

# 盐碱地不同施氮量对土壤微生物区系 与食葵产量的影响

张珺瞳<sup>1</sup>, 王 婧<sup>1</sup>, 张 莉<sup>1</sup>, 逢焕成<sup>1</sup>, 张建丽<sup>2</sup>, 李二珍<sup>3</sup>, 靳存旺<sup>3</sup>

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081;

2. 北京理工大学 生命学院, 北京 100081; 3. 内蒙古五原县农技推广中心, 内蒙古 巴彦淖尔 015100)

**摘 要:** 在内蒙古河套灌区盐碱食葵田进行大田试验, 以不施氮肥为对照(CK), 设置了 75 kg·hm<sup>-2</sup>(N1)、150 kg·hm<sup>-2</sup>(N2)、225 kg·hm<sup>-2</sup>(N3)、300 kg·hm<sup>-2</sup>(N4)、375 kg·hm<sup>-2</sup>(N5) 五个氮肥施用水平, 研究了不同氮肥施用量对土壤微生物区系和食葵产量的影响。结果表明:(1) 盐碱地施用氮肥可提高土壤微生物数量和细菌优势菌多样性, 各处理 0~20 cm 土层根区土壤微生物数量大小顺序为 N4>N3>N5>N2>N1>CK, 各施肥处理较 CK 差异极显著( $P<0.01$ );(2) 盐碱地施用氮肥可促进食葵生长发育, 提高产量, 随氮肥施用量由低到高, 食葵长势和干物质积累呈逐渐增加趋势, 产量与施氮量呈抛物线型关系, 各处理产量分别较 CK 提高 0.06%、36.27%、61.95%、105.36% 和 85.03%;(3) 适量施氮可抑制土壤积盐, 食葵收获后, 各处理积盐量大小顺序为 N2>CK>N5>N3>N1>N4;(4) 土壤微生物的数量和优势菌多样性与氮肥施用量、食葵根干重呈正相关关系, 与土壤含盐量和积盐量呈负相关关系。综合试验结果, 内蒙古河套灌区中度盐碱地食葵生产中氮肥适宜施用量为 300 kg·hm<sup>-2</sup>。

**关键词:** 氮肥; 盐碱土; 食葵; 土壤微生物; 微生物区系

**中图分类号:** S147.22; S154.3; S565.5 **文献标志码:** A

## Effects of nitrogen fertilizer application rate on soil microflora and sunflower yield in saline-alkali soil

ZHANG Jun-tong<sup>1</sup>, WANG Jing<sup>1</sup>, ZHANG Li<sup>1</sup>, PANG Huan-cheng<sup>1</sup>, ZHANG Jian-li<sup>2</sup>, LI Er-zhen<sup>3</sup>, JIN Cun-wang<sup>3</sup>

(1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Beijing 100081, China;

2. School of Life Science, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

3. Inner Mongolia Wuyuan Agro-technique Extension Center, Bayannur, Inner Mongolia, 015100)

**Abstract:** In order to form a solid basis for an effective fertilization mode in saline-alkali soils, a field experiment was conducted to determine the effects of different levels of nitrogen on soil microorganisms and sunflower yield in Hetao Irrigation District in Inner Mongolia. Six treatments were designed including five nitrogen fertilizer levels, viz., 75 kg·hm<sup>-2</sup>(N1), 150 kg·hm<sup>-2</sup>(N2), 225 kg·hm<sup>-2</sup>(N3), 300 kg·hm<sup>-2</sup>(N4), 375 kg·hm<sup>-2</sup>(N5) and a control (CK). The results indicated that: (1) Applying nitrogen fertilizer could significantly increase the number of microorganisms and the diversity of flora in the root zone. The order of soil microorganisms at 0~20 cm soil depth arranged was N4>N3>N5>N2>N1>CK. (2) Applying nitrogen fertilizer could promote the growing and development of sunflower as well as yield. The growth vigor and dry matter of sunflower increased gradually and yield varied parabolically with nitrogen application rates. Therefore, the yield of five nitrogen fertilizer levels treatments were higher than CK by 0.06%, 36.27%, 61.95%, 105.36% and 85.03%, respectively. (3) Appropriate nitrogen application rate could reduce soil salinity of 0~40 cm depth. After harvest, the order of salt accumulation arranged was N2>CK>N5>N3>N1>N4. (4) There is a significant positive correlation between the numbers of soil microorganisms, advantage bacteria flora and nitrogen application, root dry matter. However, there is a significant negative correlation between the numbers of soil mi-

收稿日期: 2016-05-20

基金项目: 国家自然科学基金(41501314); 公益性行业(农业)科研专项(201303130)

作者简介: 张珺瞳(1986—), 男, 河北石家庄人, 博士研究生, 研究方向为土壤培肥。E-mail: zhangjuntong-caas@126.com。

通信作者: 王 婧, 女, 副研究员。E-mail: wangjing02@caas.cn。

croorganisms, advantage bacteria flora and soil salt content, salt accumulation. In summary, the appropriate nitrogen application rate is  $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  for sunflower on the moderate saline-alkali soils in Hetao Irrigation District in Inner Mongolia.

