

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第18期 Vol.32 No.18 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 18 期

2012 年 9 月 (半月刊)

目 次

亚热带典型树种对模拟酸雨胁迫的高光谱响应.....	时启龙,江 洪,陈 健,等 (5621)
珠江三角洲地面风场的特征及其城市群风道的构建.....	孙 武,王义明,王越雷,等 (5630)
粤北山地常绿阔叶林自然干扰后冠层结构与林下光照动态.....	区余端,苏志尧 (5637)
四种猎物对南方小花蝽生长发育和繁殖的影响.....	张昌容,鄧军锐,莫利锋 (5646)
普洱季风常绿阔叶林次生演替中木本植物幼苗更新特征.....	李帅锋,刘万德,苏建荣,等 (5653)
喀斯特常绿落叶阔叶混交林物种多度与丰富度空间分布的尺度效应.....	张忠华,胡 刚,祝介东,等 (5663)
格氏栲天然林土壤养分空间异质性.....	苏松锦,刘金福,何中声,等 (5673)
种植香根草对铜尾矿废弃地基质化学和生物学性质的影响.....	徐德聪,詹 婧,陈 政,等 (5683)
灌溉对三种荒漠植物蒸腾耗水特性的影响.....	单立山,李 毅,张希明,等 (5692)
真盐生植物盐角草对不同氮形态的响应.....	聂玲玲,冯娟娟,吕素莲,等 (5703)
鹿泉沟自然保护区寒温性针叶林演替优势种格局动态分析.....	张钦弟,毕润成,张金屯,等 (5713)
不同水肥条件下 AM 真菌对丹参幼苗生长和营养成分的影响.....	贺学礼,马 丽,孟静静,等 (5721)
垄沟覆膜栽培冬小麦田的土壤呼吸.....	上官宇先,师日鹏,韩 坤,等 (5729)
不同方式处理牛粪对大豆生长和品质的影响.....	郭立月,刘雪梅,战丽杰,等 (5738)
基于大气沉降与径流的乌鲁木齐河源区氮素收支模拟.....	王圣杰,张明军,王飞腾,等 (5747)
基于能值理论的循环复合农业生态系统发展评价——以福建省福清星源循环农业产业示范基地为例.....	钟珍梅,翁伯琦,黄勤楼,等 (5755)
低温暴露和恢复对棘胸蛙雌性亚成体生存力及能量物质消耗的影响.....	凌 云,邵 晨,颜志刚,等 (5763)
暗期干扰对棉铃虫两个不同地理种群滞育抑制作用的比较.....	陈元生,涂小云,陈 超,等 (5770)
水土流失治理措施对小流域土壤有机碳和全氮的影响.....	张彦军,郭胜利,南雅芳,等 (5777)
不同管理主体对泸沽湖流域生态系统影响的比较分析.....	董仁才,苟亚青,李思远,等 (5786)
连江鱼类群落多样性及其与环境因子的关系.....	李 捷,李新辉,贾晓平,等 (5795)
溶氧水平对鲫鱼代谢模式的影响.....	张 伟,曹振东,付世建 (5806)
象山港人工鱼礁区的网采浮游植物群落组成及其与环境因子的关系.....	江志兵,陈全震,寿 鹿,等 (5813)
填海造地导致海湾生态系统服务损失的能值评估——以套子湾为例.....	李睿倩,孟范平 (5825)
城市滨水景观的视觉环境质量评价——以合肥市为例.....	姚玉敏,朱晓东,徐迎碧,等 (5836)
专论与综述	
生态基因组学研究进展.....	施永彬,李钧敏,金则新 (5846)
海洋酸化生态学研究进展.....	汪思茹,殷克东,蔡卫君,等 (5859)
纺锤水蚤摄食生态学研究进展.....	胡思敏,刘 胜,李 涛,等 (5870)
河口生态系统氨氧化菌生态学研究进展.....	张秋芳,徐继荣,苏建强,等 (5878)
嗜中性微好氧铁氧化菌研究进展.....	林超峰,龚 骏 (5889)
典型低纬度海区(南海、孟加拉湾)初级生产力比较.....	刘华雪,宋星宇,黄洪辉,等 (5900)
植物叶片最大羧化速率及其对环境因子响应的研究进展.....	张彦敏,周广胜 (5907)
中国大陆鸟类栖息地选择研究十年.....	蒋爱伍,周 放,覃 玥,等 (5918)
研究简报	
孵化温度对赤链蛇胚胎代谢和幼体行为的影响.....	孙文佳,俞 霄,曹梦洁,等 (5924)
不同培肥茶园土壤微生物量碳氮及相关参数的变化与敏感性分析.....	王利民,邱珊莲,林新坚,等 (5930)
施肥对两种莧菜吸收积累镉的影响.....	李凝玉,李志安,庄 萍,等 (5937)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-09



封面图说: 冬天低空飞翔的丹顶鹤——丹顶鹤是鹤类中的一种,因头顶有“红肉冠”而得名。是东亚地区特有的鸟种,因体态优雅、颜色分明,在这一地区的文化中具有吉祥、忠贞、长寿的象征,是传说中的仙鹤,国家一级保护动物。丹顶鹤具备鹤类的特征,即三长——嘴长、颈长、腿长。成鸟除颈部和飞羽后端为黑色外,全身洁白,头顶皮肤裸露,呈鲜红色。丹顶鹤每年要在繁殖地和越冬地之间进行迁徙,只有在日本北海道等地是留鸟,不进行迁徙,这可能与冬季当地人有组织地投喂食物,食物来源充足有关。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201108111180

聂玲玲, 冯娟娟, 吕素莲, 江萍, 范鹏祥, 台方, 李银心. 真盐生植物盐角草对不同氮形态的响应. 生态学报, 2012, 32(18): 5703-5712.

Nie L L, Feng J J, L S L, Jiang P, Fan P X, Tai F, Li Y X. The response of euhalophyte *Salicornia europaea* L. to different nitrogen forms. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(18): 5703-5712.

真盐生植物盐角草对不同氮形态的响应

聂玲玲, 冯娟娟, 吕素莲, 江萍, 范鹏祥, 台方, 李银心*

(中国科学院植物研究所植物分子生理学重点实验室, 北京 100093)

摘要:盐角草(*Salicornia europaea* L.)是一种喜盐植物,其最佳生长的实现需要 200—400 mmol/L NaCl。为了解盐渍环境下盐角草氮素吸收利用特点,在水培添加 200 或 400 mmol/L NaCl 情况下,从生长指标,光合参数,根系体积和活力,硝酸还原酶与谷氨酰胺合成酶活力,蛋白、总氮、硝态氮及铵态氮含量等方面检测了硝态氮、铵态氮和尿素 3 种氮形态对盐角草生长的影响。研究发现以氮摩尔浓度(mmol/L)计,在 0.1—400 mmol/L 浓度范围进行测试,盐角草在 0.1 mmol/L 低氮条件下仍能维持生长,同时,抑制盐角草生长的氮浓度域值较高,其中铵态氮、尿素和硝态氮分别为 50、50 及 400 mmol/L。研究结果表明盐角草吸收利用氮素的能力强,对氮素的浓度耐受范围宽,3 种氮形态都可作为氮源满足其生长需要,但有效促进生长的效果存在差异,总体顺序从高到低依次为硝态氮、铵态氮和尿素。研究为揭示盐生植物氮吸收利用特点提供了基础数据,对提高盐生植物生产力,指导沿海滩涂生态建设具有一定的指导意义。

关键词:盐生植物;盐角草;氮素;硝态氮;铵态氮;尿素

The response of euhalophyte *Salicornia europaea* L. to different nitrogen forms

NIE Lingling, FENG Juanjuan, LÜ Sulian, JIANG Ping, FAN Pengxiang, TAI Fang, LI Yinxin*

Key Laboratory of Plant Molecular Physiology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

