

王茂文, 刘冲, 丁海荣, 等. 苏北沿海滩涂盐肥耦合对马齿苋生长及土壤环境的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(2): 331-337.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.02.015

苏北沿海滩涂盐肥耦合对马齿苋生长及土壤环境的影响

王茂文, 刘冲, 丁海荣, 朱小梅, 邢锦城, 赵宝泉, 董静, 洪立洲
(江苏沿海地区农业科学研究所, 江苏盐城 224002)

摘要: 为明确苏北沿海滩涂盐肥耦合对马齿苋生长发育及土壤环境的影响, 通过正交试验设计的田间试验, 研究了不同土壤盐分胁迫下马齿苋盐肥耦合效应。结果显示: (1) 2.0~3.1 g/kg的土壤盐分可促进马齿苋生长发育及鲜菜产量, 但盐分增大, 生长则受到抑制。增施氮肥可缓解盐分胁迫对植株生长的抑制作用, 随着施氮量的增加, 各项生长指标及鲜菜产量均呈现先增加后下降的趋势。其中土壤盐分 2.0~3.1 g/kg、施氮量 150 kg/hm²的种植条件最有利于马齿苋的生长和鲜菜产量的增加。(2) 沿海滩涂上随着土壤盐分的增加, 在 75 kg/hm²、150 kg/hm²施氮水平下, 土壤微生物氮、碳含量及土壤全氮含量呈现显著增加的趋势。(3) 随着土壤盐分的增大, 土壤微生物活性(AWCD值)、物种丰富度指数(H)和均匀度指数(E)均开始下降; 但随着氮肥的施入, AWCD、H和E值均显著增大, 优势度指数(D_s)减小, 在 150 kg/hm²、225 kg/hm²施氮水平下, 效果较好。说明较高施氮水平(150 kg/hm²、225 kg/hm²)下, 土壤微生物多样性较高, 土壤微生物活性较强。

关键词: 马齿苋; 盐肥耦合; 产量; 土壤环境

中图分类号: S158.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2016)02-0331-07

Coupling effect of salt and fertilizer application on the growth of *Portulaca oleracea* L. and soil environment in the salt soil of northern Jiangsu coastal mudflat

WANG Mao-wen, LIU Chong, DING Hai-rong, ZHU Xiao-mei, XING Jing-cheng, ZHAO Bao-quan, DONG Jing, HONG Li-zhou

(Institute of Agricultural Sciences in the Coastal District of Jiangsu Province, Yancheng 224002, China)

Abstract: To investigate the coupling effects of salt and fertilizer application on the growth of *Portulaca oleracea* L. and soil environment, a field experiment based on the orthogonal test design was carried out in the salt soil of northern Jiangsu coastal mudflat. The results showed that: (1) The salt level of 2.0–3.1 g/kg promoted the growth, development, and yield of fresh *Portulaca oleracea* L., while the higher the salt level, the heavier the inhibition to the growth. Increasing ni-

trogen fertilizer could alleviate the salt inhibition on plant growth, and the growth indexes and the output of the fresh showed firstly increased and then decreased trend with the increase of nitrogen fertilizer, and the nitrogen application of 150 kg/hm² was the most beneficial to the growth and yield of the fresh under the salt level of 2.0–3.1 g/kg.

收稿日期: 2015-06-24

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(14)2046]; 江苏省苏北科技发展计划项目(BN2014056)

作者简介: 王茂文(1975-), 男, 江苏盐城人, 大学, 副研究员, 主要从事盐土农业技术研究。(E-mail) ycwmmw@163.com

通讯作者: 洪立洲, (E-mail) ychonglz @ 163.com

(2) In coastal tidal flats, the soil nutrient decreased with the increased soil salinity, while the soil microbial nitrogen, carbon content and total nitrogen content of the soil increased significantly under the nitrogen application level of 75 kg/hm² and 150 kg/hm². (3) The value of AWCD, species richness index (*H*) and evenness index (*E*) were declined with the increased soil salinity, however, with the increase of nitrogen application, AWCD, *H* and *E* were significantly increased, while dominance index (*D_s*) decreased, and the interaction effect was better than others under 150 kg/hm² and 225 kg/hm² nitrogen application level, which indicated that the soil microbial diversity and activity were higher and stronger respectively at the two levels.