**Keywords:** nitrogen fertilizer; saline soil; sunflower; soil microorganism; microbial flora

河套灌区的盐碱耕地面积约占内蒙古盐碱化障碍耕地面积的 70%。食葵是河套灌区盐碱地主栽作物之一。土壤盐胁迫可降低作物的生长势,影响作物产量。施肥是最显著影响土壤质量及其可持续利用的农业措施之一<sup>[1]</sup>,不仅直接影响土壤化学成分,引起土壤微生物数量、活性和群落结构改变,还能改变土壤的物理性状,影响地上植被的生长<sup>[2]</sup>,更重要的是,适宜施肥可增强盐碱地作物的抗盐性,增产增收,因此成为高效利用盐碱地的重要手段之一。氮是植物生长发育不可缺少的营养元素,影响着植物的生长和生物量分配<sup>[3]</sup>。沈振国等<sup>[4]</sup>、逢焕成等<sup>[5]</sup>、Legha 等<sup>[6]</sup>认为,施氮能明显降低盐分尤其是钠离子对功能器官的伤害。Gomez<sup>[7]</sup>认为施氮肥可缓解盐分对作物生长的抑制作用,达到增产效果。但氮肥的这种作用受作物种类、盐分含量及环境条件等因素限制,Ali 等<sup>[8]</sup>认为,过量施氮会造成土壤可溶性盐含量升高,加重盐分对作物生长的不利影响。因此,合理施肥,提高盐碱地的氮肥利用率是首要考虑的问题<sup>[9]</sup>。

土壤是一个充满生机的生态系统,土壤微生物是土壤生态系统中极其重要和最为活跃的部分,在土壤养分转化循环、系统稳定性和抗干扰能力以及土壤可持续生产力中占据主导地位<sup>[1-2]</sup>,用土壤微

生物参数来评价土壤的健康和质量愈来愈受到人们的关注<sup>[10]</sup>,土壤微生物群落及其数量的变化可以作为土壤肥力状况的重要生物学指标,其变化有赖于土壤的肥力水平、环境状况和根系生长等<sup>[1-3,11]</sup>。施肥是影响土壤微生物生态的主要措施之一<sup>[2]</sup>,会造成土壤微生物种群、数量和活性不同,这种差异又会对土壤结构、肥力和生产力产生重要影响<sup>[10]</sup>。目前,关于盐碱地不同施氮肥量水平的土壤微生物效应鲜见报道。本文拟通过研究内蒙古河套灌区盐碱地不同氮肥施用量对土壤微生态系统与食葵产量的影响,寻求作物稳产高产的施氮水平,为进一步建立盐碱地食葵合理施肥技术体系提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验区位于内蒙古五原县胜丰镇民联村,处于河套灌区腹地。全年日照时数 3 263 h,年均温  $6.1^\circ\text{C}$ ,  $\geq 10^\circ\text{C}$  的积温  $3\ 363^\circ\text{C}$ ,无霜期 117 ~ 136 d,年降雨量 170 mm,大多集中在夏秋两季,年蒸发量 2 068 mm,是降雨量的 11.5 倍。由于蒸发量过大,冬春季土壤盐分表聚现象严重。试验区表层土壤为粉壤土,生育期内地下水埋深变幅 1.2 ~ 1.7 m。2011 年秋季测定试验区平均基础含盐量及离子组成见表 1。

表 1 试验区 0 ~ 20 cm 土层平均含盐量与离子组成

Table 1 Soil ion content and salinity in 0 ~ 20 cm soil of experimental area

pH	$\text{CO}_3^{2-}$ /( $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$\text{HCO}_3^-$ /( $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$\text{Cl}^-$ /( $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$\text{SO}_4^{2-}$ /( $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$\text{Ca}^{2+}$ /( $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$\text{Mg}^{2+}$ /( $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$\text{K}^+$ /( $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$\text{Na}^+$ /( $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	全盐量 Soil salt /( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
8.38	0.00	0.53	0.98	1.35	0.36	0.56	0.64	1.29	2.04

### 1.2 试验设计与田间管理

如表 2 所示,试验设 6 个氮肥(纯氮)施用量处理:CK ( $0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )、N1 ( $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )、N2 ( $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )、N3 ( $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )、N4 ( $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )、N5 ( $375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。其中,CK 处理不施肥,其余各处理除施氮量不同外, $\text{P}_2\text{O}_5$  和  $\text{K}_2\text{O}$  施用量均为  $416.70 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  和  $288.45 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。化肥种类为尿素(含 N 46%)、磷酸二铵(含 N 18%,含  $\text{P}_2\text{O}_5$  46%)、硫酸钾(含  $\text{K}_2\text{O}$  50%)。所有肥料均于春季播前整地时一次性底施。葵花采用覆膜栽培。每个处理重复 3 次,小区面积  $11.5 \text{ m}^2$  ( $5 \text{ m} \times 2.3 \text{ m}$ ),小区间设 0.5 m 保护行。