Abstract: *Salicornia europaea* L., a euhalophyte, needs moderate concentrations of NaCl (200—400 mmol/L) to maintain its optimal growth. The assimilation of nitrogen under salinity might be distinctive in this plant. In present study, *S. europaea* plants were hydroponically cultured in medium containing moderate Na⁺. Nitrate, ammonium and urea with nitrogen concentrations ranged from 0.1 to 400 mmol/L were separately applied to *S. europaea* plants in culture medium, to investigate the characteristics of nitrogen assimilation. Measurements on growth and photosynthetic parameters, nitrogen metabolic enzymes activities, as well as the content of soluble and insoluble protein, nitrate, ammonium and total nitrogen, were performed after treatments for 30 days. The results showed there was no significant difference in growth of *S. europaea* plants when supplied with the three nitrogen forms at nitrogen concentrations of 0.1 and 1 mmol/L. However, when the concentration of nitrogen reached to 10 mmol/L or higher, nitrate proved to be the best nitrogen nutrition for the growth of *S. europaea*, followed by ammonium and urea. When nitrogen concentration increased to 50 mmol/L, the growth of *S. europaea* supplied with ammonium and urea were significantly inhibited, while the plants maintained normal growth until high nitrate nitrogen concentration of 400 mmol/L under salinity of 400 mmol/L Na⁺. Under all three forms of nitrogen, photosynthetic parameters were consistent with the plant growth trends. Root volume and activities were normally distributed and raised to the peak at the nitrogen concentration of 10 mmol/L with nitrate, 1 mmol/L with ammonium and 1 mmol/L with urea, respectively. The nitrogen metabolic enzymes activities in *S. europaea* were affected by exogenous nitrogen concentration. The nitrate reductase and glutamine synthetase activities were increased with nitrate supply. However,

基金项目:中国科学院创新工程资助(KSCX2-EW-J-1)

收稿日期:2011-08-11; 修订日期:2012-01-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yxli@ibcas.ac.cn

ammonium and urea did not affect nitrate reductase activities. The glutamine synthetase activities were normally distributed under ammonium and urea, which was highest at the concentration of 10 mmol/L nitrogen in ammonium and 50 mmol/L in urea, respectively. The content of total nitrogen, soluble and insoluble protein of *S. europaea* was increased with the increasing supply of exogenous nitrogen. In summary, this study revealed that *S. europaea* has a strong ability on nitrogen absorption and utilization. All the three forms of nitrogen with a wide range of nitrogen concentration can be used as nitrogen supply for *S. europaea*, among them, however, nitrate with nitrogen concentrations from 0.1 to 400 mmol/L was proved to be the best, followed by ammonium and urea whose acceptable nitrogen concentration ranged from 0.1 to 50 mmol/L. These findings act as basis for revealing the mechanism of nitrogen absorption and assimilation in *S. europaea*, which will in turn be meaningful for developing the halophytes in coastal and other saline areas.

Key Words: Halophyte; *Salicornia europaea*; nitrogen; nitrate nitrogen; ammonium nitrogen; urea

氮素是植物生长发育必需的大量元素。植物吸收氮素的主要形式是硝态氮和铵态氮,在农业生产中,尿素也作为主要提供形式之一^[1]。自然生境的氮含量变幅较宽,可低至几十 $\mu\text{g}/\text{kg}$,也可以高达几百 mg/kg ^[2]。环境中氮素供给状况严重影响植物生长发育的各个环节。土壤中有效氮不足是限制作物产量的重要因素。农业生产中一般通过施用氮肥来增加土壤氮供应,这不仅大大提高了农业成本,而且不断累积的土壤氮肥也造成了环境污染等严重后果,导致部分地区出现水域富营养化^[3]。深入研究植物氮吸收利用特点,进而筛选和培育氮高效作物,是提高氮素利用效率、缓解氮缺乏的有效途径,也是实现农业可持续发展的重要一环。

盐渍化是一个世界性的资源和生态问题^[4],由于土壤 pH 值较高,盐渍土中氮素含量较农田更低。然而,很多盐生植物却能够在此类生境生长并形成生物量。对盐渍生境中盐生植物氮营养研究发现,虽然该生境中土壤有效氮含量较低,大约十几 mg/kg ^[5-6],但许多盐生植物尤其是藜科植物蛋白质含量却很高^[7],许多滨藜属植物体内氮素含量甚至达到豆科牧草的水平^[8]。以上研究提示盐生植物可能具有与甜土植物不同的氮吸收或代谢机理。

盐角草 (*Salicornia europaea* L.) 属藜科,是一种肉质化真盐生植物,能够积累高达干重 50% 的 NaCl,是世界上最耐盐的高等植物之一^[9]。盐角草不仅可用于盐碱地的脱盐改良,同时,它可以抑制赤潮的发生,在污染水体的修复中发挥重要作用^[10]。俄罗斯科学家发现,盐角草能在高浓度的尿素中生长,是一种最有前景被纳入太空生物再生生命保障系统 (Bioregenerative Life Support Systems, BLSS) 的高等植物^[11]。但是,迄今为止,关于盐渍化生境中盐角草氮素吸收利用特性及对不同氮素浓度耐受范围的系统研究还未见报道。

本研究以盐角草为对象,以水培方式种植,在满足其生长所需 200—400 mmol/L NaCl 条件下,以 0.1 和 400 mmol/L 氮素浓度作为浓度上下限,检测生长指标,光合指标,根系体积和活力,氮代谢关键酶活性以及植物体内氮素含量等相关参数,研究盐角草对硝态氮,铵态氮以及尿素 3 种氮素形态的响应特点。本研究结果为揭示盐角草氮素吸收利用特性及机理提供了基础数据,对提高盐生植物生产力,进而指导沿海滩涂生态建设具有一定的实践指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

盐角草种子采自我国江苏省大丰市滩涂。盐角草在日光温室中培养,培养条件为:光照 16 h/黑暗 8 h,日温 25—30 $^{\circ}\text{C}$,夜温 18—20 $^{\circ}\text{C}$,大气相对湿度 60%—80%。盐角草种子播于营养土中,用 1/2 Hoagland 营养液 (pH 值 7.0) 浇灌。萌发 21 d 后,植株长至 5—8 cm,将其移栽至不透光塑料盒。植株基部用岩棉包裹,塑料泡沫板作为支持物,株距 6 cm,营养液体积 3 L。在 1/2 Hoagland 营养液中添加 200 mmol/L NaCl 培养 1 周后,用 0.2 mmol/L CaSO_4 溶液蘸洗盐角草根系两次^[12],然后将植株移至不同氮素培养液 (成分见表 1, pH 值 7.0) 中培养。每种处理设 3 个重复,每个重复 20 株,每天定时用充氧泵充气,每 3 d 更换营养液。培养 30 d 后,收集材料测定各项生理指标。本文以下各处所述的不同氮浓度是指培养液中总氮摩尔浓度。

表 1 3 种氮素培养液成分
Table 1 The culture medium with three forms of nitrogen

营养液成分 /(mmol/L)	处理 Treatments														
	NO ₃ ⁻ /(mmol/L)					NH ₄ ⁺ /(mmol/L)					CO(NH ₂) ₂ /(mmol/L)				
	0.1	1	10	50	100	0.1	1	10	50	100	0.1	1	10	50	100
K ₂ SO ₄	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
CaCl ₂	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
KH ₂ PO ₄	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
MgSO ₄	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
FeSO ₄	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Hoagland 微量	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Na ⁺	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Cl ⁻	199.9	199	190	150	100	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
NO ₃ ⁻	0.1	1	10	50	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(NH ₄) ₂ SO ₄	0	0	0	0	0	0.05	0.5	5	25	50	0	0	0	0	0
CO(NH ₂) ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0.5	5	25	50

盐角草处于 400 mmol/L NaCl 的培养条件,扩大浓度范围硝态氮培养液成分如表 2 所示(pH 值 7.0)。处理及重复数同上,30 d 后测定干重,株高及光合参数等生理指标。

表 2 不同浓度硝态氮培养液成分
Table 2 The culture medium with different concentrations of nitrate