Key words: *Portulaca oleracea* L.; coupling effect of salt and fertilizer; yield; soil environment

苏北平原地处黄海之滨,土地面积为 3.0×10^4 km²,海岸线长 954 km,其中 666 km 为淤积型海岸,占岸线全长的 70%,海涂面积达到 7 600 km²,占全国海涂面积的 1/4 以上。目前滩涂仍在不断淤积,全省年淤积面积达 13.3 km²,是重要的后备土地资源^[1]。沿海滩涂土壤呈现养分低,盐分高的特点^[2]。氮素是植物需求量较大的营养元素之一。施用氮肥是最常用的调控作物生长及养分吸收的有效措施。研究表明,施氮可显著提高耐盐植物的渗透调节能力与耐盐能力,明显改善植株氮素营养状况,这与氮素营养促进了脯氨酸、可溶性糖、NO₃⁻和 Na⁺等渗透调节物质与氮素的吸收积累有关^[3-4]。

马齿苋 (*Portulaca oleracea* L.), 隶属马齿苋科马齿苋属,含丰富的蛋白质、多糖、有机酸、矿质元素等,具有丰富的营养价值,被誉为 21 世纪最有前途的、值得开发的绿色食品^[5]。马齿苋对气候、土壤等环境条件适应性极强,几乎可以在任何土壤上生

长^[6]。本研究通过田间试验,探讨苏北沿海滩涂上盐肥耦合对马齿苋生长发育及鲜菜产量、土壤养分及土壤微生物特性的影响,以期沿海滩涂马齿苋人工栽培中氮肥的施用措施及盐碱地土壤环境持续培育提供指导依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与供试土壤

试验地点位于江苏省大丰市金海农场滩涂实验基地,东距黄海约 6 km,处于北亚热带季风气候区,具有明显的过渡性、海洋性和季风性,四季分明,年均降水量 1 058.4 mm,主要集中在 6~8 月。供试土壤为冲积盐土类,该地区浅层地下咸水与微咸水资源丰富,农田灌溉一般采用当地微咸水,土壤盐渍化是制约该地区农业生产发展的主要障碍因子,土壤盐分的变异程度相当显著。试验地土壤理化性质见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of tested soil

剖面深度 (cm)	pH	含盐量 (%)	K ⁺ (mg/g)	Na ⁺ (mg/g)	Ca ²⁺ (mg/g)	Mg ²⁺ (mg/g)	Cl ⁻ (mg/g)	有机质 (mg/g)	全氮 (mg/g)	碱解氮 (μg/g)
0~5	7.85	0.122	38.23	385.96	226.10	121.15	0.52	16.28	0.63	49.2
5~20	7.90	0.146	52.55	546.21	182.23	94.61	0.63	12.94	0.38	37.3

1.2 试验设计及田间管理

以 4 种不同含盐量 1.0~2.0 g/kg (S1)、2.0~3.1 g/kg (S2)、3.1~4.8 g/kg (S3)、5.1~7.2 g/kg (S4) 的海涂盐土为试验用地。氮肥(纯氮)处理设 4 个水平: 0 kg/hm² (N1)、75 kg/hm² (N2)、150 kg/hm² (N3) 和 225 kg/hm² (N4)。共计 16 个处理,每处理 3 次重复,采用完全随机区组设计。试验小区长 4 m,宽 3 m,四边均设有保护行,以防侧渗和互溢。供试植物为马齿苋,品种为江苏沿海地区农业

科学研究所培育的苏马齿苋 1 号,种子上年采收。使用尿素作为氮肥。平整小区时用 30% 氮肥、磷肥 (P₂O₅) 135 kg/hm² 作基肥。2013 年 4 月 12 日播种,采用条播方式,播种量 7.5 kg/hm²,行距 50 cm,播种深度 1 cm。分别在马齿苋的苗期、分枝期和花期将剩余的氮肥均分 3 次作为追肥施入。

1.3 测定项目及方法

土壤基本理化指标测定采用鲍士旦的方法^[7],田间鲜菜产量测定采用常规法。

Biolog 试验方法:取 10 g 土壤加 95 ml 无菌的 0.145 mol/L NaCl 溶液在摇床上振荡 15 min,然后将土壤样品稀释至 1×10^{-3} ,再从中取 125 μ l 该悬浮液接种至革兰氏阴性板的每一个孔中,最后将接种好的板放至 25 $^{\circ}$ C 的恒温培养箱中培养,每隔 4 h 读取 595 nm 波长处的读数^[8]。

