

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2018.02.009

生物有机肥对盐渍土壤水盐动态及番茄产量的影响

邵孝候^{1,2},张宇杰^{1,2},常婷婷^{1,2},叶欢^{1,2},张展羽^{1,2}

(1. 南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室(河海大学),江苏 南京 210098;
2. 河海大学水利水电学院,江苏 南京 210098)

摘要:为探讨生物有机肥对不同类型盐渍土壤(设施次生盐渍土、滨海盐渍土)水盐动态和作物产量的影响,采用盆栽试验方法研究不同施肥(不施肥、化肥、生物有机肥、生物有机肥+化肥(比例为1:1))处理对盐渍土壤含水率、电导率、盐分离子组成变化和番茄产量、水分利用效率的影响。结果表明:(a)单施生物有机肥处理和生物有机肥+化肥处理均可以提高土壤含水率;(b)单施生物有机肥处理的土壤电导率最低,其次为生物有机肥+化肥处理;(c)对于设施次生盐渍土,与化肥处理相比,单施生物有机肥处理和生物有机肥+化肥处理的土壤盐分离子总量分别降低了23.63%和15.60%;(d)对于滨海盐渍土,与化肥处理相比,单施生物有机肥处理和生物有机肥+化肥处理的土壤盐分离子总量分别降低了22.34%和10.32%;(e)番茄收获后,设施次生盐渍土各处理的 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 在土壤盐分中的占比降低,滨海盐渍土各处理的 Na^+ 、 K^+ 和 Cl^- 占比降低;(f)单施生物有机肥处理最有利于土壤微生物的增加,其次是生物有机肥+化肥处理;设施次生盐渍土中生物有机肥+化肥处理的番茄产量最高,比单施生物有机肥处理增产165.5%;(g)施用生物有机肥可以提高设施次生盐渍土的作物产量和灌溉水利用效率,而单施化肥则可能会造成作物绝产;(h)施用化肥虽然提高滨海盐渍土的作物产量,但施用生物有机肥处理的灌溉水利用效率相对较高。

关键词:生物有机肥;设施次生盐渍土;滨海盐渍土;土壤含水率;土壤盐分;灌溉水利用效率;产量;番茄

中图分类号:S156.4 文献标志码:A 文章编号:1000-1980(2018)02-0153-08

Effects of different fertilizer treatments on soil water, salt and crop yield formation in saline soils

SHAO Xiaohou^{1,2}, ZHANG Yujie^{1,2}, CHANG Tingting^{1,2}, YE Huan^{1,2}, ZHANG Zhanyu^{1,2}

(1. Key Laboratory of Efficient Irrigation-Drainage and Agricultural Soil-Water Environment in Southern China of Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: To investigate the influence of bio-organic fertilizer on the water-salt dynamics and crop yield of different saline soils (greenhouse secondary saline soil (NS) and coastal saline soil (S)), the pot experiment was adopted to study the effects of fertilization regimes on the soil moisture content, soil electric conductivity (EC), soil salt composition, crop yield and water use efficiency of irrigation. The following treatments were applied: controlling without fertilization (CK), chemical fertilizer (C), bio-organic fertilizer (O), bio-organic fertilizer combined with chemical fertilizer (CO, bio-organic fertilizer: chemical fertilizer=1:1). The results showed that: (a) Compared to C, O and CO can improve the soil water content in both types of saline soils. (b) Soil salt, indicated by the soil electric conductivity, was controlled well by O and CO treatment. (c) Compared with NS-C, the total amount of

基金项目: 国家自然科学基金(51509068);中国博士后科学基金(1501043A);河海大学中央高校基本科研业务费(2015B05814)

作者简介: 邵孝候(1963—),男,教授,主要从事农业水土资源高效利用研究。E-mail:shaoxiaohou@163.com

通信作者: 常婷婷,副研究员。E-mail:changtingting225@163.com

引用本文: 邵孝候,张宇杰,常婷婷,等.生物有机肥对盐渍土壤水盐动态及番茄产量的影响[J].河海大学学报(自然科学版),2018,46(2):153-160. DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2018.02.009.

soil salt ions in NS-O and NS-CO decreased by 23.63% and 15.60%, respectively. (d) Compared with S-C, the total amount of soil salt ions in S-O and S-CO decreased by 22.34% and 10.32%, respectively. (e) After the tomato harvesting, the proportion of NO_3^- and SO_4^{2-} in the soil salinity decreased in NS, while the proportion of Na^+ , K^+ and Cl^- decreased in S. (f) O was the most favorable for soil microbial growth, followed by CO. The yield of tomato treated with CO in the secondary saline soil was the highest, and the yield increased by 165.5% compared with O. (g) The application of bio-organic fertilizer could improve the crop yield and irrigation water use efficiency of S, and the chemical fertilizer will result in the crop failure. (h) The application of chemical fertilizer can improve the crop yield on saline soil, and irrigation water use efficiency of the bio-organic fertilizer treatment is higher than other treatments.