营养液成分/(mmol/L)	NO ₃ ⁻ 处理 Nitrate treatments/(mmol/L)					
	0	1	10	100	200	400
K ₂ SO ₄	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
CaCl ₂	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
KH ₂ PO ₄	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
MgSO ₄	1	1	1	1	1	1
FeSO ₄	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Hoagland 微量	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Na ⁺	400	400	400	400	400	400
Cl ⁻	400	399	390	300	200	0
NO ₃ ⁻	0	1	10	100	200	400

1.2 植株生物量的测定

不同浓度氮处理 30 d 后,测定盐角草株高,每种处理设 20 个重复。植株用自来水冲洗两遍后用吸水纸吸干,后置于 80 ℃烘箱烘干,测定干重。每项测定设 6 个重复。

1.3 光合指标以及叶绿素含量测定

光合速率,蒸腾速率,气孔导度:采用 LI-6400 便携式光合仪(LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA)测定。测定地点为环境条件稳定的日光温室(光照 16 h/黑暗 8 h,日温 25—30 ℃,夜温 18—20 ℃,相对湿度 60%—80%)。采用 6400-02B 红蓝光源,控制光强为 1000 μmol·m⁻²·s⁻¹。测定时将盐角草同部位幼茎并排占满叶室且保证不漏气,每项测定设 6 个重复。

PS II 的原初光能转换效率(F_v/F_m):采用 LI-6400 便携式光合仪的荧光叶室(6400-40)对盐角草幼茎同一部位进行测定,设 6 个重复。

叶绿素含量:叶绿素含量的测定采用丙酮提取法^[13],设 6 个重复。

1.4 根系体积和根系活力

根系体积采用体积计法测定,根系活力采用 TTC 法测定^[13],设 6 个重复。

1.5 硝酸还原酶(NRA)和谷氨酰胺合成酶(GS)活性

NRA 的活性检测:采用离体法测定^[13],设 6 个重复。

GS 活性检测:采用分光光度计比色法测定,GS 活性用 540 nm 吸光值表示,单位 A·mg⁻¹·h⁻¹^[14],设 6 个重复。

1.6 可溶性蛋白和非可溶性蛋白含量

分别采用 Tris-HCl 和 NaOH 法提取可溶性蛋白与非可溶性蛋白,考马斯亮蓝 G-250 染色, 595 nm 波长处测定吸光度(A)值,根据标准曲线计算蛋白含量^[13],设 6 个重复。

1.7 总氮,硝态氮,铵态氮含量

将整株植物烘干磨样,用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 法消煮后,用凯氏定氮法测定样品中的总氮含量^[12]。植物材料烘干磨成粉末状,称取 0.05—0.1 g 材料,加入 5 mL 去离子水,于 80 °C 的水浴锅中煮 20 min,过滤,上清液采用流动分析仪(Seal Analytical, AutoAnalyzer 3)测定硝态氮和铵态氮含量^[15],设 6 个重复。

1.8 数据统计与分析

采用统计学软件 SPSS 14.0 分别对相同氮素不同氮浓度的处理以及相同氮浓度不同氮素处理进行多重比较的 LSD 统计分析,在 $P = 0.05$ 水平上对各处理进行显著性差异比较,误差线上不同的大写字母表示相同氮源不同氮浓度的处理在 $P \leq 0.05$ 时有显著差异,不同的小写字母表示不同氮源相同氮浓度的处理在 $P \leq 0.05$ 时有显著差异。作图采用 SigmaPlot 10.0 作图软件。

2 结果与分析

2.1 不同氮形态对盐角草生长的影响

氮浓度低于 10 mmol/L 时,其升高对盐角草的生长具有促进作用,而高于 10 mmol/L 时,不同氮形态对盐角草生长的影响趋势不同(图 1)。以硝态氮为氮源时,盐角草的生物量和株高在 10 mmol/L 时达到最高值,

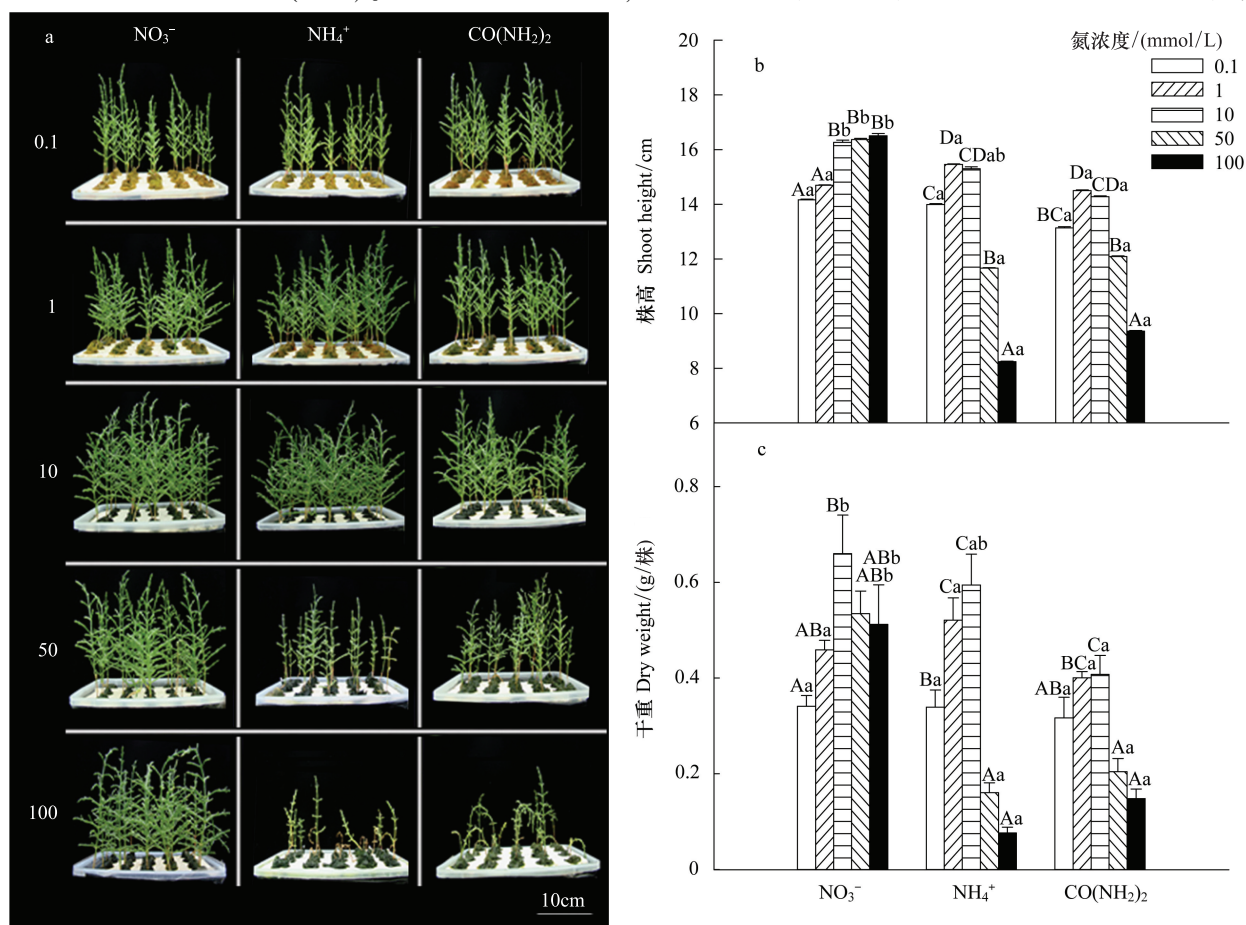


图 1 200 mmol/L NaCl 条件下,3 种氮素处理 30 d 对盐角草生长的影响

Fig. 1 The effects of three nitrogen forms on the growth of *S. europaea* under 200 mmol/L NaCl after 30 days of treatment

a: 植株表型;b: 株高;c: 干重;0.1,1,10,50,100 表示氮浓度(mmol/L);数据为平均值 $\pm$ SE(株高 $n = 20$,干重 $n = 6$),误差线上不同大写字母表示相同氮源不同氮浓度的处理在 $P \leq 0.05$ 时有显著差异,不同小写字母表示不同氮源相同氮浓度的处理在 $P \leq 0.05$ 时有显著差异

