

# 隔盐方式对设施盐渍化土壤主要盐离子 空间分布及酶活性的影响

孙凯宁, 王克安, 杨 宁

(山东省农业科学院 蔬菜花卉研究所/国家蔬菜改良中心山东分中心/山东省设施蔬菜生物学重点实验室, 济南 250100)

**摘 要:**针对设施土壤盐渍化日趋加重的现状,采用土柱模拟试验,以无隔盐层为对照,设置了 3 种隔盐层类型:砂砾层( $T_1$ ),复合有机物料层( $T_2$ ),砂砾+复合有机物料层( $T_3$ ),探索不同隔盐模式的抑盐效果。结果表明:盐离子含量随着土层深度的增加而逐渐降低;就 7 种主要离子( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )总含量而言, $T_3$  在 0—10 cm, 10—20 cm 和 20—30 cm 时分别较 CK 降低了 13.5%, 0.61% 和 27.0%, 效果较好; $T_1$  和  $T_2$  隔盐效果不明显。0—30 cm 土层, $T_3$  分别增加了脲酶、蔗糖酶、磷酸酶活性达 7.30%, 4.70%, 3.58%, 降低了过氧化氢酶活性达 8.53%; 而  $T_1$  则趋势相反。说明  $T_3$  可以较好地抑制设施盐渍化土壤盐离子在耕层的聚集,同时可以提高土壤酶活性,对改善设施盐渍化土壤质量具有一定的作用。

**关键词:**设施土壤; 盐渍化; 隔盐层; 土壤酶

中图分类号:S156.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)03-0057-05

## Effects of Salt Isolating Methods on Spatial Distribution of Major Saline Ions and Enzyme Activities in Greenhouse Saline Soil

SUN Kaining, WANG Kean, YANG Ning

(Institute of Vegetables and Flowers, Shandong Academy of Agricultural Sciences/Shandong Branch of National Improvement Center for Vegetables/ Shandong Province Key Laboratory for Biology of Greenhouse Vegetables, Jinan 250100, China)

**Abstract:** According to the present situation of increase of soil salinization in greenhouse, we examined the effect of different saline partition mode on salinity control by using soil column simulation with no salinity as the control and 3 layer types: gravel layer ( $T_1$ ), compound organic material layer ( $T_2$ ), gravel composite organic material layer ( $T_3$ ). The results showed that the saline ion contents decreased gradually with the increase of soil depth; the total contents of 7 major ions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) of  $T_3$  decreased by 13.5%, 0.61% and 27.0% in 0—10 cm, 10—20 cm and 20—30 cm soil depths, respectively, while the effects of  $T_1$  and  $T_2$  were not obvious.  $T_3$  increased activities of urease, sucrase, phosphatase by 7.30%, 4.70% and 3.58%, respectively, and decreased catalase activity by 8.53% in the 0—30 cm soil layer, while  $T_1$  showed the opposite trend. It showed that  $T_3$  could better restrain the accumulation of saline ions in the topsoil and improve soil enzyme activities, which has a certain effect on improving the quality of saline soil.

**Keywords:** greenhouse soil; salinization; salinity isolation layer; soil enzyme

目前我国设施农业生产区域分布广泛,主要集中在黄淮地区、东北南部、华北、西北等地区<sup>[1-2]</sup>。然而,设施生产高投入、高产、高复种指数的生产模式,同

时随着设施种植年限的延长,设施菜地土壤次生盐渍化现象不断出现并日益加重,部分种植年限长(一般 5~8 年以上)的设施菜地已不能再继续生产,严重影

收稿日期:2017-06-22

修回日期:2017-07-24

资助项目:山东省农业科学院青年科研基金(2014QNM35);山东省现代农业产业技术体系蔬菜创新团队项目(SDAIT-05-07);山东省农业科学院农业科技创新工程(CXGC2016B06);山东省农业科学院农业科技创新工程(CXGC2016A06);山东省 2015 年度农业重大应用技术创新项目“盐碱地设施蔬菜高效栽培技术与示范”;国家大宗蔬菜产业技术体系项目 CARS-23-G14