1.4 数据分析

采用 SPSS13.0 软件对试验数据进行统计与分析。

2 结果与分析

2.1 盐肥耦合对盐碱地马齿苋生长的影响

由表 2 可见,随着土壤盐分的增加,不同含盐量处理间马齿苋生长发育差异显著。在 S2 盐分水平下,马齿苋生长情况最好,以地上部鲜质量为例,在

N1 氮肥水平下,S2、S3、S4 处理的地上部鲜重分别为 S1 处理的 138.7%、99.9%、78.2%。说明低浓度的土壤盐分对马齿苋的生长有促进作用,高盐分(S3、S4 处理)则抑制马齿苋的生长。在盐碱地上增施氮肥,可明显促进马齿苋生长。但施肥量增大到 225 kg/hm²(N4 处理)时,马齿苋生长速度减慢。以株高为例,S1 盐分水平下,N2、N3、N4 处理分别为 N1 处理的 118.3%、126.9%、126.2%;S2 盐分水平下,N2、N3、N4 处理分别为 N1 处理的 110.1%、117.7%、117.4%;S3 盐分水平下,N2、N3、N4 处理分别为 N1 处理的 103.2%、105.7%、102.4%;S4 盐分水平下,N2、N3、N4 处理分别为 N1 处理的 102.4%、102.4%、101.6%。说明通过合理施用氮肥,可以显著地促进马齿苋生长,但土壤盐分越大,氮肥的增产作用越小,说明此时的土壤盐胁迫已占主导作用。

表 2 盐肥耦合对马齿苋生长的影响

Table 2 Effects of different combinations of salt and nitrogen on the growth of *Portulaca oleracea* L.

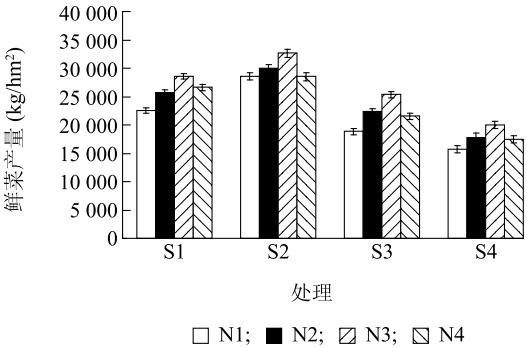
处理	地上部鲜质量 (g)	根鲜质量 (g)	地上部干质量 (g)	根干质量 (g)	株高 (cm)	茎长 (cm)	茎粗 (mm)	根长 (cm)
S1N1	110.3c	1.2b	10.6b	0.3c	25.6b	18.6cd	5.3b	15.2c
S1N2	120.3d	1.3bc	11.9bc	0.3c	30.3cd	19.6d	6.3c	16.9d
S1N3	129.6e	1.5c	12.3c	0.4d	32.5d	20.3de	6.5d	16.9d
S1N4	125.6de	1.5c	12.4c	0.4d	32.3d	20.2de	6.4cd	16.2cd
S2N1	125.6de	1.5c	11.9bc	0.3c	32.6d	19.6d	6.3c	16.5cd
S2N2	130.2e	1.7d	12.5c	0.3c	35.9de	21.6e	6.4cd	16.8d
S2N3	138.5f	2.1e	13.9d	0.4d	38.4e	24.3f	6.5d	17.4de
S2N4	134.3ef	2.0e	13.4d	0.4d	38.3e	23.9f	6.4cd	17.3de
S3N1	110.2c	1.5c	10.5b	0.3c	24.5b	17.5c	5.9bc	16.3cd
S3N2	114.3cd	1.6cd	10.8b	0.3c	25.3b	17.9c	6.2c	17.8e
S3N3	114.2cd	1.6cd	10.7b	0.4d	25.9b	19.6d	6.3c	17.5de
S3N4	113.6cd	1.2b	10.6b	0.2b	25.1b	19.0cd	6.2c	16.9d
S4N1	86.3a	0.6a	8.6a	0.1a	12.3a	10.3b	4.1a	10.3ab
S4N2	85.9ab	0.5a	8.5a	0.1a	12.6a	9.9ab	4.2a	10.9b
S4N3	86.2a	0.5a	8.5a	0.1a	12.6a	10.5b	4.3a	10.9b
S4N4	85.2b	0.5a	8.5a	0.1a	12.5a	9.1a	4.2a	9.6a