而更高浓度的硝态氮(50、100 mmol/L)培养条件下,盐角草生物量的积累和株高与 10 mmol/L 硝态氮下无显著差异。盐角草对铵态氮和尿素吸收利用的最佳浓度范围均为 1—10 mmol/L,此浓度范围内植株生物量最大。当两种氮源的氮浓度达 50 mmol/L 时,盐角草生长受到抑制,植株矮小;氮浓度达 100 mmol/L 时已致部分植株死亡。通过对生长指标比较发现,盐角草对 3 种氮素的响应存在差异,在低氮条件(0.1、1 mmol/L)下,盐角草生物量的积累在 3 种氮素间无显著差异。而当氮浓度达 10 mmol/L 及以上时,3 种氮素有效促进盐角草生长的顺序依次为硝态氮、铵态氮和尿素。在高浓度(50, 100 mmol/L)氮素条件下,盐角草以硝态氮为氮源时生长依然旺盛,而尿素和铵态氮均抑制其生长。

2.2 不同氮形态对盐角草光合作用的影响

不同氮形态和供应水平可以影响植物光合作用的各个环节。光合参数测定结果(图 2)显示,以硝态氮为氮源时,盐角草叶绿素含量,净光合速率,蒸腾速率及气孔导度变化趋势一致,即随着硝态氮浓度的升高,叶绿素含量,光合速率,蒸腾速率及气孔导度均增加。当硝态氮的浓度达 10 mmol/L 及以上时,光合作用依然较强。 F_v/F_m 的值稳定在 0.8 左右,表明光系统 II 的活性较高,且受硝态氮浓度的影响较小。以铵态氮和尿素为氮源时,盐角草光合参数变化趋势一致:随着氮素浓度的升高,叶绿素含量,光合速率,蒸腾速率以及气孔导度均升高,光系统 II 也保持较高的活性。但当氮浓度升至 50 mmol/L 时,光合速率,蒸腾速率以及气孔导度均下降,光系统 II 活性受损。同浓度 3 种氮素比较发现,硝态氮作为氮源时,盐角草的光合参数高于铵态氮与尿素,而铵态氮与尿素为氮源时,其光合参数间无显著差异。

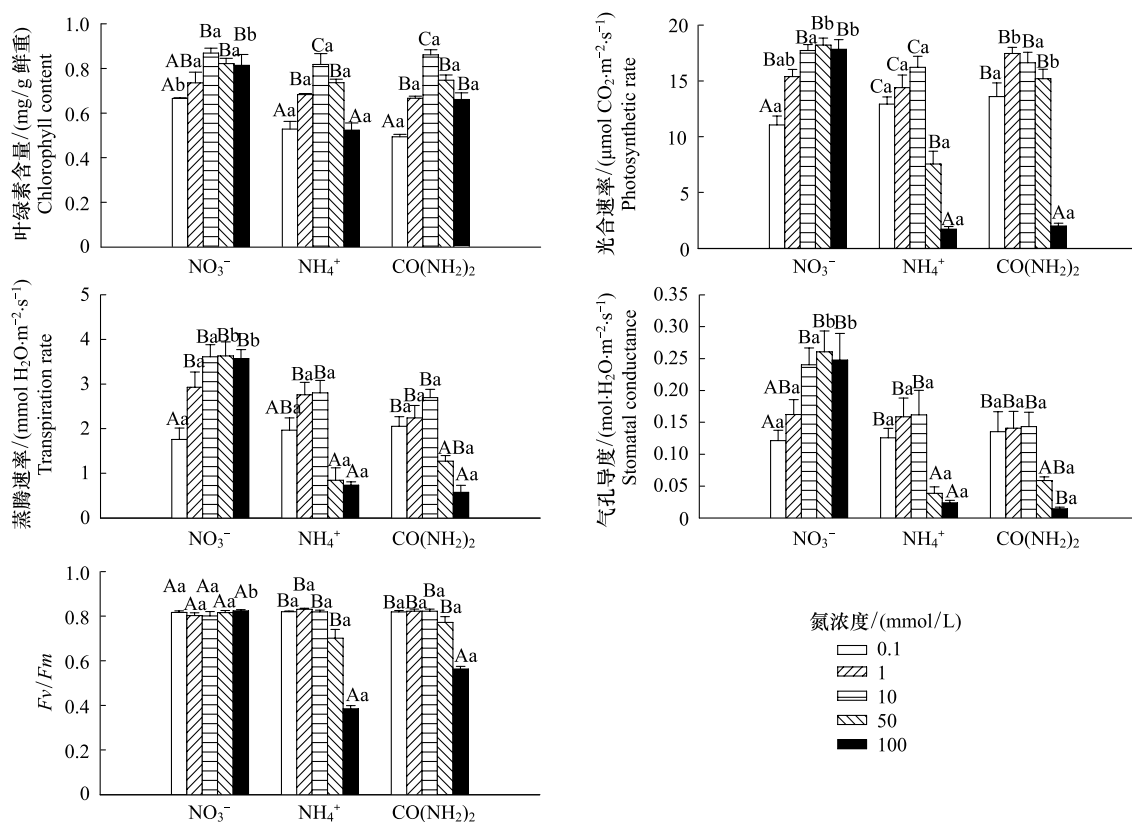


图 2 200 mmol/L NaCl 下,3 种氮素处理 30 d 对盐角草叶绿素含量,光合速率,蒸腾速率,气孔导度以及 F_v/F_m 的影响

Fig. 2 The effects of three nitrogen forms on the chlorophyll content, photosynthetic rates, transpiration rate, stomata conductance and F_v/F_m of *S. europaea* under 200 mmol/L NaCl after 30 days of treatment

0.1, 1, 10, 50, 100 表示氮浓度 (mmol/L); 数据为平均值 ($n = 6$) $\pm$ SE, 误差线上不同大写字母表示相同氮源不同氮浓度的处理在 $P \leq 0.05$ 时有显著差异, 不同小写字母表示不同氮源相同氮浓度的处理在 $P \leq 0.05$ 时有显著差异

2.3 不同氮形态对盐角草根系体积与活力的影响

不同氮形态及供应水平会影响植物根系的形态建成与根系活力。盐角草根系体积和活力呈正态分布,分

别在 10 mmol/L 硝态氮, 1 mmol/L 铵态氮, 1 mmol/L 尿素的培养条件下达到最高(图 3)。高浓度的硝态氮对盐角草根体系体积抑制作用不显著, 而高浓度的铵态氮和尿素则显著抑制盐角草根系的生长(图 3)。根系活力的测定结果发现在不同浓度硝态氮培养条件下, 盐角草根系活力均保持较高水平。以铵态氮和尿素为氮源时, 当氮浓度低于 10 mmol/L 时, 盐角草根系活力较高, 且两种氮源间无显著差异, 而较高浓度的铵态氮和尿素(50 mmol/L)使植株根系活力显著降低(图 3)。

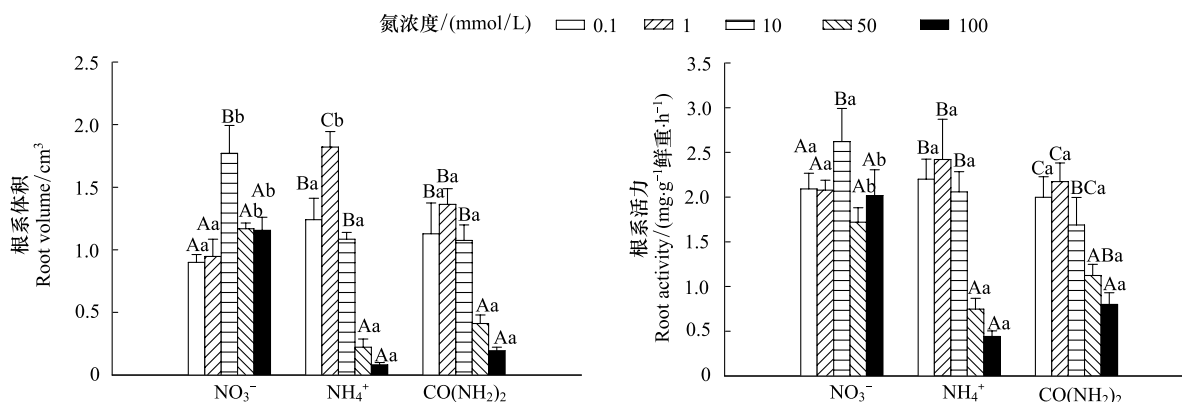


图 3 200 mmol/L NaCl 下, 3 种氮素处理 30 d 对盐角草根体系体积与根系活力的影响

Fig. 3 Effects of three nitrogen forms on the root volume and root activity of *S. europaea* under 200 mmol/L NaCl after 30 days of treatment