表 2 各处理氮肥施用量/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )

Table 2 The nitrogen fertilizer quantity of different treatments

处理 Treatment	氮肥施用量 Mineral nitrogen rate		折施纯氮 Purity nitrogen
	磷酸二铵 Diammonium phosphate	尿素 Urea fertilizer	
CK	0	0	0
N1	416.70	0	75
N2	416.70	162.90	150
N3	416.70	325.95	225
N4	416.70	489.00	300
N5	416.70	652.50	375

试验于 2012 年进行,供试作物为食葵,品系为 LD5009,为中熟食用美葵杂交种。种植密度为  $44\ 000\ \text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,行距 60 cm,穴距 40 cm。6 月 4 日播种,9 月 23 日收获。所有处理均于播前 2 周(5 月 20 日)和现蕾期(7 月 7 日)灌溉黄河水,每次灌溉量均为  $1\ 200\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 。其它田间管理措施与当地农户一致。

### 1.3 取样方法与测定指标

分别于食葵播前(6 月 2 日)、苗期(6 月 30 日)、收获期(9 月 19 日)取土测定土壤盐分,取土深度为 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm。收获前每小区选 5 株,测定株高、茎粗、盘径、干物重等指标,之后收获、考种。每小区单打单收测产。

### 1.4 微生物区系分析方法

本文只对可培养微生物进行多样性分析。在食葵成熟期(8 月 11 日)采集各处理的 0~20 cm 土层根区土样,进行 pH 值测定后,采用稀释平板涂布法,利用牛肉膏蛋白胨培养基、高氏一号培养基和 PDA 培养基分别对细菌、放线菌和霉菌进行培养分析,根据菌落特征区分、计数各菌落总数。每个土样采用  $10^{-2}$ 、 $10^{-3}$ 、 $10^{-4}$  三个梯度,每个梯度设 3 个重复,数据处理根据平板中菌落密度,选取合适梯度进行总数计数。

确定优势菌时,通过光学显微镜及肉眼观察,若平板上形态、颜色等特征一致的菌落数量  $\geq 3$  个,则确定为某一优势菌;优势菌占总菌落比例大致为

40%左右。对平板中的细菌和放线菌优势菌群进行分离纯化,提取 DNA,采用 27f 和 1492r 作为引物对其 16S rDNA 进行 PCR 扩增,并测序,于 EzTaxon 数据库中进行序列比对,初步确定其最相似菌和其所在的属,随后进行归类分析。

### 1.5 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 13.0 统计软件进行统计分析,LSD 法检验差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施氮量对盐碱土壤盐分的影响

图 1 为各处理不同时期 0~100 cm 土层全盐量分布图。可以看出,各处理土壤 0~100 cm 土体盐分随着食葵生育期的推进呈增加趋势,即表现为返盐;而空间变化呈盐分表聚和深层积聚两种趋势,即与播前相比,收获期各处理 10 cm 以上土层和 60 cm 以下土层盐分含量较高。

0~20 cm 土层是作物根系主要分布层,由试验测定值计算可知,经过一个作物生长季,各处理对该层盐分的影响差异显著,施肥量不足会加重土壤返盐和表聚,N2 处理积盐量达  $1.16\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,N3 处理积盐  $0.41\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;过量施肥会出现土壤积盐,N5 处理积盐量达  $0.43\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;而氮肥施用量极少和适量时均能抑制土壤积盐,与播前相比,N1 和 N4 处理在食葵收获后土壤含盐量变化较小,积盐量分别为  $-0.04\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $-0.01\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

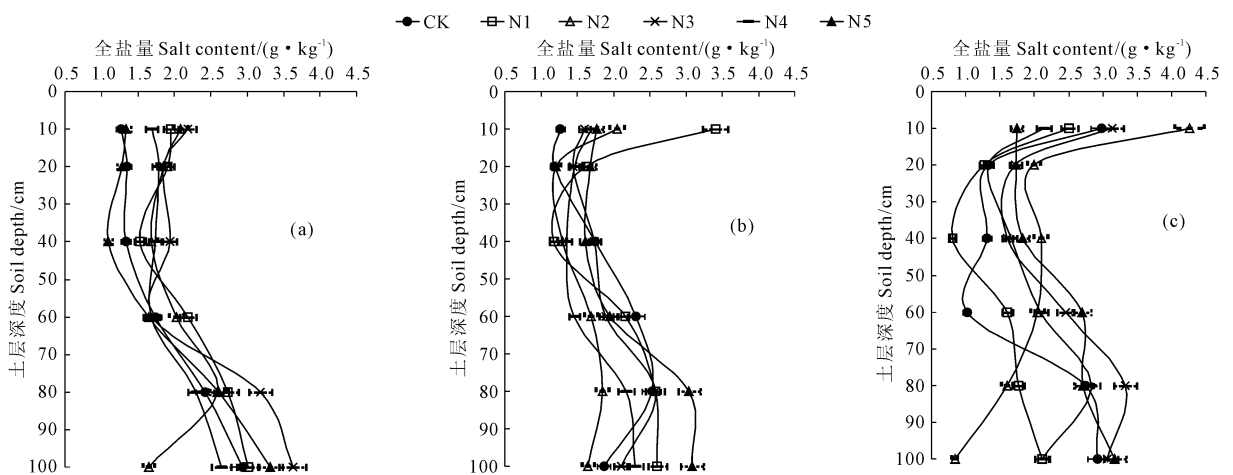


图 1 不同施氮量处理各土层土壤盐分分布变化(a:播前;b:苗期;c:收获期)