第一作者:孙凯宁(1985—),男,山东淄博人,博士,助理研究员,研究方向为植物营养,土壤改良及重金属污染。E-mail:sunkaining-123@163.com

通信作者:王克安(1963—),男,山东桓台人,硕士,研究员,研究方向为蔬菜栽培,设施工程与环境调控技术方面的研究。E-mail:wka6302@126.com

响了蔬菜的产量和品质,阻碍蔬菜生产的可持续发展<sup>[3-5]</sup>。为此,前人尝试多种途径进行修复改良,如王金龙等用填闲作物改良温室次生盐渍化土壤<sup>[6]</sup>,施毅超等采用轮作模式研究对土壤电导率和离子组成的影响<sup>[7]</sup>。张生田通过增施生物有机肥和改良剂以降低设施蔬菜土壤次生盐渍化危害<sup>[8]</sup>。以上改良方式多针对露天盐碱地,主要通过改变种植制度来实现,这在一些种植习惯固定的地区难以推广,且在盐渍化程度较高地区的效果并不理想,所需改良周期较长。隔盐层在盐碱地改良中有较多应用<sup>[9-12]</sup>,隔盐层在土体中通过改变水盐运移轨迹,可以有效抑制潜水蒸发和土壤返盐,不用改变耕作制度,见效快,效果好,但该类改良方式多见于露天盐碱地,在设施盐渍化土壤中应用却少有报道。土壤生态系统中的微生物和土壤酶是农田土壤比较活跃的组分,共同推动着土壤代谢过程,对自然和人为因素造成的变化反应敏锐<sup>[13]</sup>,也有研究者提出以脲酶、过氧化氢酶和磷酸酶所反映出的微生物学特性作为土壤环境质量变异的有效指标<sup>[14]</sup>。土壤酶既是土壤有机物转化的执行者,又是植物营养元素的活性库,并常被认为是土壤肥力与质量的重要衡量指标<sup>[15-16]</sup>。本研究在前人研究的基础上,设置了无机介质隔层、有机介质隔层以及复合隔层,探讨隔盐层在设施盐渍化土壤中的抑盐效果,分析不同隔盐方式对设施盐渍化土壤主要离子空间分布以及土壤酶活性的影响状况,为设施土壤改良提供数据支持,为设施农业可持续发展贡献微薄之力。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

采用土柱模拟试验,土柱长 80 cm,内径为 25 cm。土柱中的填充物分隔盐层和土壤,隔盐层分对照(无隔层,CK),砂砾层(厚 10 cm,  $T_1$ ),复合有机物料层(生物炭、菌渣,厚 10 cm,  $T_2$ )、砂砾+复合有机物料层(厚 20 cm,  $T_3$ ),共 4 各处理,各重复 3 次,每个土柱定植菠菜 3 株,土壤为通过人工方法均匀调配的中度盐碱土(含盐量 0.3%),基本理化状况见表 1。各处理隔层均在土柱上部 30 cm 土层以下。试验于 2016 年 11 月 8 日到 2017 年 2 月 22 日在山东省农业科学院蔬菜花卉研究所核心试验区进行,各处理管理方式保持一致。植株光合特性在收获当天测定,随机采集植株样品并采集 0—10 cm, 10—20 cm, 20—30 cm 的土壤样本,每个区内重复取样 3 次,植株样品采用液氮保存,土壤样品采用风干保存。

表 1 供试土壤基本理化性质

指标	含盐量/%	pH 值	有机质/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	全氮/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	有效磷/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速效钾/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
数值	0.30	7.20	49.56	3.33	13.11	654.13

### 1.2 测定项目与方法

1.2.1 土壤离子 7 种离子形态采用美国戴安有限公司生产的离子色谱仪(Dionex ICS 3000),将 0.1 g 风干土溶到 10 ml 超纯水中,然后再稀释 20 倍,测定计算。