0.1, 1, 10, 50, 100 表示氮浓度 (mmol/L); 数据为平均值 ($n = 6$) $\pm$ SE, 误差线上不同大写字母表示相同氮源不同氮浓度的处理在 $P \leq 0.05$ 时有显著差异, 不同小写字母表示不同氮源相同氮浓度的处理在 $P \leq 0.05$ 时有显著差异

2.4 不同氮形态对盐角草氮代谢关键酶活性的影响

硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶是植物氮代谢途径中的两个关键酶, 其活性受外源氮形态及供氮量的影响。盐角草硝酸还原酶活性主要受外源硝态氮浓度的影响。以硝态氮为氮源时, 硝酸还原酶的活性随氮浓度的升高而升高。而以铵态氮和尿素为氮源时, 硝酸还原酶活性均较低(图 4)。谷氨酰胺合成酶的活性受氮形态和浓度的影响较大; 随着硝态氮浓度的升高, 此酶的活性持续升高; 而以铵态氮和尿素为氮源时, 谷氨酰胺合成酶的活性呈正态分布, 在 10 mmol/L 铵态氮和 50 mmol/L 尿素培养条件下, 其活性分别达到最高值(图 4)。

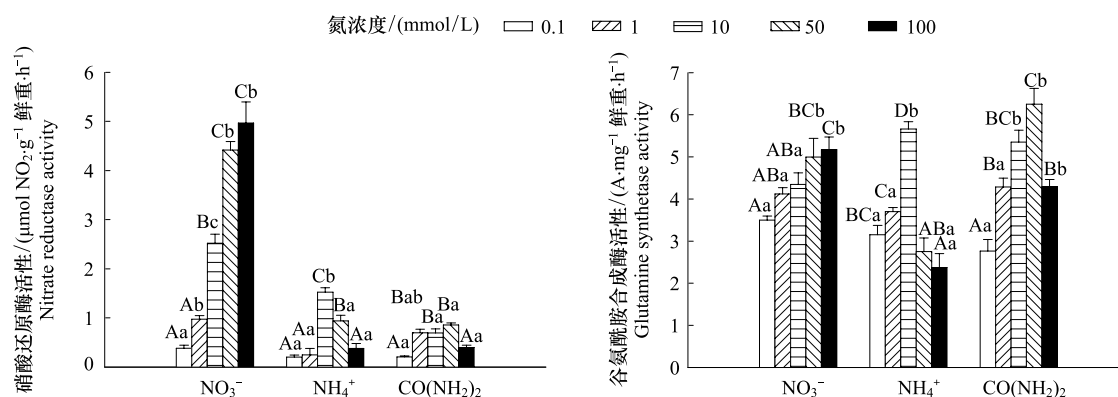


图 4 200 mmol/L NaCl 下, 3 种氮素处理 30 d 对盐角草硝酸还原酶与谷氨酰胺合成酶活性的影响。

Fig. 4 Effects of three nitrogen forms on the enzymatic activities of nitrate reductase and glutamine synthetase of *S. europaea* plants under 200 mmol/L NaCl after 30 days of treatment

0.1, 1, 10, 50, 100 表示氮浓度 (mmol/L)。数据为平均值 ($n = 6$) $\pm$ SE, 误差线上不同大写字母表示相同氮源不同氮浓度的处理在 $P \leq 0.05$ 时有显著差异, 不同小写字母表示不同氮源相同氮浓度的处理在 $P \leq 0.05$ 时有显著差异

2.5 不同氮形态对盐角草可溶性蛋白和非可溶性蛋白含量的影响

植物体内氮素的代谢途径主要是通过硝态氮还原为铵态氮,铵再被同化为氨基酸,进而合成各种蛋白质。外源氮浓度影响植物体内蛋白质的含量。研究表明,盐角草体内可溶性蛋白与非可溶性蛋白的含量都随氮浓度的升高而升高(图5)。以硝态氮为氮源时,盐角草可溶性蛋白含量在不同浓度硝态氮培养环境下差别不大,但略低于同浓度的铵态氮和硝态氮。在 100 mmol/L 尿素的培养条件下,盐角草可溶性蛋白含量最高(图5)。盐角草非可溶性蛋白的含量在同浓度不同氮素下无显著差异(图5)。

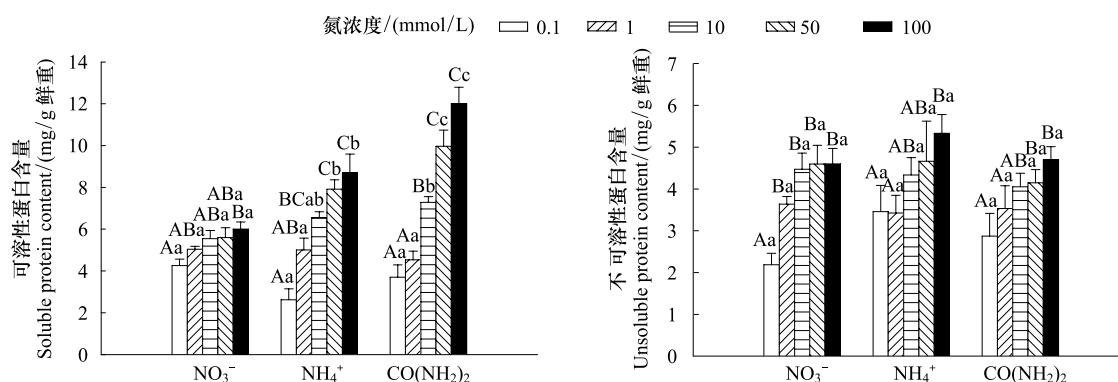


图5 200 mmol/L NaCl 下,3 种氮素处理 30 d 对盐角草可溶性蛋白和非可溶性蛋白含量的影响

Fig. 5 Effects of different nitrogen forms on the content of soluble and insoluble protein of *S. europaea* plants under 200 mmol/L NaCl after 30 days of treatment

0.1,1,10,50,100 表示氮浓度 (mmol/L);数据为平均值 ($n = 6$) $\pm$ SE,误差线上不同大写字母表示相同氮源不同氮浓度的处理在 $P \leq 0.05$ 时有显著差异,不同小写字母表示不同氮源相同氮浓度的处理在 $P \leq 0.05$ 时有显著差异

2.6 不同氮形态对盐角草体内总氮、硝态氮以及铵态氮含量的影响

随着营养液中氮素浓度的升高,盐角草总氮含量持续升高,与可溶性蛋白含量的测定结果类似,100 mmol/L 尿素培养环境下盐角草体内总氮含量最高(图6)。不同氮形态对盐角草体内硝态氮和铵态氮含量的影响很大。外源施加硝态氮和铵态氮能够分别提高盐角草体内硝态氮和铵态氮含量,同时,尿素的施加也能提高盐角草体内铵态氮的含量,100 mmol/L 尿素的培养环境下铵态氮含量最高。而以铵态氮和尿素为氮源时,盐角草体内硝态氮含量一直处于较低水平。以硝态氮为氮源时,其体内铵态氮含量也较低(图6)。