Fig. 1 Soil salt content of different treatments (a: pre-sowing; b: seedling stage; c: harvest stage)

### 2.2 不同施氮量对土壤微生物数量的影响

不同施氮处理土壤微生物数量均极显著高于 CK 处理(图 2),说明增施氮肥能促进盐碱地微生物的繁殖。各处理微生物数量为  $N4 > N3 > N5 > N2 >$

$N1 > CK$ ,随施氮量的增加呈现先增后降的趋势,其中 N4 处理比 CK 处理增加 187.54%。过量施氮对土壤微生物繁殖产生一定抑制作用,N5 处理微生物数量比 N4 处理降低 34.76%。

各处理土壤微生物中细菌所占比例比较大(图2),其中CK、N1、N2、N3、N4、N5处理细菌比例依次为66.19%、78.17%、77.92%、88.91%、82.67%、75.40%,放线菌的数量极显著低于细菌,霉菌数量稀少。与微生物数量变化规律一致,各施氮处理的细菌数量均极显著高于CK处理,随氮肥施用量的增加,各施氮处理的细菌数量较CK处理分别高102.15%、110.75%、233.33%、259.14%和113.71%,适量施氮可提高盐碱土中细菌数量,而过量施氮反而会降低细菌数量。而增施氮肥对盐碱土壤放线菌和霉菌数量的影响并不显著,各处理中,仅N4、N5处理的放线菌数量显著高于对照,而所有处理的霉菌数量均低于对照。

### 2.3 不同施氮量对细菌优势菌群的影响

试验区盐碱土壤中,细菌为优势微生物(图2),对细菌优势菌群进行分析,结果显示(表3),氮肥施用量增大,细菌优势菌群多样性会更加丰富。N4处理细菌优势菌群数最高,可检出5种优势菌群。说明增施氮肥有利于提高盐碱土壤细菌优势菌群的多样性,而种类丰富的细菌能降解土壤有机物,改善

土壤营养物质条件,也会分泌更多的有利于植株生长的活性成分。其中,各处理均有芽孢杆菌属(*Bacillus*)细菌的分布,其是常见的土壤细菌的优势种群。而各施氮处理广泛分布有假单胞菌属(*Pseudomonas*)的细菌,假单胞菌能产生多种抗生素,改善植物营养,促进植物生长,提高植物抗性<sup>[12]</sup>,这说明施氮可提高盐碱土壤微生态系统对作物养分吸收和抗性提升的积极作用。

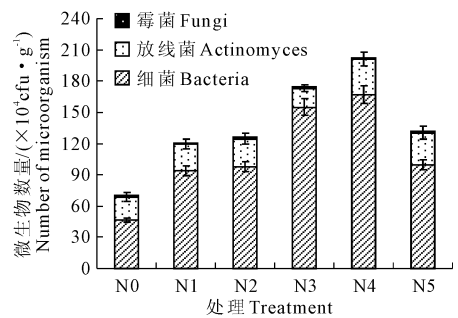


图2 不同施氮量对土壤细菌、放线菌、霉菌数量的影响

Fig.2 Effects of nitrogen fertilization on soil microorganism (bacteria, actinomycetes and fungi)

表3 不同施氮量处理优势菌群分布

Table 3 Predominant bacteria distribution of different treatments

处理 Treatment	优势菌群数 Advantage bacteria flora	优势菌属名 Generic names of predominant bacteria
CK	1	芽孢杆菌属( <i>Bacillus</i> )
N1	3	芽孢杆菌属( <i>Bacillus</i> ),假单胞菌属( <i>Pseudomonas</i> ), <i>Zimmermannella</i> 属
N2	3	芽孢杆菌属( <i>Bacillus</i> ),假单胞菌属( <i>Pseudomonas</i> ), <i>Zimmermannella</i> 属
N3	4	芽孢杆菌属( <i>Bacillus</i> ),假单胞菌属( <i>Pseudomonas</i> ), <i>Zimmermannella</i> 属,藤黄单胞菌属( <i>Luteimonas</i> )
N4	5	芽孢杆菌属( <i>Bacillus</i> ),假单胞菌属( <i>Pseudomonas</i> ), <i>Zimmermannella</i> 属,假黄单胞菌属( <i>Pseudoxanthomonas</i> ),藤黄单胞菌属( <i>Luteimonas</i> )
N5	4	芽孢杆菌属( <i>Bacillus</i> ),假单胞菌属( <i>Pseudomonas</i> ),微小杆菌属( <i>Exiguobacterium</i> ),不动杆菌属( <i>Acinetobacter</i> ),假黄单胞菌属( <i>Pseudoxanthomonas</i> )