Key words: bio-organic fertilizer; greenhouse secondary saline soil; coastal saline soil; soil moisture content; soil salinity; water use efficiency of irrigation; crop yield; tomato

盐渍土分布广泛,是重要的土地资源^[1-3]。盐渍土因特殊的物理化学性质,不适宜大多数作物的生长或影响作物产量,改良利用盐渍土可以增加耕地面积,缓解人地矛盾。滨海盐渍土和设施次生盐渍土是我国2种重要的盐渍土类型,滨海盐渍土直接发育于海水浸渍的淤泥之上,其积盐过程先于成土过程,土粒分散、孔隙度小、易于板结,土壤有机质和养分含量较低,土壤微生物活动较弱^[4-5];设施次生盐渍土的形成及其盐渍化程度与设施环境及人为耕作管理密切相关,设施生产中种植户常过量施用化肥和大量施用有机肥,一些未被作物吸收利用的肥料及其副成分便大量残留于土壤中,成为土壤盐分离子的主要来源,加之设施栽培较自然条件下的水分淋洗作用弱,土壤蒸发和作物蒸腾量大,长期使用则会导致土壤盐分不断积累,进而导致耕作层变浅,土壤板结严重,通气透水性变差,土壤酸化,土壤氮、磷、钾等养分含量过高等问题^[6-8]。在盐分离子组成上,滨海盐渍土主要是由 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 等组成,而设施土壤则主要是由 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 NO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 组成。Fang 等^[9] 和 Liu^[10] 等研究表明, NO_3^- 是设施土壤最主要的盐分离子^[11]。

施用有机肥是盐渍化土壤的有效改良方式,增施生物有机肥可减少化学肥料用量和改善土壤的结构性能、微生态环境,进而增强土壤的养分缓冲能力来防止盐类集聚^[12-13]。谢乘陶^[14] 研究表明,土壤有机质含量与土壤盐渍程度关系密切,具体表现为土壤水盐上移的作用随着有机质含量增加而减弱。增施有机肥料可以增加土壤有机质含量,进而提高抑制水盐上移的能力,促进土壤脱盐。Ahmed 等^[15] 以不同水质(优质水和微咸水)和不同施肥制度开展研究,结果表明,在任一灌溉水质下,施用堆肥均比施用未发酵的生粪肥的作物产量高,并且土壤含盐量相对较低。因而施用发酵后的有机肥可有效防控土壤次生盐渍化,但其具体用量还需进一步深入研究。Yadav 等^[16]、李玉奇等^[17] 的研究表明,向盐渍化土壤中添加微生物菌肥,可以改良土壤、增加产量,但研究表明不同的功能菌对作物的生长指标影响不同,因此建议将多种微生物组合施用。

国内外研究主要集中于研究有机肥对滨海盐渍土的改良效果,而系统研究生物有机肥及有机无机配施对设施盐渍土盐分变化内在机理的报道很少^[18]。生物有机肥和无机肥对设施栽培条件下次生盐渍土盐分比例组成的影响机理尚未明确。

综上,笔者拟在前人研究基础上,在设施栽培条件下开展盆栽试验,研究不同施肥处理对盐渍土土壤含水率、电导率、盐分离子组成变化的影响,并分析施肥制度对不同盐渍土作物产量和水分利用效率的影响,以为设施农业的可持续发展及盐渍土的改良与高效利用提供理论和实践依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验设计

供试作物为太空一号番茄。盆栽试验在河海大学江宁校区的塑料大棚中进行,所用盆钵容积为 0.01 m^3 ,高为 28 cm,直径为 28 cm。供试土壤分别为设施次生盐渍土(NS)和滨海盐渍土(S),土壤的基本理化性质见表1。NS取自南京市蔬菜科学研究所连作5年的设施大棚,S取自江苏东台条子泥垦区。将土壤自然风干并研磨过5 mm筛后装盆,每盆装土7.0 kg。番茄幼苗于2016年5月29日移栽入盆,每盆种植1棵。移栽前土壤灌水到田间持水率,设4种施肥处理:(a)不施肥(CK);(b)生物有机肥(O);(c)化肥(尿素,C);(d)生

物有机肥+化肥(生物有机肥和化肥用量为 1 : 1,CO),具体处理的施肥量见表 2。每个处理 4 次重复,随机排列。所用肥料具体为:尿素(含氮素 46%),磷酸二氢钾(含磷 $P_2O_5>52\%$ 、钾 $K_2O>34\%$),生物有机肥(有机质 30%、全氮 5%、全 P+全 K 为 1%)为将爱睦乐环保生物技术(南京)有限公司生产的 EM 玻卡西和南京宁粮生物工程有限公司生产的有机肥进行二次发酵后得到。肥料均作基肥,先与土壤充分混匀后再装盆。番茄于 2016 年 7 月 10 日开始采收,2016 年 7 月 26 日拉秧。试验期间每日下午 6:00 测定土壤含水率,当盆中土壤低于 60% 田间持水率时开始浇水,灌水上限为 80% 田间持水率。

表 1 土壤理化性质
Table 1 Main physicochemical properties of tested soils

供试土壤	田间持水率/%	密度/(g · cm ⁻³)	pH	电导率/(dS · m ⁻¹)	碱解氮/(mg · kg ⁻¹)	速效磷/(mg · kg ⁻¹)	速效钾/(mg · kg ⁻¹)
NS	23. 48	1. 38	4. 98	0. 45	152. 15	291. 50	270. 91
S	30. 50	1. 24	8. 44	0. 52	41. 02	70. 40	262. 08