2.7 盐角草对硝态氮浓度耐受范围较宽

前期实验发现,盐角草能够耐受高浓度的硝态氮。为揭示盐角草硝态氮的浓度耐受范围,在 400 mmol/L NaCl 的水培环境下,对盐角草施加更宽浓度范围的硝态氮。结果显示,外源施加硝态氮 30 d 后,在 0—400 mmol/L 硝态氮浓度范围内盐角草均能正常生长。硝态氮的浓度达到 400 mmol/L 时,植株的生长和生物量的积累才略受抑制(图7)。比较光合指标(图7)发现,无氮素供应时,盐角草光合速率最低,当硝态氮浓度大于 1 mmol/L 时,不同氮施加浓度下,植株光合速率均较高,且不同硝态氮浓度下无显著差异。

3 讨论

硝态氮,铵态氮都是植物易吸收的良好氮源,尿素也是农业生产中常用的氮源。硝态氮是阴离子,是氧化态的氮源,铵态氮是阳离子,是还原态的氮源。尿素是一种有机氮肥,属于酰胺态氮。不同种属植物对这 3 种氮素吸收利用的特点差别较大。如水稻是更喜铵态氮的植物;而大麦,荞麦和油菜等则是喜硝态氮的植物^[16]。

3.1 盐角草对不同氮形态的吸收利用特点

盐角草在低氮高盐的极端环境中仍能正常生长,提示其具有独特的氮素吸收利用机制。本研究发现,在 0.1 mmol/L 和 1 mmol/L 低氮条件,3 种氮源下盐角草各项生理指标无显著差异。在 10 mmol/L 氮浓度条件下,施加硝态氮和铵态氮的盐角草植株生物量积累显著高于尿素,这与俄罗斯科学家的报道不同,即在

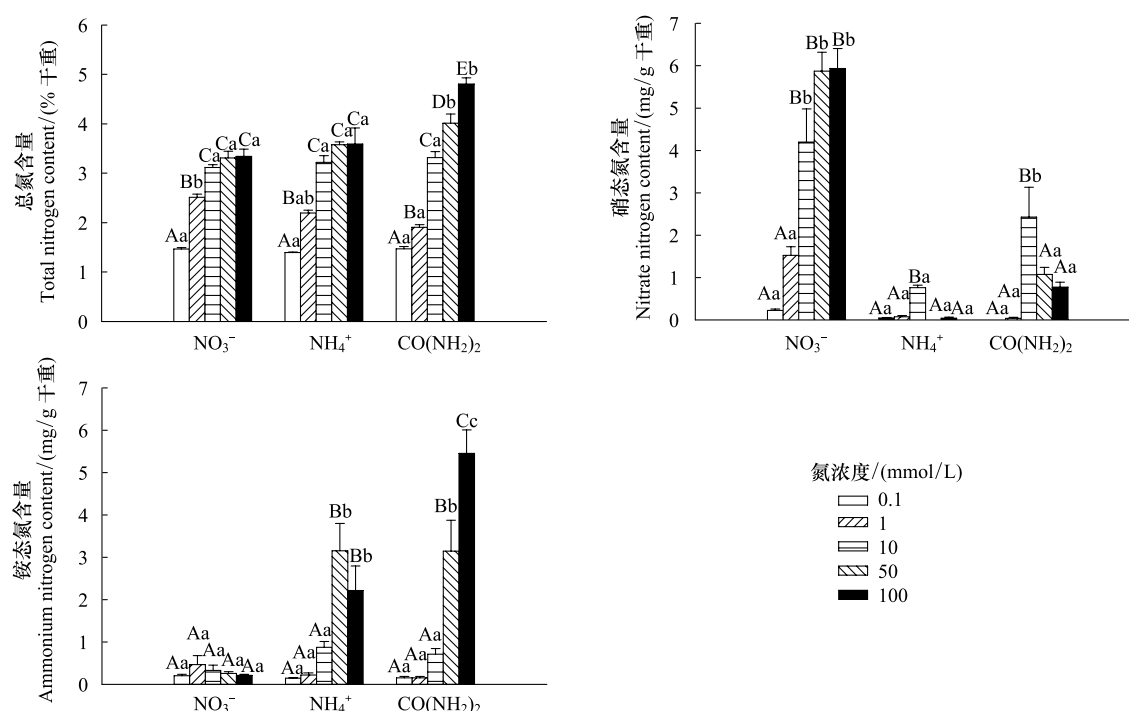


图6 200 mmol/L NaCl 下,3 种氮素处理 30 d 对盐角草植株体内总氮,硝态氮以及铵态氮含量的影响

Fig. 6 Effects of three nitrogen on the content of total nitrogen, nitrate nitrogen and ammonium nitrogen of *S. europaea* plants under 200 mmol/L NaCl after 30 days of treatment

0.1,1,10,50,100 表示氮浓度 (mmol/L); 数据为平均值 ($n = 6$) $\pm$ SE, 误差线上不同大写字母表示相同氮源不同氮浓度的处理在 $P \leq 0.05$ 时有显著差异, 不同小写字母表示不同氮源相同氮浓度的处理在 $P \leq 0.05$ 时有显著差异

10.9—12.6 mmol/L 氮素浓度下,以尿素为氮源的盐角草植株生物量的积累显著高于硝态氮,且培养 30 d 左右的盐角草生物量积累达 100 g/株^[11],而本研究中同等发育时期的盐角草生物量只有 10 g/株。推测两个实验所用盐角草生态型不同是导致对不同形态氮素的吸收利用特点存在较大差异的原因。

当外源氮浓度升高至 50 和 100 mmol/L 时,以硝态氮为氮源时,盐角草生长依然很旺盛,各项生长和生理指标与 10 mmol/L 硝态氮时无显著差异。高浓度铵态氮与尿素显著抑制盐角草的生长,且植株内源铵态氮的累积明显升高。植物对硝态氮的吸收是一种“奢侈吸收”的机制,即当外界硝态氮的供应充足时,吸入植物体内的硝态氮不仅能满足氮素同化的需要,大量的硝态氮还会累积到液泡中^[12,17]。随着硝态氮供应的升高,盐角草吸收的 NO_3^- 不仅能够完全满足植物生长对氮素的需求,而且还有较多剩余的 NO_3^- 累积在体内(图 6),说明盐角草具有很强的氮素贮存机制。

此外,高浓度铵态氮与尿素显著抑制盐角草的生长,且植株内源铵态氮的累积明显升高。铵在植物体内的积累对植物毒害较大^[18],而尿素浓度过高容易使蛋白质变性^[19],同时尿素在植物体内可由脲酶水解产生氨和二氧化碳^[20],氨的过量积累同样会抑制植物生长。

3.2 盐角草能耐受较宽的氮素浓度范围

盐角草在盐渍环境下可以耐受从低氮到高氮较宽的氮素浓度范围。植物在苗期缺氮时一般表现为生长缓慢、植株矮小、叶片小而薄、叶色淡绿或发黄、分蘖或分枝减少。盐角草在低氮(0.1 mmol)条件下,虽然生长和生理指标都低于高浓度氮素处理的植株,但植株未出现明显的缺氮症状(图 1a)。同时,盐角草能耐受较高浓度的氮素,当硝态氮的浓度升高到 400 mmol/L 时,盐角草的生长略受抑制(图 7)。对于大多数植物,过高浓度的硝态氮会抑制其生长。王晓丽等的研究发现,小麦幼苗的生长不是随着外源 NO_3^- 浓度的增加而增加,地上部分和根系的生物量分别在介质 NO_3^- 浓度超过 5—10 mmol/L 和 1—2 mmol/L 后开始下降^[14]。硝态