S1~S4 为土壤含盐量处理,依次为 1.0~2.0 g/kg、2.0~3.1 g/kg、3.1~4.8 g/kg、5.1~7.2 g/kg;N1~N4 为氮肥(纯氮)施用量处理,依次为 0 kg/hm²、75 kg/hm²、150 kg/hm²、225 kg/hm²。同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 盐肥耦合对盐碱地马齿苋鲜菜产量的影响

土壤盐分及氮肥均显著影响马齿苋鲜菜产量(图 1)。S2 盐分水平下,马齿苋鲜菜产量总体上最高,S3、S4 盐分水平下鲜菜产量显著下降。随着施氮

量的增加,鲜菜产量呈现先升后降的趋势。经过土壤盐分与氮肥的交互作用分析,发现 S2N3 是最优组合,即土壤盐分为 2.0~3.1 g/kg、施氮量为 150 kg/hm²的种植条件最有利于提高马齿苋鲜菜产量。



S1~S4、N1~N4 处理见表 2 注。

图 1 施用氮肥对马齿苋鲜菜产量的影响

Fig.1 Effects of nitrogen topdressing on the fresh weight of *Portulaca oleracea* L.

2.3 盐肥耦合对盐碱地土壤养分的影响

氮素在作物生长发育中具有重要作用,而土壤

中的氮是植株生长的主要氮素来源。从表 3 可以看出,随着土壤盐分及氮肥用量的增加,土壤养分指标变化显著。与 S1 盐分水平相比较,土壤养分指标在 S2 水平时相差不大,但在 S3、S4 水平时则显著下降。

增施氮肥,不仅可以增加土壤养分含量,还可以通过土壤微生物吸取外界的氮素以及通过自身的矿化作用增加氮素含量,从而进一步改善土壤氮素营养。从表 3 可以看出,各盐分水平的土壤上施用氮肥后,土壤微生物氮、碳含量在 N2、N3 氮肥水平下呈现显著增加的趋势,以 S3 盐分处理为例,S3N2、S3N3 处理的微生物氮含量分别比 S3N1 处理增加 30.1%、82.6%。土壤全氮含量的变化趋势与土壤微生物氮、碳含量的变化相同。说明土壤微生物也能够间接地为作物生长提供氮素营养。随着施氮量的增加,土壤呼吸速率有上升的趋势。

表 3 盐肥耦合对盐碱地土壤养分的影响

Table 3 Effect of coupling of salt and fertilizer on the nutrients of saline-alkali soil

处理	土壤全氮含量 (g/kg)	土壤微生物氮含量 (mg/kg)	土壤微生物碳含量 (mg/kg)	土壤呼吸速率 [mg/(g·h)]
S1N1	0.95de	22.31d	110.25cd	0.36c
S1N2	1.12ef	25.52de	150.23e	0.38cd
S1N3	1.35g	35.63g	220.36g	0.45de
S1N4	1.34g	34.56fg	200.31f	0.39cd
S2N1	0.78c	19.56bc	100.65c	0.35c
S2N2	1.02e	20.26c	136.32d	0.39cd
S2N3	1.25f	26.35e	168.53e	0.48e
S2N4	1.31g	25.99de	165.32e	0.47e
S3N1	0.42ab	18.95b	89.63bc	0.29b
S3N2	0.68bc	24.65de	98.65c	0.36c
S3N3	0.99de	34.62fg	100.25c	0.42d
S3N4	1.06e	32.62f	100.21c	0.42d
S4N1	0.28a	15.32a	56.32a	0.19a
S4N2	0.56b	16.32a	65.39ab	0.21ab
S4N3	0.78c	18.35b	78.39b	0.20ab
S4N4	0.89d	17.69ab	77.45b	0.18a