1. 2 观测项目及方法

土壤含水率:试验期间每日下午 6:00 用小土钻采集作物根际 0 ~ 10 cm 剖面土样,放入铝盒带回实验室,用烘干法测定土壤质量含水率。

土壤电导率和水溶性盐离子:试验前后用小土钻采集 0 ~ 10 cm 剖面土样,室内风干后待测。采用 1 : 5 土壤悬液电导法(电导仪法)测量土壤 EC 值;酚二磺酸法测定 NO_3^- ; EDTA 滴定法测钙、镁;火焰光度法测钾、钠;双指示剂-中和滴定法测碳酸根、碳酸氢根;硝酸银滴定法测氯离子;EDTA 间接络合滴定法测硫酸根离子(详见《土壤农化分析》^[19])。

土壤微生物数量:试验期间采集土壤样品放入冰盒,保存于冷柜内待测。采用牛肉膏蛋白胨选择性培养基培养细菌,稀释平板计数法计数;马丁孟加拉红-链霉素选择性培养基培养真菌,稀释平板计数法计数;改良高氏一号培养基培养放线菌,稀释平板计数法计数。

番茄产量:番茄成熟后,测定果实数量和质量,计算单株产量。灌溉水利用效率(IWUE)计算见文献[20]。

1. 3 数据统计与分析

数据处理采用 Microsoft Excel 7. 0,显著性分析采用 Spss10. 0 软件。

2 结果与分析

2. 1 施肥处理对不同类型盐渍土壤水分动态的影响

从土壤水分动态变化可看出(图 1),在番茄整个生育期内,不同施肥处理的土壤含水率 NS 均高于 S,这是由于 NS 的田间持水率高于 S 所致。番茄苗期(6 月 1—14 日),土壤的水分消耗途径主要为表层土壤的蒸发作用,灌溉后各施肥处理的土壤含水率随时间推移均呈降低趋势,但 2 种盐渍土壤各时段的含水率均为 CO 处理最高,其次为 O 处理。番茄开花坐果期(6 月 15 日至 7 月 8 日)和结果期(7 月 9—25 日),对于 S,土壤含水率总体上 O 处理相对较高,其次为 CO 处理;对于 NS,C 处理番茄在移栽 18 d 后(6 月 15 日)均全部死亡,因此未继续取土测定其含水率,O 处理和 CO 处理的土壤含水率相差不大,究其原因可能是随着作物的生长,其对土壤的覆盖度逐渐变高,此时土壤水分的主要消耗途径由土壤蒸发转向植株蒸腾作用。试验结果表明,施用生物有机肥由于减少了土壤的无效蒸发,对盐渍土尤其是滨海盐渍土具有明显的保水作用,进而提高了水分利用效率,此结论与张建兵等^[21]、于

表 2 不同盐渍土处理的肥料用量

Table 2 Amounts of fertilization for saline soil treatments g/kg

处理	尿素	生物有机肥	磷酸二氢钾
NS-CK	0	0	0
NS-C	0. 33	0	0. 39
NS-O	0	2. 54	0. 39
NS-CO	0. 165	1. 27	0. 39
S-CK	0	0	0
S-C	0. 33	0	0. 39
S-O	0	2. 54	0. 39
S-CO	0. 165	1. 27	0. 39

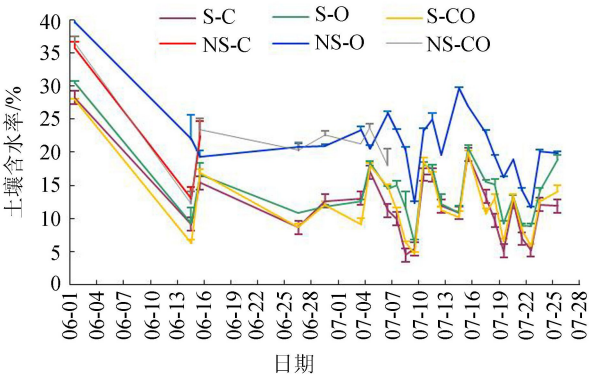


图 1 不同施肥处理试验期间盐渍土壤含水率变化
Fig. 1 Dynamics of the soil water content for saline soils with fertilization treatments

昕阳等^[22]的研究一致。

2.2 不同施肥处理盐渍土电导率和盐分离子组成的变化规律

表3为不同处理的土壤电导率和主要水溶性盐分离子含量(质量比)。与CK相比,NS和S不同施肥处理的土壤电导率均呈降低的趋势。试验结束后,对于NS,不同处理的土壤电导率由低到高依次为NS-O、NS-CO、NS-C,与CK处理相比,NS-C处理土壤电导率变化不大,而NS-O处理和NS-CO处理则分别降低了20.2%和11.6%;对于S,同CK处理相比,S-O、S-CO和S-C处理的土壤电导率分别降低了58.3%、50.6%和43.8%。结果表明,2种盐渍土电导率O处理均为最低,因此施用生物有机肥对土壤盐分降低具有一定的作用。