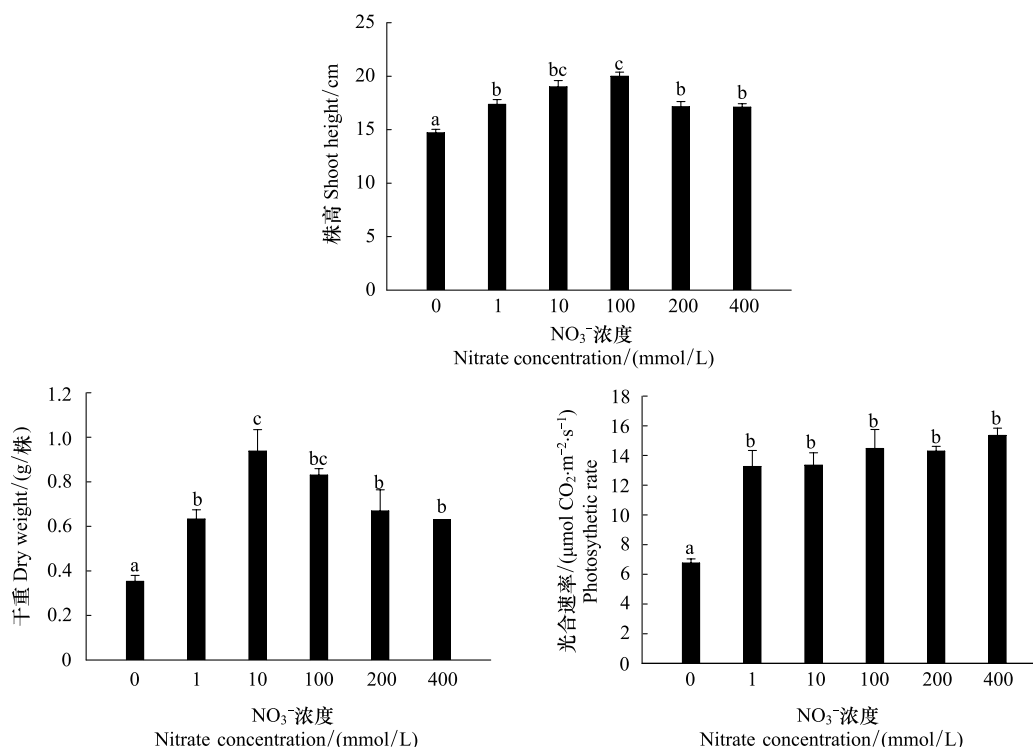


图7 400 mmol/L NaCl 下,不同浓度硝态氮处理 30 d 对盐角草株高,干重,光合速率的影响

Fig. 7 The effects of nitrate at different concentration on the growth of *S. europaea* under 400 mmol/L NaCl after 30 days of treatment. Shoot height, dry weight, and photosynthetic rate

0,1,10,100,200,400 表示氮浓度 (mmol/L); 数据为平均值±SE (株高 $n = 20$, 干重 $n = 6$), 误差线上不同小写字母表示在 $P \leq 0.05$ 时数据间存在显著差异

氮进入植物体内一部分被还原成铵态氮,进而参与细胞质中的代谢,其余部分可以储存在液泡中, NO_3^- 进出液泡主要是通过液泡膜上的转运蛋白完成的^[21],盐角草在高浓度硝态氮的环境下仍能正常生长,可能与液泡膜上硝酸转运蛋白的活性有关。施加过量铵盐会抑制植物生长,铵离子对植物的致死浓度一般为 6 mmol/L^[18]。同样,尿素的施加量不能过高,尿素能够被土壤或植物体内的脲酶分解成氨和二氧化碳,氨的过量积累会抑制植物生长^[19]。本研究发现,在 200 mmol/L NaCl 生境下,满足盐角草生长的最适铵态氮和尿素浓度为 10 mmol/L,此时,植株生物量的积累及各项生理指标达到最高。当铵态氮或尿素升高到 50 mmol/L 时,盐角草生长才受到明显抑制。因此,与一般植物相比,盐角草能够耐受更高浓度的铵态氮和尿素。这可能与盐角草具有较强的渗透调节及抗离子毒害能力有关^[22]。

References:

- [1] Garnica M, Houdusse F, Zamarreño A M, Garcia-Mina J M. Nitrate modifies the assimilation pattern of ammonium and urea in wheat seedlings. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, 90(3): 357-369.
- [2] Du L F, Zhao T K, Zhang C J, An Z Z, Wu Q, Liu B C, Li P, Ma M T. Investigation on nitrate pollution in soils, ground water and vegetables of three typical farmlands in Beijing region. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(8): 2837-2843.
- [3] Wu W, Zhao J. Advances on plants' nitrogen assimilation and utilization. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(13): 75-78.
- [4] Ma C, Ma L Y, Liu T X, Zuo H J, Zhang B, Liu Y. Research progress on saline land improvement technology. *World Forestry Research*, 2010, 23(2): 28-32.
- [5] Kurban O, Omarjiang A. Determination of total nitrogen in salt soil. *Journal of Kashgar Teachers College*, 2004, 25(6): 41-42.
- [6] Zhao X F, Yang J S, Cai Y M, Yao R J, Li D S, Han J J. Effects of fertilization on the growth of *Jerusalem artichoke* and soil nitrogen accumulation in the coastal area of north Jiangsu province. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(3): 521-526.

- [7] Dwyer D D, Wolde-Yohannis K. Germination, emergence, water use, and production of Russian thistle (*Salsola kali* L.). *Agronomy Journal News Articles*, 1972, 64(1): 52-55.
- [8] Beadle N C W, Whalley R D B, Gibson J B. Studies in halophytes; II. Analytic data on the mineral constituents of three species of *Atriplex* and their accompanying soils in Australia. *Ecology*, 1957, 38(2): 340-344.
- [9] Ungar I A. Population characteristics, growth, and survival of the halophyte *Salicornia europaea*. *Ecology*, 1987, 68(3): 569-575.
- [10] Jiang D. The Allelopathic Potential and Mechanisms of Halophytes Against the Marine Algal Blooms [D]. Beijing: Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, 2010.
- [11] Ushakova S A, Kovaleva N P, Tikhomirova N A, Gribovskaya I V, Kolmakova A A. Effect of photosynthetically active radiation, salinization, and type of nitrogen nutrition on growth of *Salicornia europaea* plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2006, 53(6): 785-792.
- [12] Wang X L. Nitrate Uptake by Roots of Wheat Seedlings, Nitrate Intracellular Compartmentation and its Regulation [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2010.
- [13] Zhang Z L, Qu W J. *Plant Physiology Experiment Guidance*. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 2003.
- [14] Häusler R E, Blackwell R D, Lea P J, Leegood R C. Control of photosynthesis in barley leaves with reduced activities of glutamine synthetase or glutamate synthase I. Plant characteristics and changes in nitrate, ammonium and amino acids. *Planta*, 1994, 194(3): 406-417.
- [15] Jampeetong A, Brix H. Nitrogen nutrition of *Salvinia natans*: Effects of inorganic nitrogen form on growth, morphology, nitrate reductase activity and uptake kinetics of ammonium and nitrate. *Aquatic Botany*, 2009, 90(1): 67-73.
- [16] Cao C L. Effect of Nitrogen and Nitrogen Form on Physiological Characteristics and Yields of Crop [D]. Yangling: North West Agriculture and Forestry University, 2002.
- [17] Shen Q R, Tang L, Xu Y C. A review on the behavior of nitrate in vacuoles of plants. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(3): 465-470.
- [18] Britto D T, Kronzucker H J. NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology*, 2002, 159(6): 567-584.
- [19] Krogmeier M J, Mccarty G W, Bremner J M. Phytotoxicity of foliar-applied urea. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 1989, 86(21): 8189-8191.
- [20] Wang W H, Köhler B, Cao F Q, Liu L H. Molecular and physiological aspects of urea transport in higher plants. *Plant Science*, 2008, 175(4): 467-477.
- [21] Dechornat J, Nguyen C T, Armengaud P, Jossier M, Diatloff E, Filleur S, Daniel-Vedele F. From the soil to the seeds: the long journey of nitrate in plants. *Journal of Experimental Botany*, 2011, 62(4): 1349-1359.
- [22] Ushakova S A, Kovaleva N P, Gribovskaya I V, Dolgushev V A, Tikhomirova N A. Effect of NaCl concentration on productivity and mineral composition of *Salicornia europaea* as a potential crop for utilization NaCl in LSS. *Advances in Space Research*, 2005, 36(7): 1349-1353.