### 2.4 不同施氮量对食葵生长势和干物质积累的影响

不同处理对盐碱地食葵生长指标影响有差异(表4),各施氮处理可显著改善盐碱地食葵生长势,提高植株干重,说明增施氮肥可以提高盐碱地作物抗盐性,有效促进食葵植株的生长发育和干物质积累。随着施氮量的增加,植株生长势与干重呈上升趋势,除N1处理外,各处理的植株性状及各部干重均显著高于CK处理。植株生长最为旺盛的N4与N5处理,株高、茎粗、盘径分别比CK处理高40.06%、44.44%、72.32%和44.33%、55.56%、88.39%;地上部干重与根干重分别比CK处理高159.03%、73.82%和

200.74%、111.97%。

### 2.5 不同施氮量对食葵产量的影响

由表5可见,各施氮处理中以N4处理产量最高,比CK处理增产105.36%,说明适量增施氮肥可显著提高盐碱地食葵籽粒产量。从不同处理对产量构成因素的影响看,适量增施氮肥可显著提高食葵百粒重与单盘粒数。但试验结果显示,施氮量过高,增产幅度下降,N5处理仅比CK增产85.03%,其产量增加量要低于N4处理。由前文可知,N5处理植株长势最好(表4),其增产幅度反而减小,这说明过量施用氮肥会使植株徒长,影响后期籽粒灌浆,且易导致无效花盘数增加,反而无法获得最高产量。

表 4 不同施氮量处理食葵生长指标比较

Table 4 Effects of nitrogen fertilization on sunflower growth indicators

处理 Treatments	株高/(cm·株 <sup>-1</sup> ) Plant height /(cm·plant <sup>-1</sup> )	茎粗/(cm·株 <sup>-1</sup> ) Stem diameter /(cm·plant <sup>-1</sup> )	盘径/(cm·株 <sup>-1</sup> ) Diameter of face plate /(cm·plant <sup>-1</sup> )	地上部干物重/(g·株 <sup>-1</sup> ) Shoot dry weight /(g·plant <sup>-1</sup> )	根干重/(g·株 <sup>-1</sup> ) Root dry weight /(g·plant <sup>-1</sup> )
CK	107.6	1.8	11.2	95.2	40.1
N1	106.4	1.9	15.1	100.4	33.3
N2	126.8	2.2	16.3	151.7	48.3
N3	136.2	2.3	16.7	166.7	50.2
N4	150.7	2.6	19.3	246.6	69.7
N5	155.3	2.8	21.1	286.3	85.0

表 5 不同施氮量处理食葵产量与产量构成因素分析

Table 5 Effects of nitrogen fertilization on grain yield of sunflower

处理 Treatments	单产 /(kg·hm <sup>-2</sup> ) Yield	百粒重/g Hundred seeds weight	花盘数 /(个·hm <sup>-2</sup> ) Number of faceplates per hm <sup>2</sup>	单盘粒数/粒 Seeds of single faceplate
CK	2668.20 E	14.205 D	30000 D	626 D
N1	2669.70 E	13.428 E	31725 C	627 D
N2	3636.00 D	13.671 E	34035 A	781 C
N3	4321.20 C	15.198 C	29130 E	976 B
N4	5479.35 A	16.899 A	28845 F	1124 A
N5	4936.95 B	16.077 B	32025 B	959 B

注:同列内不同大写字母表示处理间差异极显著( $P < 0.01$ )。

Note: different capital letters in the same column meant significant different among treatments at 0.01 levels.

## 2.6 各因素简单相关关系分析

由各因素简单相关分析结果(表 6)可知,土壤

表 6 不同因素间简单相关分析

Table 6 The correlation coefficients between soil microorganisms and other factors

	细菌数 Number of bacteria	放线菌数 Number of actinomycetes	霉菌数 Number of fungi	微生物总数 Total Number of microorganism	优势菌群数 Advantage bacteria flora	施氮量 Mineral nitrogen rate	单产 Yield
施氮量 Nitrogen fertilization	0.65	0.57	0.10	0.70	0.92**	—	0.93**
土壤含盐量 Total salt content at harvest stage	-0.79	-0.39	-0.42	-0.71	-0.10	0.18	-0.29
土壤积盐量 Salt accumulation	-0.60	-0.51	-0.90*	-0.64	-0.62	-0.31	-0.30
根干重 Root dry weight	0.38	0.66	0.37	0.45	0.82*	0.93**	0.88*
单产 Yield	0.76	0.59	0.05	0.81*	0.86*	—	—