表3 不同施肥处理盐渍土电导率和盐分离子质量比

Table 3 Dynamics of the soil electric conductivity and the soil salt of saline soil with fertilization treatments									
处理	电导率/ (mS·cm ⁻¹)	w(Ca ²⁺)/ (g·kg ⁻¹)	w(Mg ²⁺)/ (g·kg ⁻¹)	w(K ⁺)/ (g·kg ⁻¹)	w(Na ⁺)/ (g·kg ⁻¹)	w(NO ₃ ⁻)/ (g·kg ⁻¹)	w(HCO ₃ ⁻)/ (g·kg ⁻¹)	w(Cl ⁻)/ (g·kg ⁻¹)	w(SO ₄ ²⁻)/ (g·kg ⁻¹)
NS-CK	3.296±	0.420±	0.034±	0.118±	0.058±	0.410±	0.0032±	0.029±	0.465±
	0.382	0.051	0.008	0.023	0.015	0.076	0.0001	0.009	0.037
NS-C	3.191±	0.380±	0.024±	0.128±	0.051±	0.302±	0.0091±	0.018±	0.415±
	0.491	0.033	0.001	0.023	0.011	0.072	0.0003	0.004	0.092
NS-O	2.631±	0.300±	0.073±	0.112±	0.035±	0.150±	0.0131±	0.024±	0.258±
	0.305	0.029	0.001	0.010	0.009	0.016	0.0010	0.006	0.056
NS-CO	2.914±	0.360±	0.098±	0.151±	0.021±	0.184±	0.0052±	0.043±	0.226±
	0.504	0.079	0.012	0.026	0.003	0.023	0.0007	0.009	0.034
S-CK	2.778±	0.205±	0.186±	0.157±	0.426±	0.013±	0.0263±	0.270±	0.255±
	0.297	0.056	0.013	0.030	0.104	0.004	0.0054	0.050	0.051
S-C	1.563±	0.140±	0.137±	0.012±	0.289±	0.020±	0.0384±	0.205±	0.180±
	0.325	0.048	0.022	0.002	0.058	0.002	0.0098	0.047	0.029
S-O	1.158±	0.120±	0.134±	0.020±	0.118±	0.011±	0.0354±	0.116±	0.122±
	0.221	0.035	0.023	0.003	0.012	0.002	0.0049	0.035	0.011
S-CO	1.372±	0.105±	0.103±	0.040±	0.130±	0.022±	0.0270±	0.125±	0.309±
	0.304	0.021	0.051	0.009	0.015	0.004	0.0062	0.019	0.035

S和NS的水溶性盐分离子含量不同。试验前,NS的阳离子含量由高到低依次为Ca²⁺、K⁺、Na⁺、Mg²⁺;阴离子含量由高到低依次为NO₃⁻、SO₄²⁻、Cl⁻、HCO₃⁻,土壤中未检测出CO₃²⁻;试验结束后,与NS-CK相比,NS-C处理、NS-O处理和NS-CO处理的水溶性盐分离子总量分别降低了13.58%、37.21%和29.18%,说明施用生物有机肥可以降低土壤盐分含量,其中单施生物有机肥对土壤降盐的效果优于生物有机肥+化肥。这是由于施用有机肥可以改善土壤的理化性状,降低毛管作用,溶于水中的盐分也不容易随水蒸发至地表,而且微生物的生长繁殖会吸收固定土壤中无机养分,使之转化成有机养分,土壤溶液浓度降低,电导率也逐渐减少,这和前人的研究结论基本一致^[23-24]。然而也有研究表明^[25],有机肥施用量提高至60t/hm²时会显著增加设施菜地土壤全磷与速效磷含量,加剧高肥力土壤养分的累积,而本文仅考虑了单一施氮量条件下生物有机肥及其与化肥配施对土壤盐分的影响,因此未出现上述情况。

与S-CK相比,试验结束后S不同处理的各种水溶性盐分离子含量在总体上呈降低趋势,S-C处理、S-O处理和S-CO处理的水溶性盐分离子总量比S-CK分别降低了33.72%、56.06%和44.03%。S各施肥处理的降盐效果均优于NS,是由于S为砂土,土壤结构松散且通气透水性较强,因此灌水后盐分淋失速度较快,而NS为重壤土,土壤板结严重、透水性差,因此不利于水盐运移。此外,同试验前NS相比,NS-C处理的土壤电导率并未因施用化肥而积盐,而是呈现略微降低的趋势,这是由于采用的是盆栽种植,排水性较好,利于土壤脱盐,但试验未刻意加大灌水量,而是控制在60%~80%田间持水率,因此脱盐效果不明显。相关研究表明^[26-27],设施土壤如采用埋设暗管等方式提高设施次生盐渍土的排水性能,有利于土壤脱盐和作物生长。