1.2.2 土壤酶活性测定 酶活性参照严昶升的方法<sup>[17]</sup>。脲酶采用苯酚一次氯酸钠比色法;过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法;蔗糖酶活性用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定;磷酸酶用磷酸苯二钠(4-氨基安替比林)比色法。

### 1.3 数据处理

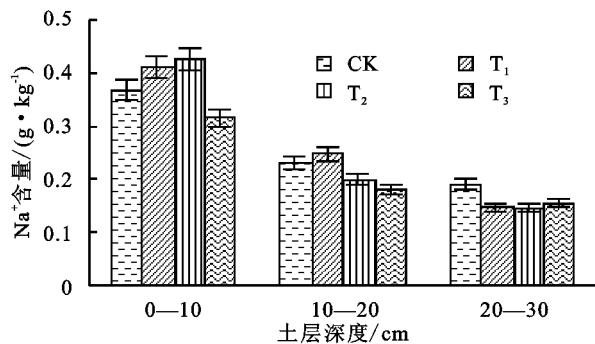
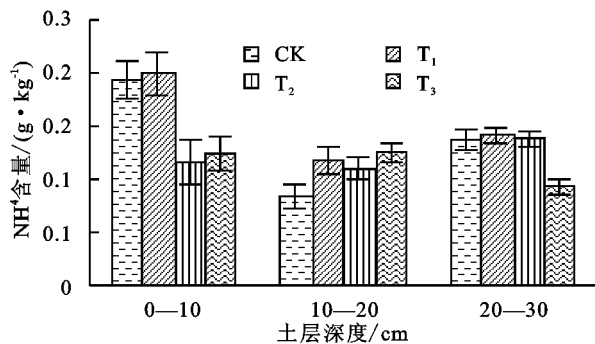
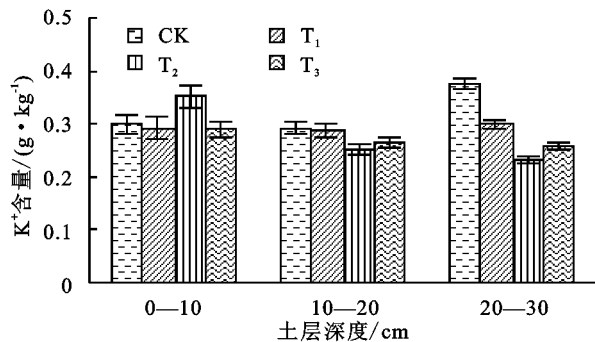
试验数据均用 Excel 做图,SPSS 22.0 软件进行统计分析,单因素方差分析采用 LSD 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 隔盐层对设施盐渍化土壤主要盐离子空间分布的影响

由图 1 可知,各处理均随着土层深度的增加,  $\text{Na}^+$  含量呈现逐渐降低的趋势。0—10 cm 土层表现为  $T_3 < \text{CK} < T_1 < T_2$ ,  $T_3$  较 CK 降低了 14.1%; 10—20 cm 表现为  $T_3 < T_2 < \text{CK} < T_1$ , 其中  $T_3$  和  $T_2$  较 CK 分别降低 21.5% 和 13.7%, 达显著水平 ( $p < 0.05$ ); 20—30 cm 表现为  $T_2 < T_1 < T_3 < \text{CK}$ ,  $T_2$ ,  $T_1$ ,  $T_3$  分别较 CK 降低 23.6%, 22.3%, 18.5%。由图 2 可知, 0—10 cm 土层  $T_2$  和  $T_3$  的  $\text{NH}_4^+$  含量分别比 CK 降低了 39.9% 和 35.5%, 差异达显著水平 ( $p < 0.05$ ); 20—30 cm 土层以  $T_3$  较 CK 降低 32.3% 最为显著 ( $p < 0.05$ )。由图 3 可知, 0—10 cm 土层 CK,  $T_1$  和  $T_3$  间的  $\text{K}^+$  含量较为接近,  $T_2$  高于其他处理; 10—20 cm 土层  $T_2$  较 CK 下降 14.3% 最为明显; 20—30 cm 土层,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  分别较 CK 下降 20.2%, 38.2%, 31.1%, 差异达显著水平 ( $p < 0.05$ )。由图 4 可知, 0—10 cm 土层  $T_2$ ,  $T_3$  的  $\text{Ca}^{2+}$  含量分别为 1.57 g/kg, 1.54 g/kg, 较 CK 的 1.77 g/kg 分别降低了 11.3%, 13.0%; 10—20 cm 与 0—10 cm 土层相似,  $T_2$ ,  $T_3$  分别比 CK 下降了 9.9% 和 11.9%; 20—30 cm 土层以  $T_3$  最低, 较 CK 降低了 31.3%。由图 5 可知, 0—10 cm 土层  $\text{Cl}^-$  以  $T_3$  降低程度最明显, 较 CK 下降 19.9%; 10—20 cm 土层  $T_2$ ,  $T_3$  分别较 CK 降低 7.46% 和 15.3%;