S1~S4、N1~N4 处理见表 2 注。同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

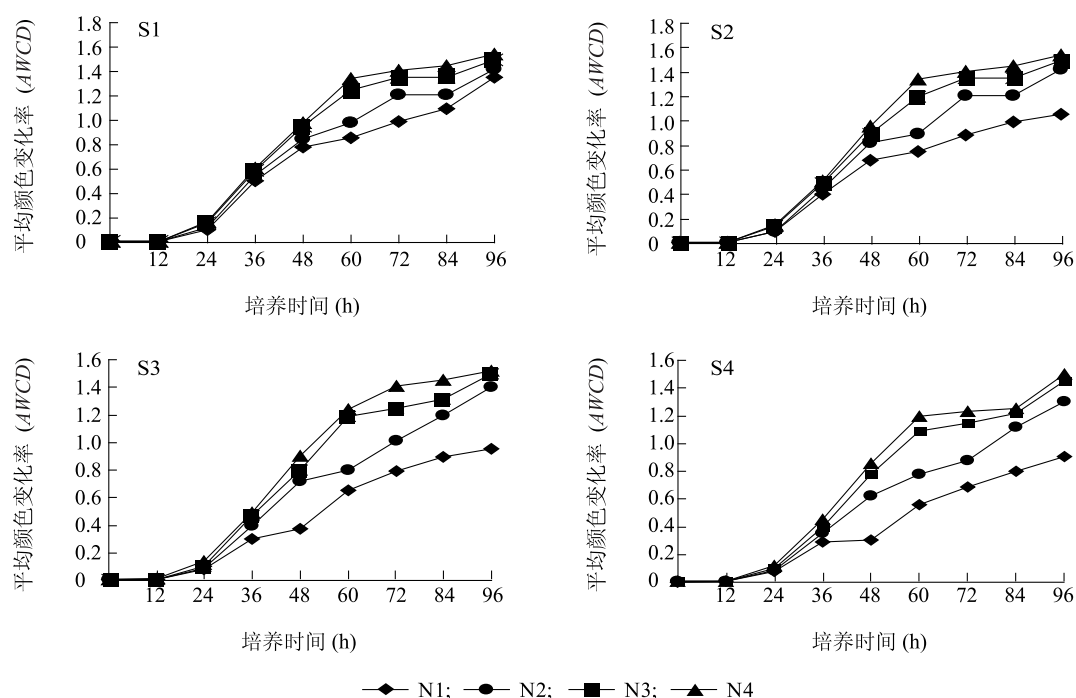
2.4 氮肥对盐碱地土壤 Biolog 试验结果的影响

平均颜色变化率 (AWCD) 是 Biolog 盘上基质被微生物利用后的整体反应,代表了微生物群落的总体活性^[9]。由图 2 可以看出,培养 12 h 内,土壤悬

浮液中的微生物对底物的利用并不明显;在培养 24~60 h 后,微生物对底物的利用迅速增加,AWCD 变化曲线斜率最大,表明此阶段土壤微生物碳源代谢活性最高;60 h 之后进入平稳期,代谢活性正常。

土壤盐分越大, $AWCD$ 值越小; 但施氮量越大, $AWCD$ 值越大, 碳源代谢活性越高。且氮肥对 $AWCD$ 值的增加效应在 $S3$ 土壤盐分水平下最高, 以培养 72 h

的 $N3$ 与 $N1$ 处理比较为例, $S1$ 、 $S2$ 、 $S3$ 、 $S4$ 水平下 $AWCD$ 值分别增加 16.5%、17.8%、39.6%、36.3%。



$S1 \sim S4$ 、 $N1 \sim N4$ 处理见表 2 注。

图 2 不同盐分和施氮量处理土壤 $AWCD$ 值随培养时间的变化

Fig.2 Changes in soil $AWCD$ value of different treaments of soil salinity and nitrogen application level with incubation time

从表 4 可以看出, 随着土壤盐分的增加, 土壤微生物群落物种丰富度指数 (H)、均匀度指数 (E) 呈现逐渐下降的趋势。而增施氮肥处理的丰富度指数、均匀度指数均高于未施氮肥处理, 施氮量越大, 指数值越大, 在 $N3$ 、 $N4$ 施氮水平下达到显著差异; 且指数增加幅度在 $S2$ 、 $S3$ 土壤盐分下较大。以丰富度指数为例, 在 $S1 \sim S4$ 土壤盐分水平下, $N4$ 施氮处理比 $N1$ 施氮处理分别增加 8.2%、18.2%、34.8%、7.7%。 H 、 E 两项指数表示微生物的功能多样性, 其值越大, 表明微生物群落功能多样性越高。本试验结果表明, 沿海滩涂上缺乏氮素, 盐分越大的土壤氮素缺乏越严重, 追施氮肥不仅可以增加土壤氮素含量, 还可以显著改善土壤的物理性质, 给微生物提供合适的生存环境, 从而使土壤微生物丰富度增加。