从表3还可以看出,生物有机肥降低NS的盐分含量主要是由于SO₄²⁻、NO₃⁻、Ca²⁺等盐分离子的降低。李卫等^[28]研究表明SO₄²⁻在不同次生盐渍化水平下一次性灌水很难将其淋洗出耕层,因此其在土壤中移动性相对较差,而本文试验施用生物有机肥后NS土壤盐分降低了33.7%~40.6%(扣除化肥对照)。分析原因是由于盆栽试验在夏季开展,蒸发量较高,频繁灌水加快了土壤中SO₄²⁻自上而下的移动速度。刘兆辉等^[29]研究表明,NO₃⁻在土壤中的移动性较强,灌水后极易随水向下移动,因此土壤NO₃⁻降低速度较快。此外,Cl⁻

在土壤中的移动性也较强,但生物有机肥中可能含有一定量的 $\text{Cl}^{-[30]}$, 因此对于设施次生盐渍土, NS-O 和 NS-CO 处理的土壤中 Cl^{-} 下降并不明显。

由表 4 可以看出, 土壤 NS 和 S 的盐分离子组成质量分数有较大差异, S 不同施肥处理盐渍土壤电导率和盐分离子中占比较高的主要是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} 、 HCO_3^{-} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 等 7 种离子, NO_3^{-} 的比例很低; 而 NS 不同施肥处理盐渍土壤电导率和盐分离子中的 NO_3^{-} 和 SO_4^{2-} 含量最高, 占到土壤盐分离子总量的 56% 以上, 其中 NS 中 NO_3^{-} 的含量远高于 S。试验结束后, 对于 NS, 不同施肥处理的离子组成比例有所变化, 如 NO_3^{-} 和 SO_4^{2-} 降低速度最快, 而 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 K^{+} 等离子的占比相对增加; 对于 S, 不同施肥处理的土壤中 Na^{+} 、 K^{+} 和 Cl^{-} 降低速度最快。

表 4 不同施肥条件下盐渍土离子质量分数

Table 4 Effect of different fertilizer treatments on the ion ratio of saline soil

%

处理	$w(\text{Ca}^{2+})$	$w(\text{Mg}^{2+})$	$w(\text{K}^{+})$	$w(\text{Na}^{+})$	$w(\text{NO}_3^{-})$	$w(\text{HCO}_3^{-})$	$w(\text{Cl}^{-})$	$w(\text{SO}_4^{2-})$
NS-CK	27.34	2.23	7.66	3.76	26.69	0.20	1.88	30.25
NS-C	28.62	1.84	9.64	3.84	22.78	0.67	1.34	31.27
NS-O	31.10	7.59	11.59	3.59	15.54	1.30	2.53	26.77
NS-CO	33.09	8.97	13.86	1.94	16.87	0.50	3.95	20.81
S-CK	13.33	12.09	10.21	27.68	0.85	1.71	17.55	16.60
S-C	13.73	13.40	1.22	28.30	1.96	3.68	20.10	17.61
S-O	17.75	19.85	2.94	17.53	1.61	5.19	17.10	18.03
S-CO	12.20	11.92	4.65	15.12	2.51	3.19	14.52	35.90

2.3 施用生物有机肥对土壤微生物的影响

表 5 为不同处理的土壤微生物数量。对于 S, S-O 处理的土壤微生物总数最高, 且显著高于 S-CO 处理和 S-C 处理, 且 S-CO 处理显著高于 S-C 处理; 对于 NS, 土壤微生物总数由高到低依次为 NS-CO、NS-O、NS-C, NS-O 和 NS-CO 处理的土壤微生物均显著高于 NS-C 处理, 但两者之间无显著性差异。与化肥处理相比, 施用生物有机肥的处理都不同程度地增加了盐渍土的微生物总数, 且总体上 NS 各处理的微生物总数明显高于 S, 可能是由于 NS 取自连作大棚的耕层, 而 S 为滩涂土壤, 肥力低, 因此微生物数量较少。单施生物有机肥处理最有利于 S 微生物的增加, 其次是生物有机肥+化肥处理。土壤微生物群落结构总体上呈细菌>放线菌>真菌。相关研究也表明^[31-32], 配合施用微生物和有机肥二次发酵后得到的生物有机肥可以增加土壤中三大菌群数量, 降低致病菌数量。

2.4 施用生物有机肥对番茄产量和水分利用效率的影响

不同施肥处理下 2 种盐渍土的番茄产量见表 6。各处理番茄产量由高到低依次为: S-C、S-CO、S-O、NS-CO、NS-O、NS-C。对于 NS 而言, NS-CO 处理的番茄产量最高, 比 NS-O 处理增产 165.5%, 而 NS-C 处理的盆栽番茄绝产, 分析原因是次生盐渍化严重的设施土壤, 其各项理化和生物学指标均已恶化, 在盆栽环境下只施用化肥作物就很难成活, 而施用生物有机肥由于提高了土壤的缓冲性能, 抑制了盐害, 进而为作物提供了相对良好的生长环境, 所以施用生物有机肥可以增加设施次生盐渍土壤的番茄产量。此外, 与单施化肥或有机肥比较, 化肥和有机肥配施的产量最高, 这是由于混施化肥和有机肥的土壤中养分释放更符合作物的需

表 5 不同施肥处理对盐渍土壤微生物数量及其构成的影响

Table 5 Microbial quantity and components of saline soil with fertilization treatments