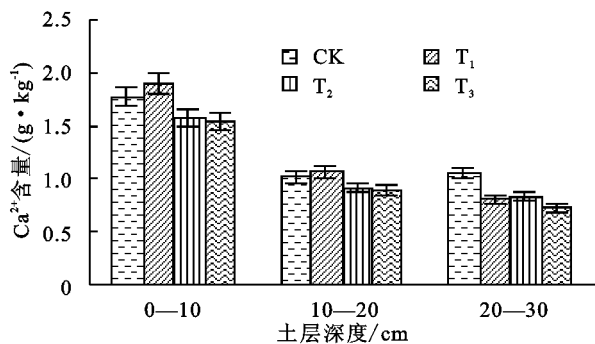
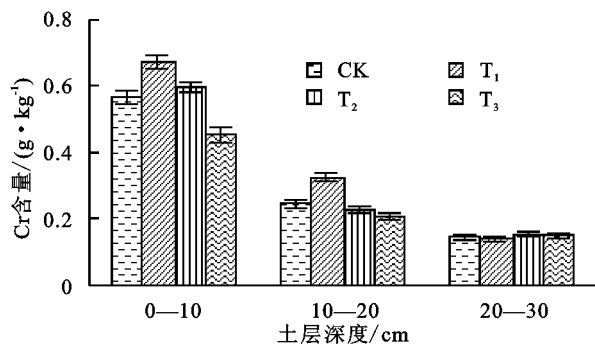
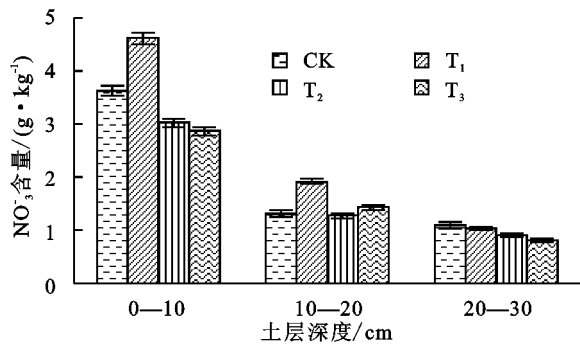
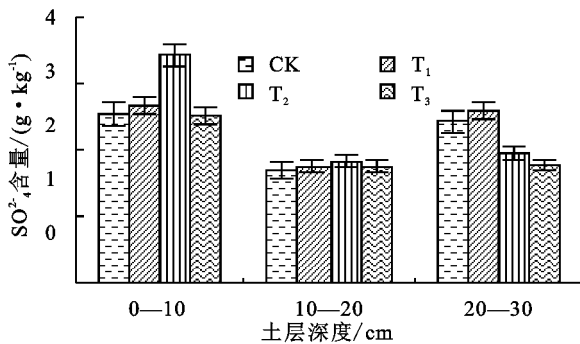
20—30 cm 土层各处理间较为接近。由图 6 可知, 0—10 cm 土层  $T_2$ ,  $T_3$  处理的  $NO_3^-$  含量分别较 CK 降低了 16.6% 和 20.0%; 10—20 cm 土层仅  $T_2$  略有降低; 20—30 cm 土层  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  分别较 CK 降低 5.72%, 17.4%, 25.7%。由图 7 可知, 0—10 cm 土层仅  $T_3$  的  $SO_4^{2-}$  略有降低; 20—30 cm 土层  $T_2$ ,  $T_3$  分别较 CK 降低 19.6% 和 27.2%, 差异显著 ( $p < 0.05$ )。从 7 种主要离子总量来看(图 8), 时,  $T_3$  在 0—10 cm, 10—20 cm 和 20—30 cm 时分别较 CK 降低了 13.5%, 0.61% 和 27.0%。