参考文献:

- [2] 杜连凤, 赵同科, 张成军, 安志装, 吴琼, 刘宝存, 李鹏, 马茂亭. 京郊地区 3 种典型农田系统硝酸盐污染现状调查. *中国农业科学*, 2009, 42(8): 2837-2843.
- [3] 吴巍, 赵军. 植物对氮素吸收利用的研究进展. *中国农学通报*, 2010, 26(13): 75-78.
- [4] 马晨, 马履一, 刘太祥, 左海军, 张博, 刘寅. 盐碱地改良利用技术研究进展. *世界林业研究*, 2010, 23(2): 28-32.
- [5] 库尔班江·吾斯曼, 吾麦尔江·艾买提. 盐碱地土壤全氮含量的测定. *喀什师范学院学报*, 2004, 25(6): 41-42.
- [6] 赵秀芳, 杨劲松, 蔡彦明, 姚荣江, 李冬顺, 韩建均. 苏北滩涂区施肥对菊芋生长和土壤氮素累积的影响. *农业环境科学学报*, 2010, 29(3): 521-526.
- [10] 姜丹. 盐生植物对海洋赤潮发生的抑制作用及其机理 [D]. 北京: 中国科学院植物研究所, 2010.
- [12] 汪晓丽. 小麦幼苗根系对 NO_3^- 的吸收及细胞内 NO_3^- 的分布与调节机制研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2010.
- [13] 张志良, 瞿伟菁. *植物生理学实验指导* (第三版). 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [16] 曹翠玲. 氮素及形态对作物的生理效应 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2002.
- [17] 沈其荣, 汤利, 徐阳春. 植物液泡中硝酸盐行为的研究概况. *土壤学报*, 2003, 40(3): 465-470.

CONTENTS

Hyperspectral characteristics of typical subtropical trees at different levels of simulated acid rain	SHI Qilong, JIANG Hong, CHEN Jian, et al (5621)
Wind fields and the development of wind corridors in the urban metropolis of the Pearl River Delta	SUN Wu, WANG Yiming, WANG Yuelei, et al (5630)
Dynamics of canopy structure and understory light in montane evergreen broadleaved forest following a natural disturbance in North Guangdong	OU Yudian, SU Zhiyao (5637)
The influence of 4 species of preys on the development and fecundity of <i>Orius similis</i> Zheng	ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (5646)
Woody seedling regeneration in secondary succession of monsoon broad-leaved evergreen forest in Puer, Yunnan, Southwest China	LI Shuaifeng, LIU Wande, SU Jianrong, et al (5653)
Scale-dependent spatial variation of species abundance and richness in two mixed evergreen-deciduous broad-leaved karst forests, Southwest China	ZHANG Zhonghua, HU Gang, ZHU Jiedong, et al (5663)
The spatial heterogeneity of soil nutrients in a mid-subtropical <i>Castanopsis kawakamii</i> natural forest	SU Songjin, LIU Jinfu, HE Zhongsheng, et al (5673)
Effects of <i>Vetiveria zizanioides</i> L. growth on chemical and biological properties of copper mine tailing wastelands	XU Decong, ZHAN Jing, CHEN Zheng, et al (5683)
Effects of different irrigation regimes on characteristics of transpiring water-consumption of three desert species	SHAN Lishan, LI Yi, ZHANG Ximing, et al (5692)
The response of euhalophyte <i>Salicornia europaea</i> L. to different nitrogen forms	NIE Lingling, FENG Juanjuan, LÜ Sulian, et al (5703)
Dynamic analysis on spatial pattern of dominant tree species of cold-temperate coniferous forest in the succession process in the Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, BI Runcheng, ZHANG Jintun, et al (5713)
Effects of AM fungi on the growth and nutrients of <i>Salvia miltiorrhiza</i> Bge. under different soil water and fertilizer conditions	HE Xueli, MA Li, MENG Jingjing, et al (5721)
The dynamics of soil respiration in a winter wheat field with plastic mulched-ridges and unmulched furrows	SHANGGUAN Yuxian, SHI Ripeng, HAN Kun, et al (5729)
Cattle dung composted by different methods had different effects on the growth and quality of soybean	GUO Liyue, LIU XueMei, ZHAN Lijie, et al (5738)
Nitrogen budget modelling at the headwaters of Urumqi River Based on the atmospheric deposition and runoff	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (5747)
Evaluating the ecosystem sustainability of circular agriculture based on the energy theory: a case study of the Xingyuan circular agriculture demonstration site in Fuqing City, Fujian	ZHONG Zhenmei, WENG Boqi, HUANG Qinlou, et al (5755)
Effects of cold exposure and recovery on viability and energy consumption in the sub-adult female giant spiny frogs (<i>Paa spinosa</i>)	LING Yun, SHAO Chen, XIE Zhigang, et al (5763)
A comparison of night-interruption on diapause-averting among two populations of the cotton bollworm, <i>Helicoverpa armigera</i>	CHEN Yuansheng, TU Xiaoyun, CHEN Chao, et al (5770)
Effects of soil erosion control measures on soil organic carbon and total nitrogen in a small watershed	ZHANG Yanjun, GUO Shengli, NAN Yafang, et al (5777)
Comparative analysis of Lugu Lake watershed ecosystem function under different management authorities	DONG Rencai, GOU Yaqing, LI Siyuan, et al (5786)
Relationship between fish community diversity and environmental factors in the Lianjiang River, Guangdong, China	LI Jie, LI Xinhui, JIA Xiaoping, et al (5795)
Effect of dissolved oxygen level on metabolic mode in juvenile crucian carp	ZHANG Wei, CAO Zhendong, FU Shijian (5806)
Community composition of net-phytoplankton and its relationship with the environmental factors at artificial reef area in Xiangshan Bay	JIANG Zhibing, CHEN Quanzhen, SHOU Lu, et al (5813)
Emergency appraisal on the loss of ecosystem service caused by marine reclamation: a case study in the Taozi Bay	LI Ruiqian, MENG Fanping (5825)
Assessing the visual quality of urban waterfront landscapes: the case of Hefei, China	YAO Yumin, ZHU Xiaodong, XU Yingbi, et al (5836)
Review and Monograph	
Advances in ecological genomics	SHI Yongbin, LI Junmin, JIN Zexin (5846)
Advances in studies of ecological effects of ocean acidification	WANG Siru, YIN Kedong, CAI Weijun, et al (5859)
Advances in feeding ecology of <i>Acartia</i>	HU Simin, LIU Sheng, LI Tao, et al (5870)
Research progress on ammonia-oxidizing microorganisms in estuarine ecosystem	ZHANG Qiufang, XU Jirong, SU Jianqiang, et al (5878)
Recent progress in research on neutrophilic, microaerophilic iron(II)-oxidizing bacteria	LIN Chaofeng, GONG Jun (5889)
A comparison study on primary production in typical low-latitude seas (South China Sea and Bay of Bengal)	LIU Huaxue, SONG Xingyu, HUANG Honghui, et al (5900)
Advances in leaf maximum carboxylation rate and its response to environmental factors	ZHANG Yanmin, ZHOU Guangsheng (5907)
10-years of bird habitat selection studies in mainland China: a review	JIANG Aiwu, ZHOU Fang, QIN Yue, et al (5918)
Scientific Note	
The effects of incubation temperature on embryonic metabolism and hatchling behavior in the Red-banded Snake, <i>Dinodon rufonotatum</i>	SUN Wenjia, YU Xiao, CAO Mengjie, et al (5924)
Sensitivity analysis and dynamics of soil microbial biomass carbon, nitrogen and related parameters in red-yellow soil of tea garden with different fertilization practices	WANG Limin, QIU Shanlian, LIN Xinjian, et al (5930)
Effect of fertilizers on Cd uptake of two edible amaranthus herbs	LI Ningyu, LI Zhian, ZHUANG Ping, et al (5937)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 18 期 (2012 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 18 (September, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元