注:\*,\*\* 分别为达 0.05 和 0.01 显著水平。

Note: \*, \*\* were significantly correlated at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

## 3 讨论与结论

### 3.1 讨论

(1) 本研究表明,适量增施氮肥可极显著增加盐碱地食葵籽粒产量( $P < 0.01$ ),但过量施氮,会造成植株徒长,增产幅度下降。本研究中,施氮量为  $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时(N4 处理)食葵产量最高,比 CK 增产 105.36%。N5 处理植株长势最好,但产量低于 N4

微生物数量,包括细菌、放线菌、霉菌数量,与施氮量正相关,与含盐量和积盐量呈负相关,与根的生长呈正相关,但除了霉菌数量显著受积盐量抑制外,其余指标均不显著,这说明土壤微生物因子受土壤营养状况、盐分含量、植株根系生长等多因素的共同作用,施氮量的增加有提高土壤微生物数量的趋势,土壤含盐量和积盐量对土壤微生物的繁殖有抑制作用,根系生长旺盛对土壤微生物的繁殖有促进作用。各因素与细菌数量的相关性高于放线菌和霉菌。优势菌群数与施氮量呈极显著正相关( $r = 0.92$ ),与根系生长指标呈显著正相关,与含盐量和积盐量呈负相关,但不显著。施氮量与食葵产量之间呈极显著正相关关系( $r = 0.93$ )。而微生物总数和优势菌群数与食葵产量呈显著正相关,说明土壤微生态环境的改善有利于提高作物产量。

处理,说明过量施用氮肥会使食葵植株徒长,影响后期籽粒灌浆,且易导致无效花盘数增加,反而降低增产幅度。而微生物总数和优势菌群数与食葵产量显著正相关,说明土壤微生态环境的改善有利于提高作物产量。

(2) 盐碱地生态系统的改善是土壤营养状况、盐分含量、土壤环境、作物根系等多种因素共同作用的结果。土壤养分的增加、盐度的降低、土壤环

境的改善及作物根系分泌作用等均会对土壤微生物及群落产生显著影响<sup>[1,11,13]</sup>。试验结果显示,适量施氮有利于改善土壤微生态系统,氮肥施用量为 $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时(N4处理)最有利于提高细菌优势菌群多样性,增加土壤微生物的数量。增施氮肥会提供更为丰富的土壤养分,极显著提高土壤优势菌菌群数( $r=0.92$ ),施氮量越大,细菌优势菌多样性越丰富;芽孢杆菌属和假单胞菌属的细菌在各处理中广泛分布,这应与增施氮肥促进根系生长有关。增施氮肥可增加土壤微生物数量,但相关性不显著。土壤含盐量与积盐量会降低土壤微生物数量和优势菌菌群数,尤其土壤积盐量显著降低霉菌数量( $r=-0.90$ ),但其余指标相关性均不显著。这说明,土壤含盐量的升高会抑制土壤微生物的繁殖,但抑制作用也受其它因素的制约。增施氮肥可极显著促进根系生长( $r=0.93$ ),而食葵根系的生长可显著提升土壤优势菌菌群数( $r=0.82$ ),但与微生物数量正相关关系不显著,应与根系活动及根系分泌物等有关;熊明彪等<sup>[14]</sup>提到,施肥会增强根系分泌作用,产生根际效应,使土壤微生物的活性和生态分布发生改变。本研究中未涉及此项内容,将会做进一步深入研究。

(3) 研究显示,试验区土壤细菌数决定了微生物数量的多寡,放线菌和霉菌比例较小。试验结果表明,N4处理最有利于土壤细菌的繁殖,这与Bardgett等<sup>[15]</sup>的研究结果一致,即认为适量施用氮肥有利于细菌生长,可能通过改变养分有效性来影响微生物群落。而施氮过量会对细菌数量产生抑制作用,这与王曙光等<sup>[16]</sup>的研究一致。土壤积盐量可极显著降低霉菌的数量( $r=-0.90$ ),说明霉菌繁殖对土壤盐分的累积增加反应较为敏感,这与林学政等<sup>[17]</sup>的结论类似。从相关性结果看,根系的生长对放线菌数量的影响相对较大,但并不显著,可能与放线菌积极参与根残体分解过程有关<sup>[18]</sup>。总之,研究盐碱地施肥对微生物的影响时,必须综合考虑土壤类型、盐碱程度、施肥方式等,并与土壤养分、盐分、根系生长、根系分泌物和脱落物等因素结合考虑,具体机理将进一步研究。

(4) 本试验中,增施氮肥对土壤盐分含量变化的影响规律不明显,但也显现出了“无肥返盐、少肥脱盐、中肥积盐、肥大吃盐、肥过聚盐”的波浪形特征,即并不是施肥量越大,土壤含盐量越高,土壤积盐量也不会相应增大。不同施氮处理下,土壤盐分变化与植株生长势、土壤容重、潜水蒸发等多种因素密切相关<sup>[19-20]</sup>。试验中,土壤返盐规律的变化主