图1 不同处理 Na<sup>+</sup> 含量图2 不同处理 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 含量图3 不同处理 K<sup>+</sup> 含量

## 2.2 隔盐层对设施盐渍化土壤酶活性的影响

从 0—30 cm 土层脲酶活性来看(图 9), 与 CK 相比,  $T_1$  对脲酶活性有一定的抑制作用,  $T_2$  和  $T_3$  分别提高了 6.25% 和 7.30%; 土壤蔗糖酶各处理间差别较大(图 10),  $T_1$ ,  $T_2$  均较 CK 有所降低, 而  $T_3$  达到 1 240.6 Glu. mg/(g·24 h), 较 CK 升高了 4.70%; 就过氧化氢酶活性而言(图 11),  $T_1$  和  $T_2$  较 CK 分别

提高了 0.87% 和 1.28%, 而  $T_3$  降低了 8.53%; 土壤磷酸酶与蔗糖酶的趋势接近(图 12),  $T_1$ ,  $T_2$  均较 CK 有所降低,  $T_3$  较 CK 提高了 3.58%。

图4 不同处理 Ca<sup>2+</sup> 含量图5 不同处理 Cl<sup>-</sup> 含量图6 不同处理 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量图7 不同处理 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量

## 3 讨论

### 3.1 隔盐层对土壤主要盐离子的影响

土壤中的盐离子随着水分的蒸发一起向地表迁移, 使下层土壤的盐分不断向上层聚集。设置隔盐层

后,由于隔盐层物料和土壤毛细孔隙度的不同,使其阻断了上下土层间的水力联系,改变了土壤水分到沙层下界面时的运行速度和轨迹,使随土壤水分迁移盐离子在沙层下界面积累,盐分在上层土壤的积累减少<sup>[18]</sup>。