处理	微生物总数/ ($10^9 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$)	真菌 比例/%	放线菌 比例/%	细菌 比例/%
S-O	0.0768 a	3.28	8.79	87.93
S-CO	0.0657 b	1.42	34.09	64.49
S-C	0.0571 c	0.87	28.74	70.39
NS-O	1.1730 a	2.38	4.91	92.71
NS-CO	2.1104 a	0.07	0.42	99.51
NS-C	0.0625 b	0.75	7.71	91.54

注: 采用单因素方差分析 (LSD 法) 对两种盐渍土不同处理进行分别比较。其中 a、b、c 表示不同处理在 0.05 水平上差异显著。

表 6 不同施肥处理盐渍土的番茄产量和灌溉水利用效率

Table 6 Tomato yield and I_{WUE} of saline soils with fertilization treatments

处理	产量/ ($\text{g} \cdot \text{盆}^{-1}$)	总灌水量/ ($\text{L} \cdot \text{盆}^{-1}$)	灌溉水利用效率/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)
S-C	354.6 a	11.1	32.0 a
S-O	294.7 b	8.7	33.8 a
S-CO	333.5 a	10.4	32.1 a
NS-O	37.1 b	8.2	11.9 a
NS-CO	98.5 a	6.4	5.8 b
NS-C	0	2.0	

肥规律,土壤中盐分离子的积累量下降,减轻了次生盐渍化程度^[33]。对于 S 而言,化肥处理的番茄产量显著高于生物有机肥处理和生物有机肥+化肥处理,生物有机肥+化肥处理的番茄产量高于单施生物有机肥处理,但两者无显著性差异,这可能是因为滨海盐渍土肥力低,盐分不是影响番茄生长的障碍因子,化肥作为速效性肥料对番茄生长反而影响最为明显。

5月29日作物移栽入盆后,为保证成活率,S和NS灌水至田间持水率的灌水量分别为1.5L/盆和2.0L/盆。从表6可见,S各施肥处理总灌水量从大到小依次为S-C、S-CO、S-O,可能是由于S养分含量较低,因此施用化肥的处理(S-C和S-CO)其番茄植株长势比较旺盛,因而在整个生育期内耗水量一直较高。NS各施肥处理总灌水量从大到小依次为NS-O、NS-CO、NS-C,NS-O处理的番茄长势优于NS-CO处理和NS-C处理,因此在整个生育期内,NS-O处理的番茄总灌水量最高。

各处理的水分利用效率由大到小依次为S-O、S-CO、S-C、NS-O、NS-CO,S各施肥处理的作物水分利用效率均高于NS,但S各施肥处理间无显著性差异;无论是S还是NS,单施生物有机肥处理的水分利用效率均高于其他处理。在相同盐渍化水平下,NS较S对作物产量的影响更大。施用生物有机肥可以提高设NS作物产量和灌溉水利用效率,施用化肥可能会使作物绝产;而对于S而言,施用化肥会提高作物产量,但施用生物有机肥处理的灌溉水利用效率最高。

3 结 论

a. 对番茄生育期内2种盐渍土不同施肥处理土壤含水率的动态变化进行分析,研究表明生物有机肥对盐渍土尤其是滨海盐渍土具有明显的保水作用。2种盐渍土中生物有机肥+化肥处理的土壤含水率最高,其次为单施生物有机肥的处理;番茄开花坐果期和结果期,滨海盐渍土单施生物有机肥处理的土壤含水率相对较高,其次为生物有机肥+化肥处理,而设施次生盐渍土中单施生物有机肥处理和生物有机肥+化肥处理的土壤含水率相近。

b. 对试验前后不同施肥处理土壤电导率和盐分离离子组成进行分析,研究表明生物有机肥可降低土壤电导率,影响土壤水溶性盐分离离子组成比例。与施用化肥处理相比,设施次生盐渍土上单施生物有机肥处理和生物有机肥+化肥处理的土壤盐分离离子总量可降低15%以上,而滨海盐渍土上单独施用生物有机肥和生物有机肥+化肥的土壤盐分离离子总量可降低10%以上。番茄收获后,设施次生盐渍土各施肥处理NO₃⁻和SO₄²⁻盐分离离子占比降低,而滨海盐渍土各处理的Na⁺、K⁺和Cl⁻占比降低。

c. 比较分析了不同施肥处理的土壤微生物数量、作物产量和灌溉水利用效率。研究表明单施生物有机肥最有利于提高土壤微生物数量,生物有机肥可以显著提高设施次生盐渍土的灌溉水利用效率,而单施化肥在盆栽条件下则可能会造成作物绝产;滨海盐渍土单施化肥较单施生物有机肥显著提高了作物产量,但施用生物有机肥的作物灌溉水利用效率略高于化肥。

参考文献:

[1] ZHANG Lei, CHEN Binglin, ZHANG Guowei, et al. Effect of soil salinity, soil drought, and their combined action on the biochemical characteristics of cotton roots[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2013, 35(1): 3167-3179.

[2] WANG Zhuoran, ZHAO Gengxing, GAO Mingxiu, et al. Spatial variability of soil salinity in coastal saline soil at different scales in the Yellow River Delta, China[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2017, 189:80.