要受以下几个因素共同作用:① 增施氮肥对作物根系的促长作用,有利于作物产生生理抗逆,提高根系的吸收效能,能起到一定的吸盐作用,土壤中大量根系的存在也会对盐分的上行起到一定的阻碍作用;② 增施氮肥可促进作物生长,抑制裸间蒸发,这会减缓土壤水分散失,从而抑制积盐;③ 大量施用无机肥会增加土壤可溶盐含量<sup>[21]</sup>,产生一定积盐作用;④ 增施氮肥会改变土壤养分状况,与根系的生长共同作用,改变土壤容重、土壤微生态系统、土壤孔隙度等指标,从而对土壤返盐规律产生影响。

### 3.2 结论

适量增施氮肥可极显著增产并改善盐碱土壤微生态系统。食葵产量与氮肥施用量呈抛物线关系,施氮量 $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时(N4)产量最高,比对照增产 $105.36\%$ ,并可增加土壤微生物数量和优势菌菌群数,提高优势菌菌群多样性。

### 参考文献:

- [1] 李秀英,赵秉强,李絮花,等.不同施肥制度对土壤微生物的影响及其与土壤肥力的关系[J].中国农业科学,2005,38(8):1591-1599.
- [2] 徐永刚,宇万太,马强,等.不同施肥制度对土壤微生物生态影响的评价[J].土壤通报,2010,41(5):1262-1269.
- [3] 刘建芳,周瑞莲,赵梅,等.氮肥、钙肥和盐处理在冬小麦融冻胁迫适应中的生理调控作用[J].生态学报,2011,31(23):7161-7169.
- [4] 沈振国,沈其荣,管红英,等.NaCl胁迫下氮素营养与大麦幼苗生长和离子平衡的关系[J].南京农业大学学报,1994,17(1):22-26.
- [5] 逢焕成,杨劲松,谢晓红.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].植物营养与肥料学报,2005,11(5):654-658.
- [6] Legha P K, Giri Gajendra. Influence of nitrogen and sulphur on growth, yield and oil content of sunflower (*Helianthus annuus*) grown in spring season[J]. Indian Journal of Agronomy, 1999, 44(2): 408-412.
- [7] Gomez I, Navarro Pedreno J, Moral R, et al. Salinity and nitrogen fertilization affecting the macronutrient content and yield of sweet pepper plants[J]. Journal of Plant Nutrition, 1996, 19(2):353-359.
- [8] Ali A, Tucker T C, Thompson T L, et al. Effects of salinity and mixed ammonium and nitrate nutrition on the growth and nitrogen utilization of barley[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2001, 186(4):223-228.
- [9] Sen H S, Bandyopanihyay B K. Volatilization loss of nitrogen from submerged saline soil[J]. Soil science, 1987, 143(1):34-39.
- [10] Abbott L K, Murphy D V. Soil Biological Fertility[M]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [11] 章家恩,刘文高,胡刚.不同土地利用方式下土壤微生物数量与土壤肥力的关系[J].土壤与环境,2002,11(2):140-143.

入渗越慢。湿润锋水平运移距离与垂直向下运移距离相差较小,但均大于垂直向上运移距离,重力对水分在土壤中的运移过程有一定的作用,但随着土壤容重的增加,该作用逐渐减小;土壤容重越大,湿润锋运移越慢,各土壤容重下的不同方向湿润锋运移距离与时间  $t$  的关系均近似为幂函数关系,入渗指数约为 0.5;灌水约 10 h 前湿润锋运移速率下降较快,约 40 h 后运移速率下降到  $0.1 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$  以下。从微润管附近到湿润锋,土壤含水率均随湿润半径呈线性下降趋势;土壤容重越大,同一取样点的含水率越小;微润灌溉系统的灌水均匀性符合相关规定。