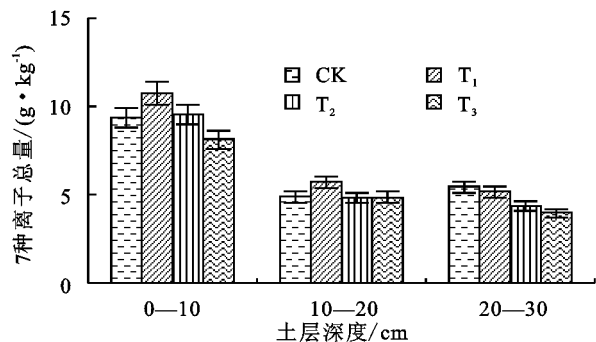


图 8 不同处理 7 种离子总含量

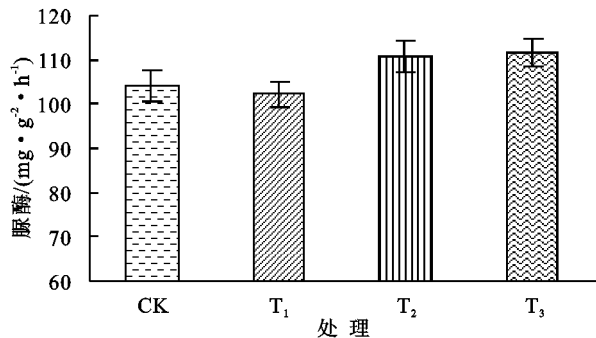


图 9 不同处理脲酶活性

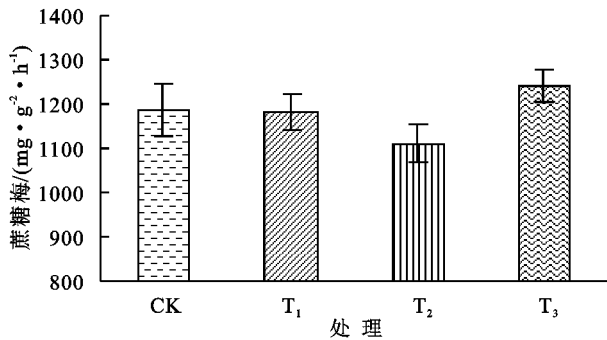


图 10 不同处理蔗糖酶活性

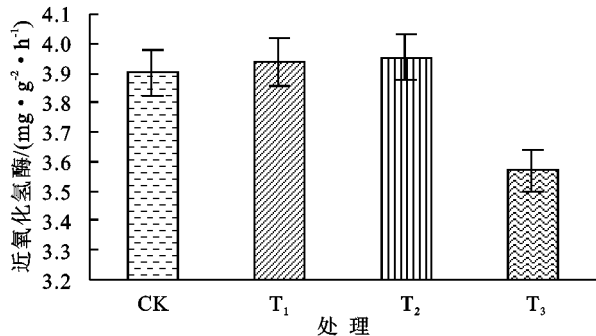


图 11 不同处理过氧化氢酶活性

砂层可以阻止水的入渗锋面向土砂界面以下渗入,直至水流在界面以上土体迅速聚积至所具有的能量大于砂层中水分的能量后,入渗水才能渗入砂层,

可见砂层的在一定程度上增大了上层土体的储水能力,起到了阻水减渗作用<sup>[9]</sup>。砂砾层(T<sub>1</sub>)在本试验中 0—30 cm 土层的隔盐效果并不明显,可能与砂砾的粒度、设施小环境等有关,需进一步试验探究。生物炭具有丰富的孔隙结构,使其拥有巨大的比表面积,是一种良好的保水材料<sup>[19]</sup>,将其作为隔盐层后,由于隔盐材料和土壤毛细孔隙度的不同,使得隔层以上的土壤水分运行到土壤—隔层界面时发生停滞,隔层以下的土壤水分迁移盐离子也在隔层下界面积累,盐分在上层土壤的积累减少。本试验中 T<sub>2</sub> 所用复合有机物料层(生物炭—菌渣)可在一定程度上降低土壤盐离子含量。T<sub>3</sub>(砂砾+复合有机物料层)为各处理中隔盐效果最优处理,0—30 cm 土层平均降盐率达 13.6%。设施土壤处于封闭状态,小气候因素明显,关于隔盐层的研究较少,在以后的研究中需进一步优化隔层参数,提高隔盐效果。