[3] 吴明洲,王锦国,陈舟. 沿海滩涂淤泥质黏土水盐迁移试验分析[J]. 水资源保护,2016,32(3):137-142. (WU Mingzhou, WANG Jinguo, CHEN Zhou. Experimental analysis on soil water and salt migration of mucky clay in coastal shoal[J]. Water Resources Protection, 2016,32(3):137-142. (in Chinese))

[4] 陈建爱,段友臣,郭峰,等. 木霉制剂改良滨海盐渍土台田生态效应[J]. 中国生态农业学报,2016,24(1):90-97. (CHEN Jian'ai, DUAN Youchen, GUO Feng, et al. Ecological effect of Trichoderma agent on platform field soil improvement in saline coastal area[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(1):90-97. (in Chinese))

[5] 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. (LIN Xuezheng, CHEN Kaoshan, HE Peiqin, et al. The effects of Suaeda salsa L. planting on the soil microflora in coastal saline soil[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(3):801-807. (in Chinese))

[6] 刘媛媛. 有机无机肥交互作用对设施土壤养分和盐分含量变化的影响[D]. 雅安:四川农业大学, 2008.

- [7] 罗勤,陈竹君,闫波,等. 水肥减量对日光温室土壤水分状况及番茄产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2015, 21(2): 449-457. (LUO Qin, CHEN Zhujun, YAN Bo, et al. Effects of reducing water and fertilizer rates on soil moisture and yield and quality of tomato in solar greenhouse[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2015, 21(2): 449-457. (in Chinese))
- [8] 余海英,李廷轩,周健民. 典型设施栽培土壤盐分变化规律及潜在的环境效应研究[J]. 土壤学报,2006,43(4): 571-576. (YU Haiying, LI Tingxuan, ZHOU Jianmin. Salt in typical greenhouse soil profiles and its potential environmental effects [J]. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(4): 571-576. (in Chinese))
- [9] FANG Fengcui, LI Zhihong, ZHANG Lifeng, et al. Study on the relationship between irrigation amount and NO_3^- -N leaching of tomato field in greenhouse[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(5): 1161-1169.
- [10] LIU Xiaojun, ZHOU Jianbin, CHEN Zhujun, et al. Nitrate leaching from sunlight greenhouse soils with different cultivation years during summer fallow periods[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26: 272-278.
- [11] HAO Z P, CHRISTIE P, ZHENG F, et al. Excessive nitrogen inputs in intensive greenhouse cultivation may influence soil microbial biomass and community composition[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2009, 40(15/16): 2323-2337.
- [12] SU Qingrui, LI Weixiao, CHI Fengqin. Effect of organic fertilizer application on soil salt content and the Yield of rice[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(4): 299-301.
- [13] LYU Pin. Prevent secondary salinization in Songnen Plain[J]. Territory and Natural Resources Study, 2002, 1: 39-40.
- [14] 谢承陶. 盐渍土改良与作物抗性[M]. 北京:中国农业出版社,1993.
- [15] AHMED O, INOUE M, MORITANI S. Effect of saline water irrigation and manure application on the available water content, soil salinity and growth of wheat[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(1): 165-170.
- [16] YADAV B K, TARAFDAR J C. Efficiency of *Bacillus coagulans* as P biofertilizer to mobilize native soil organic and poorly soluble phosphates and increase crop yield[J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2012, 58(10): 1099-1115.
- [17] 李玉奇,辛世杰,奥岩松. 微生物菌肥对温室黄瓜生长、产量及品质的影响[J]. 中国农学通报,2012, 28(1): 259-263. (LI Yuqi, XIN Shijie, AO Yansong. Effects of microbial fertilizers on the growth, yield and quality of cucumber in greenhouse cultivation[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(1): 259-263. (in Chinese))
- [18] 郝小雨,高伟,王玉军,等. 有机无机肥料配合施用对设施番茄产量、品质及土壤硝态氮淋失的影响[J]. 农业环境科学学报,2012,31(3):538-547. (HAO Xiaoyu, GAO Wei, WANG Yujun, et al. Effects of combined application of organic manure and chemical fertilizers on yield and quality of tomato and soil nitrate leaching loss under greenhouse condition[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(3): 538-547. (in Chinese))
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [20] 王峰,杜太生,邱让建,等. 亏缺灌溉对温室番茄产量与水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(9):46-52. (WANG Feng, DU Taisheng, QIU Rangjian, et al. Effects of deficit irrigation on yield and water use efficiency of tomato in solar greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(9): 46-52. (in Chinese))
- [21] 张建兵,杨劲松,姚荣江,等. 有机肥与覆盖方式对滩涂围垦农田水盐与作物产量的影响[J]. 农业工程学报,2013,29(15):116-125. (ZHANG Jianbing, YANG Jinsong, YAO Rongjiang, et al. Dynamics of soil water, salt and crop growth under farmyard manure and mulching in coastal tidal flat soil of northern Jiangsu Province[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(15): 116-125. (in Chinese))
- [22] 于昕阳,翟丙年,金忠宇,等. 有机无机肥配施对旱地冬小麦产量、水肥利用效率及土壤肥力的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(5):320-324. (YU Xinyang, ZHAI Bingnian, JIN Zhongyu, et al. Effect of combined application of organic and inorganic fertilizers on winter wheat yield, water and fertilizer use efficiency and soil fertility in dryland [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29(5): 320-324. (in Chinese))
- [23] CHANG Tingting, SHAO Xiaohou, ZHANG Jie, et al. Effects of bio-organic fertilizer application combined with subsurface drainage in secondary salinized greenhouse soil[J]. Journal of Food Agriculture & Environment, 2013, 11(1): 457-460.
- [24] 陈劲憬,高丽红,曹之富. 施肥对设施土壤及作物生育的影响研究进展[J]. 农业工程学报,2005,21(2):16-20. (CHEN Jinjing, GAO Lihong, CAO Zhifu. Present situation of the effect of fertilization measures on protected soil and crop [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(2): 16-20. (in Chinese))
- [25] 王婷婷,王俊,赵牧秋,等. 有机肥对设施菜地土壤磷素状况的影响[J]. 土壤通报,2011(1):132-135. (WANG Tingting, WANG Jun, ZHAO Muqiu, et al. Effect of organic manure on the status of phosphorus in greenhouse soils[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2011(1): 132-135. (in Chinese))

