(2): 22-26. (in Chinese)
- [15] 邵晶, 郑青松, 刘兆普, 等. 磷对海水胁迫下芦荟幼苗离子分布的影响 [J]. 生态学报, 2005, 25(12): 3167-3171.
- Shao J, Zheng Q S, Liu Z P, et al. Effects of phosphorus application on ion distribution in aloe seedlings under seawater stress [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3167-3171. (in Chinese)
- [16] 董飞翔, 周寅康, 朱继业, 等. 新疆尉犁县西尼尔区生态环境建设初步研究 [J]. 农村生态环境, 2003, 19(2): 6-10.
- Dong F X, Zhou Y K, Zhu J Y, et al. Ecological environment construction in arid areas of northwest China: A case study of Xinier zone in Yuli County of Xinjiang [J]. Rural Eco-environment, 2003, 19(2): 6-10. (in Chinese)
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- Bao S D. Soil and agricultural chemical analysis [M]. Beijing: China Agriculture Publishing Company, 2000. (in Chinese)
- [18] 程建华, 熊升伟, 姜涛, 等. 灼烧恒质对饲料粗灰分测定的影响研究 [J]. 粮食储藏, 2009, 38(1): 43-47.
- Cheng J H, Xiong S W, Jiang T, et al. Influence of ignition to constant weight on the determination of feed crude ash [J]. Grain Storage, 2009, 38(1): 43-47. (in Chinese)
- [19] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1981.
- Nanjing Soil Institute of CAS. Soil physical and chemical analysis [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing Company, 1981. (in Chinese)
- [20] 李学俊, 文建雷, 李生秀, 等. 氮素形态对玉米幼苗生物机制及生物量的影响 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(3): 193-197.
- Li X J, Wen J L, Li S X, et al. Effect of N form on physiological mechanism and biomass in corn seedlings [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2008, 36(3): 193-197. (in Chinese)
- [21] Morris R A, Garrity D P. Resource capture and utilization in intercropping: Non-nitrogen nutrients [J]. Field Crop Res, 1993, 34: 319-334.

[22] 彭正萍,张家铜,袁 硕,等.不同供磷水平对玉米干物质和磷动态累积及分配的影响 [J]. 植物营养与肥科学报,2009,15(4):793-798.
Peng Z P,Zhang J T,Yuan S,et al. Effects of different phosphorus application rates on the dynamic accumulation and distribution of dry matter and phosphorus in maize [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2009,15(4):793-798. (in Chinese)

[23] Donohue S J,Brown D E. Optimum N concentration in winter wheat grown in coastal region of Viginia [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis,1984,15:651-661.

[24] 胡霁堂,周立祥. 植物营养学(下册) [M]. 北京:中国农业大学出版社,2005.
Hu A T,Zhou L X. Plant nutrition science [M]. Beijing:University of Chinese Agriculture Publishing Company,2005. (in Chinese)

[25] 王 术,王伯伦,黄元财,等. 旱作条件下氮肥处理对春小麦产量及生理特性的影响 [J]. 干旱地区农业研究,2006,24(5):46-49.
Wang S,Wang B L,Huang Y C,et al. Influence of nitrogen fertilizer on grain yields and physiological characteristics of dry-land spring wheat [J]. Agriculture Research in the Arid Areas,2006,24(5):46-49. (in Chinese)

[26] 高祥照,马常宝,杜 森. 我国农业发展现状与化肥需求趋势 [J]. 面向农业与环境的土壤科学,2004(7):66-80.
Gao X Z,Ma C B,Du S. The situation of agriculture development and the trend of demand for chemical fertilizer in China [J]. Soil Science Faced for Agriculture and Environment,2004(7):66-80. (in Chinese)

[27] Magdalena V C. Response of chile pepper plants to nitrogen fertilization and soil salinity [M]. New Mexico:New Mexico State University Las Cruces,2003.

[28] Grattan S R,Maas E V. Effect of salinity on phosphate accumulation and injury in soybean I. Influence of $\text{CaCl}_2/\text{NaCl}$ ratios [J]. Plant Soil,1988,105:25-32.

[29] 廖 红,张秒高,孔凡利,等. 盐磷耦合胁迫下大豆的生长和钠、磷离子长距离运输 [J]. 植物生理学通讯,2006,42(1):19-23.
Liao H,Zhang M G,Kong F L,et al. Soybean growth and long-distance transport of sodium and phosphorus ions under salt and low phosphorus coupled stresses [J]. Plant Physiology Communications,2006,42(1):19-23. (in Chinese)

[30] Chapin F S,Bloom A J,Field C B. Plant response to multiple environmental factors [J]. Bioscience,1987,37:49-57.

[31] 周 桦,马 强,姜子郡,等. 有机肥用量对玉米体内养分浓度及分配的影响 [J]. 中国生态农业学报,2009,17(4):647-650.
Zhou H,Ma Q,Jiang Z S,et al. Effect of different manure application rates on nutrition content and distribution in maize [J]. Chinese Journal of Eco-agriculture,2009,17(4):647-650. (in Chinese)

[32] Skeffingon M J S,Jeffrey D W. Response of America maritime Mill Willd and *Plantago martima* L. from an Irish salt marsh to nitrogen and salinity [J]. N Phytol,1998,110:339.

[33] 逢焕成,杨劲松,谢晓红,等. 氯化钠胁迫下施氮对冬小麦生长发育及体内氯、钠离子积累的影响 [J]. 植物营养与肥科学报,2005,11(5):654-658.
Feng H C,Yang J S,Xie X H,et al. Effects of nitrogen fertilization on growth and vivo Cl^- and Na^+ accumulation of winter wheat under NaCl stress [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2005,11(5):654-658. (in Chinese)

[34] 张新春,庄炳昌,李自超. 植物耐药性研究进展 [J]. 玉米科学,2002,10(1):50-56.
Zhang X C,Zhuang B C,Li Z C. Advances in study of salt-stress tolerance in plants [J]. Journal of Maize Sciences,2002,10(1):50-56. (in Chinese)

[35] Bernstein L,Francois L E,Clark R A. Interactive effects of salinity and fertility on yields of grains and vegetables [J]. Agron J,1974,66:412-421.

[36] Tabatabaei S J. Effects of salinity and N on the growth,photosynthesis and N status of olive (*Olea europaea* L.) trees [J]. Scientia Horticulturae,2006,108(4):432-438.

[37] 程 军,马春晖,韩建国,等. 施氮肥对新疆高羊茅种子质量的影响 [J]. 干旱地区农业研究,2003,21(2):59-61,67.
Cheng J,Ma C H,Han J G,et al. Effect of application nitrogen fertilizer on seed quality of tall fescue in Xinjiang [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2003,21(2):59-61,67. (in Chinese)