Simpson 优势度指数 (D_s) 反映各物种种群数量的变化情况, 指数越大, 说明群落内微生物优势种的

地位越明显, 其多样性越差。本研究中, 随着土壤盐分的增大, 优势度指数变化不显著。随着氮肥用量的增大, D_s 数值越小, 说明施用氮肥可显著改善沿海滩涂土壤微生物生存环境。

3 讨论

地球上农业可利用面积的 10% 因土壤盐分过高基本上不能进行正常的生产活动, 最为现实的解决方法是利用盐生植物的抗性特点, 寻找在盐碱地上进行正常生产活动的途径^[10]。在盐碱地上种植耐盐植物后, 由于植物根系的穿插作用, 土壤容重、总空隙度、通透性、总团聚体等物理性质得到改善。由于植物枯枝落叶及死根茬的腐殖作用, 土壤有机质增加, 促进了土壤微生物的生长和繁殖, 改善了土壤养分状况和化学性状, 提高了土壤肥力。研究发现在沿海滩涂上种植碱蓬, 可显著降低盐碱地土壤含盐量, 提高土壤养分含量^[11]。

表 4 盐肥耦合对盐碱地土壤微生物多样性指数 (72h) 的影响

Table 4 Effect of coupling of salt and fertilizer on soil microbial community diversity index (72h)

处理	物种丰富度指数 (<i>H</i>)	物种均匀度指数 (<i>E</i>)	优势度指数 (<i>D_s</i>)
S1N1	2.94 de	0.92cd	0.91c
S1N2	3.04e	0.95cd	0.86ab
S1N3	3.09ef	0.99d	0.85ab
S1N4	3.18f	1.05e	0.83a
S2N1	2.58cd	0.88c	0.88b
S2N2	2.78d	0.91cd	0.87b
S2N3	2.99de	0.94cd	0.89b
S2N4	3.05e	0.99d	0.88b
S3N1	2.21c	0.75b	0.89bc
S3N2	2.56cd	0.81c	0.85ab
S3N3	2.78d	0.85c	0.84a
S3N4	2.98de	0.92cd	0.85ab
S4N1	1.56a	0.56ab	0.87b
S4N2	1.65ab	0.55a	0.84a
S4N3	1.75b	0.53a	0.85ab
S4N4	1.68ab	0.58ab	0.82a

S1~S4, N1~N4 处理见表 2 注。同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

氮是植物生长发育的必需营养元素,氮肥施用是农业生产中维持作物产量的主要因素,在影响小麦产量和品质的无机营养中,氮的作用最大。而在盐土上施氮肥能达到“以肥调盐”、“以肥调水”的效果^[12]。有研究发现在盐胁迫下上追施氮肥可缓解盐分对菊芋、菠菜生长的影响,增加植株生物产量,提高植株对盐分的累积^[13-14]。

本试验系统地研究了沿海滩涂上盐肥耦合对马齿苋的生长发育、鲜菜产量、土壤养分以及微生物群落各项指标的影响。结果发现,2.0~3.1 g/kg 的土壤盐分(S2)可促进马齿苋生长发育,增加其生物量及鲜菜产量;当盐分增大,生长发育受到抑制,生物量及鲜菜产量显著下降。盐碱地上增施氮肥可缓解盐分胁迫对植株生长的抑制作用,随着施氮量的增加,各项生长指标及鲜菜产量均呈现先增加后下降的趋势。但土壤盐分越大,氮肥的增产作用越小,说明此时的土壤盐胁迫已占主导作用。在土壤盐分与氮肥的交互作用下,S2N3 是优化的组合,即土壤盐分为 2.0~3.1 g/kg,施氮量为 75 kg/hm²的种植条件最有利于马齿苋的生长和鲜菜产量的积累。

通过对土壤盐分、养分以及微生物群落功能多样性的进一步分析,发现随着土壤盐分的增大,土壤微生物氮、碳以及全氮含量下降,施用氮肥却可以显著提高各项指标。在沿海滩涂环境中,土壤盐分、土壤养分以及肥料之间的交互耦合现象是非常普遍且复杂的^[15]。本试验中,在土壤盐分胁迫下,增施氮肥不但能促进马齿苋鲜菜产量的增加,还能提高土壤养分、土壤微生物养分,且在 N2、N3 水平下,土壤微生物氮、碳含量及土壤全氮含量呈现显著增加的趋势,从而达到改善沿海滩涂土壤生态环境的效果。