[26] 张洁,常婷婷,邵孝侯. 暗管排水对大棚土壤次生盐渍化改良及番茄产量的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(3):81-86. (ZHANG Jie, CHANG Tingting, SHAO Xiaohou. Improvement effect of subsurface drainage on secondary salinization of greenhouse soil and tomato yield[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(3): 81-86. (in Chinese))

[27] CHANG Tingting, SHAO Xiaohou, ZHANG Jie, et al. Studies on salt and water movement in secondary salinized greenhouse soil under subsurface drainage[J]. Advanced Materials Research, 2012, 518/519/520/521/522/523: 98-101.

[28] 李卫,郑子成,李廷轩,等. 设施灌溉条件下不同次生盐渍化土壤盐分离子迁移特征[J]. 农业机械学报,2011,42(5):92-99. (LI Wei, ZHENG Zicheng, LI Tingxuan, et al. Effects of salt ions transport on different levels of secondary salinization soil under greenhouse irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(5):92-99. (in Chinese))

[29] 刘兆辉,江丽华,张文君,等. 氮、磷、钾在设施蔬菜土壤剖面中的分布及移动研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊): 537-542. (LIU Zhaohui, JIANG Lihua, ZHANG Wenjun, et al. N, P, K distributions and movement in soils for greenhouse and outdoor field[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2006, 25(Sup): 537-542. (in Chinese))

[30] 刘媛媛,李廷轩,余海英,等. 有机肥与尿素配施对设施土壤盐分含量与组成变化的影响[J]. 农业环境科学学报,2009, 28(2):292-298. (LIU Yuanyuan, LI Tingxuan, YU Haiying, et al. Effect of interaction between manure and inorganic fertilizers on salt content and ion composition in greenhouse soil[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(2):292-298. (in Chinese))

[31] 袁英英,李敏清,胡伟,等. 生物有机肥对番茄青枯病的防效及对土壤微生物的影响[J]. 农业环境科学学报,2011,30(7):1344-1350. (YUAN Yingying, LI Mingqing, HU Wei, et al. Effect of biological organic fertilizer on tomato bacterial wilt and soil microorganism[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2011, 30(7): 1344-1350. (in Chinese))

[32] 胡可,李华兴,卢维盛,等. 生物有机肥对土壤微生物活性的影响[J]. 中国生态农业学报,2010,18(2):303-306. (HU Ke, LI Huaxing, LU Weisheng, et al. Effect of microbial organic fertilizer application on soil microbial activity[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(2): 303-306. (in Chinese))

[33] 唐冬,毛亮,支月娥,等. 上海市郊设施大棚次生盐渍化土壤盐分含量调查及典型对应分析[J]. 环境科学,2014(12): 4705-4711. (TANG Dong, MAO Liang, ZHI Yue'e, et al. Investigation and canonical correspondence analysis of salinity contents in secondary salinization greenhouse soils in Shanghai suburb[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2014(12): 4705-4711. (in Chinese))

(收稿日期:2017-08-12 编辑:刘晓艳)



· 简讯 ·

世界水日和中国水周

为唤起公众的水意识,加强水资源保护,1993年1月18日第四十七届联合国大会根据联合国环境与发展大会制定的《21世纪行动议程》中提出的建议,通过了第193号决议,确定自1993年起,将每年的3月22日定为“世界水日”。中国水利部确定每年的3月22—28日为“中国水周”,从1991年起,我国还将每年5月的第二周作为城市节约用水宣传周。

2018年3月22日是第二十六届“世界水日”,3月22—28日是第三十一届“中国水周”。联合国确定2018年“世界水日”的宣传主题是“借自然之力,护绿水青山”(nature for water)。经研究确定,我国纪念2018年“世界水日”和“中国水周”活动的宣传主题为“实施国家节水行动,建设节水型社会”。

(本刊编辑部供稿)