#### 参考文献:

- [1] 何玉琴,成自勇,张 芮,等.不同微润灌溉处理对玉米生长和产量的影响[J].华南农业大学学报,2012,33(4):566-569.
- [2] 邱照宁,江培福,肖 娟,等.微润管空气出流及制造偏差试验研究[J].节水灌溉,2015,(3):12-14.
- [3] 薛万来,牛文全,罗春艳,等.微润灌溉土壤湿润体运移模型研究[J].水土保持学报,2014,28(4):49-54.
- [4] 吕 刚,吴祥云.土壤入渗特性影响因素研究综述[J].中国农学通报,2008,24(7):494-499.
- [5] 牛文全,张 俊,张琳琳,等.埋深与压力对微润灌溉湿润体水分运移的影响[J].农业机械学报,2013,44(12):128-134.
- [6] 李 卓,吴普特,冯 浩,等.容重对土壤水分入渗能力影响模拟试验[J].农业工程学报,2009,25(6):40-45.
- [7] Bhatnagar P R, Chauhan H S. Soil water movement under single surface trickle source[J]. Agricultural Water Management, 2008,95(7):799-808.
- [8] Gardenas A I, Hopmans J W, Hanson B R, et al. Two-dimensional modeling of nitrate leaching for various fertigation scenarios under micro-irrigation[J]. Agricultural Water Management, 2005,74(3):219-242.
- [9] Maziar M, Kandelous. Jirí Řimůnek J. Numerical simulations of water movement in a subsurface drip irrigation system under field and laboratory conditions using HYDRUS - 2D[J]. Agricultural Waste Management, 2010,97(7):1070-1076.
- [10] Neelam Patel. Dynamics and modeling of soil water under subsurface drip irrigated onion[J]. Transactions of the CSAE, 2008,95(12):1335-1349.
- [11] 张 俊,牛文全,张琳琳,等.微润灌溉线源入渗湿润体特性试验研究[J].中国水土保持科学,2012,10(6):32-38.
- [12] 张 琛,朱德兰,李岚斌,等.星形微管灌水器水力性能试验研究[J].节水灌溉,2010,(8):11-17.
- [13] 马娟娟,孙西欢,李占斌.入渗水头对土壤入渗参数的影响[J].灌溉排水学报,2004,23(5):53-55.
- [14] 李海燕.供水压力对地下点源水分入渗过程的影响研究[J].中国水利水电科学研究院学报,2007,5(4):301-304.
- [15] 吕殿青,邵明安,潘 云.容重变化与土壤水分特征的依赖关系研究[J].水土保持学报,2009,23(3):209-216.
- [16] 吴继强,张建丰,高 瑞.大孔隙对土壤水分入渗特性影响的物理模拟试验[J].农业工程学报,2009,25(10):13-18.
- [17] 谢香文,祁世磊,刘国宏,等.地理微润管入渗试验研究[J].新疆农业科学,2014,51(12):2201-2205.
- [18] 傅 斌,王玉宽,朱 波,等.紫色土坡耕地降雨入渗试验研究[J].农业工程学报,2008,24(7):39-43.
- [19] 赵勇钢,赵世伟,曹丽花,等.半干旱典型草原区退耕地土壤结构特征及其对入渗的影响[J].农业工程学报,2008,24(6):14-20.
- [20] 宋自影,王 飞.水分入渗对土壤内部综合压力影响的试验研究[J].农机化研究,2012,(7):191-195.
- [21] 李 卓,吴普特,冯 浩,等.容重对土壤水分蓄持能力影响模拟试验研究[J].土壤学报,2010,47(4):611-620.
- [22] 李英能,黄修桥,沈秀英,等.SL207-98.节水灌溉工程技术规范[S].北京:中国水利水电出版社,1998.
- [23] 宰松梅,仵 峰,温 季,等.大田地下滴灌土壤水分分布均匀度评价方法[J].农业工程学报,2009,25(12):51-57.
- [24] 朱燕翔,王新坤,程 岩,等.半透膜微润管水力性能试验的研究[J].中国农村水利水电,2015,(5):23-30.
- [25] 祁世磊,谢香文,邱秀云,等.低压微润带出流与入渗试验研究[J].灌溉排水学报,2013,32(2):90-92.
- [26] 窦超银,李春龙,李光永,等.吸力式微润灌水器水力特性试验研究[J].灌溉排水学报,2012,31(4):83-86.
- [12] 杨海君,谭周进,肖启明,等.假单胞菌的生物防治作用研究[J].中国生态农业学报,2004,12(3):158-161.
- [13] 王 婧,逢焕成,李玉义,等.微生物菌肥对盐渍土壤微生物区系和食葵产量的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(11):2186-2191.
- [14] 熊明彪,何建平,宋光煜.根分泌物对根际微生物生态分布的影响[J].土壤通报,2002,33(2):145-148.
- [15] Richard D Bardgett, Roger D Lovell, Phil J Hobbs, et al. Seasonal changes in soil microbial communities along a fertility gradient of temperate grasslands[J]. Biology and Biochemistry, 1999,31(7):1021-1030.
- [16] 王曙光,侯彦林.尿素肥斑扩散对土壤微生物群落结构的影响[J].生态学报,2004,24(10):2269-2274.
- [17] 林学政,陈靠山,何培青,等.种植盐地碱蓬改良滨海盐渍土对土壤微生物区系的影响[J].生态学报,2006,26(3):801-807.
- [18] 李琼芳.不同连作年限麦冬根际微生物区系动态研究[J].土壤通报,2006,37(3):563-565.
- [19] Pilar Flores, Micaela Carvajal, Antonio Cerdá, et al. Salinity and ammonium/nitrate interactions on tomato plant development, nutrition, and metabolites[J]. Journal of Plant Nutrition, 2001,24(10):1561-1573.
- [20] Badr A. Albassam. Effect of nitrate nutrition on growth and nitrogen assimilation of pearl millet exposed to sodium chloride stress[J]. Journal of Plant Nutrition, 2001,24(9):1325-1335.
- [21] 黄国勤,王兴祥,钱海燕,等.施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J].生态环境,2004,13(4):656-660.

(上接第 27 页)