Biolog 微孔板分析技术能准确的反映土壤微生物对不同碳源利用能力的差异,利于更深入了解微生物群落的结构组成^[16]。土壤微生物群落与土壤肥力之间有着密切关系,土壤养分含量高低在很大程度上制约着土壤微生物量与生理功能多样性^[17]。本研究中,随着土壤盐分的增大,AWCD 值、物种丰富度指数(*H*)和均匀度指数(*E*)均开始下降。但随着氮肥的增加,AWCD、*H* 和 *E* 均显著增大,优势度指数(*D_s*)减小,且在 N3、N4 水平下,效果较好。说明高氮水平下,土壤微生物多样性高于其他处理,土壤微生物活性较强。

综上所述,在沿海滩涂上增施氮肥,其盐肥耦合作用对马齿苋的生长发育、鲜菜产量、土壤养分以及土壤微生物环境产生了一系列的影响,在土壤盐分为 2.0~3.1 g/kg,施氮量为 150 kg/hm²条件下最有利于马齿苋的生长和鲜菜产量的增加,同时增施氮肥能够增加沿海滩涂土壤养分,增加土壤微生物多样性,提高土壤微生物活性,起到改善土壤生态环境的效果。

海涂盐土生态系统是一个极其复杂的生态体系,且土壤中含有丰富的离子,与养分耦合作用的机理机制比较复杂,因此,如何在盐土上科学地使用肥料,增加耐盐植物产量,提高其品质,提高资源的利用效率,将在以后的工作中进行。

参考文献:

- [1] 李加林,张忍顺,王艳红,等. 江苏淤泥质海岸湿地景观格局与景观生态建设[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(5): 86-90.
- [2] 隆小华,刘兆普,陈铭达,等. 半干旱区海涂海水灌溉菊芋氮肥效应的研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 114-117.
- [3] 李文西,鲁剑巍,杨 娟,苏丹草-黑麦草轮作制中施肥对饲草产量及养分吸收的影响[J]. 草业学报, 2009, 18(3): 165-170.

- [4] 武建双,沈振西,张宪洲,等. 藏北高原人工垂穗披碱草种群生物量分配对施氮处理的响应[J]. 草业学报, 2009, 18(6): 113-121.
- [5] 张边江,唐 宁,陈全战,等.两种生态型马齿苋的光合生理特性研究[J]. 北方园艺, 2013(21): 89-91.
- [6] 唐文杰,王 玉,周泉澄,等.马齿苋组培与耐盐筛选[J]. 黑龙江农业科学, 2013(3): 7-9.
- [7] 鲍士旦.土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2000: 25-69.
- [8] SCHUTTER M, DICK R. Shift in substrate utilization potential and structure of soil microbial communities in response to carbon substrates [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33: 1481-1491.
- [9] 杜传宝,赵海燕,胡 锋,等. 纳米羟基磷灰石对重金属污染土壤的修复及其对微生物群落结构的影响[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(4): 745-749.
- [10] 韩文军,村邦夫,杨 劫. 海水灌溉条件下 *Salicornia bigelovii* 的种植密度对个体间养分积累及土壤盐分的影响[J]. 草业科学, 2008, 25(11): 36-39.
- [11] 张立宾,徐化凌,赵庚星.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.
- [12] 刘万代,樊树平,晁海燕,等.氮肥基追比对不同穗型优质小麦产量及品质的影响[J].华北农学报, 2003, 18(2): 56-59.
- [13] 郭淑霞,龚元石. 不同氮肥水平下盐分对菠菜生长及产量的影响[J]. 种子, 2005, 24(6): 37-40.
- [14] 隆小华,刘兆普,陈铭达,等. 半干旱地区海涂海水灌溉菊芋盐肥耦合效应的研究[J].土壤学报, 2005, 42(1): 91-97.
- [15] 王茂文,洪立洲,刘 冲,等. 海水灌溉下北美海蓬子盐肥耦合效应的研究[J].江苏农业学报, 2011, 27(1): 80-84.
- [16] 郑 华,陈法霖,欧阳志云,等.不同森林土壤微生物群落对 Biolog-GN 板碳源的利用[J].环境科学, 2007, 28(5): 1126-1130.
- [17] 林 生,庄家强,陈 婷,等. 福建安溪不同年限茶树土壤养分与微生物 Biolog 功能多样性的差异分析[J].中国生态农业学报, 2012, 20(11): 1471-1477.

(责任编辑:张震林)