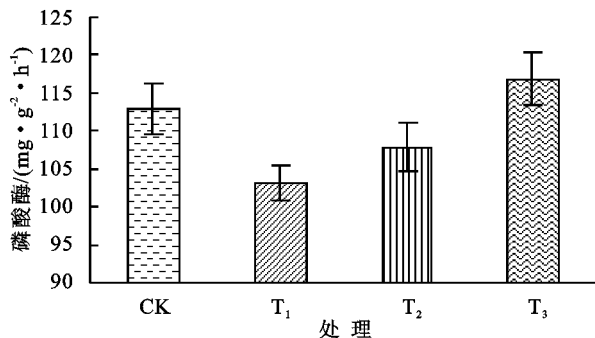


图 12 不同处理磷酸酶活性

### 3.2 隔盐层对土壤酶活性的影响

研究发现,对土壤酶活性的测定是最直接反映微生物生态状况的方法,也有研究者提出以脲酶、过氧化氢酶和磷酸酶所反映出的微生物学特性作为土壤环境质量变异的有效指标<sup>[14]</sup>。相对较高的盐含量抑制了脲酶、蔗糖酶、磷酸酶的活性,激发了过氧化氢酶活性升高。有报道称,当盐胁迫增强至一定程度时,过氧化氢酶活性降低<sup>[20]</sup>,本试验未出现该现象,这可能与盐分含量有关。T<sub>1</sub> 处理的 7 种盐离子总量高于其他处理,其过氧化氢酶也表现出相似的趋势,这也说明了盐胁迫促使过氧化氢酶活性的提高是其应激反应之一<sup>[20]</sup>。盐胁迫条件下,土壤中的微生物数量会减少,这势必会减少微生物向土壤中分泌的土壤酶量<sup>[21]</sup>;另一方面,盐分使土壤环境发生改变,盐分产生的渗透胁迫及离子毒害都会抑制土壤酶的活性<sup>[22]</sup>。T<sub>3</sub> 处理土壤含盐量较低,所受盐胁迫较弱,也表现出相似的特点,即脲酶、蔗糖酶和磷酸酶活性均有所提高。

## 4 结论

(1)在0—30 cm设施土壤土层范围内,各处理盐离子含量随着土层深度的增加而逐渐降低,说明设施土壤盐分具有表聚的特征。7种主要离子( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )总含量来看, $T_3$ (砂砾+复合有机物料层)在0—10 cm和20—30 cm土层分别降低了13.5%,27.0%,差异达显著水平( $p < 0.05$ ),表现出较好的隔盐效果; $T_1$ (砂砾层)和 $T_2$ (复合有机物料层)的隔盐效果不明显。

(2)在设施土壤0—30 cm土层范围内, $T_3$ (砂砾+复合有机物料层)处理的脲酶、蔗糖酶、磷酸酶活性达较CK分别增加了7.30%,4.70%,3.58%,同时过氧化氢酶活性降低了8.53%,说明相对较高的盐含量可以抑制设施土壤中的脲酶、蔗糖酶、磷酸酶的活性,并激发了过氧化氢酶活性升高。

### 参考文献:

- [1] 张俊侠,孙德平,司友斌.设施土壤蔬菜栽培的障碍因子研究[J].安徽农学通报,2001(4):52-54.
- [2] 张金锦,段增强.设施菜地土壤次生盐渍化的成因、危害及其分类与分级标准的研究进展[J].土壤,2011,43(3):361-366.
- [3] 夏立忠,李忠佩,杨林章.大棚栽培番茄不同施肥条件下土壤养分和盐分组成与含量的变化[J].土壤,2005,37(6):620-625.
- [4] 孙凯宁,王克安,杨宁,等.轮作模式下设施菜地主要重金属元素空间分布特征[J].山东农业科学,2016,48(11):81-84.
- [5] 杜新民,吴忠红,张永清,等.不同种植年限日光温室土壤盐分和养分变化研究[J].水土保持学报,2007,21(2):78-80.
- [6] 王金龙,阮维斌.4种填闲作物对天津黄瓜温室土壤次生盐渍化改良作用的初步研究[J].农业环境科学学报,2009,28(9):1849-1854.
- [7] 施毅超,胡正义,龙为国,等.轮作对设施蔬菜大棚中次生盐渍化土壤盐分离子累积的影响[J].中国生态农业学报,2011,7(3):548-553.
- [8] 张生田.增施生物有机肥和改良剂对设施蔬菜土壤次生盐渍化的改良效果研究[J].北方园艺,2011(12):52-54.
- [9] 张莉,丁国栋,王翔宇,等.隔沙层对盐碱地土壤水盐运动的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(2):197-200,207.
- [10] 郭相平,杨泊,王振昌,等.秸秆隔层对滨海盐渍土水盐运移影响[J].灌溉排水学报,2016,35(5):22-27.
- [11] 翟鹏辉,李素艳,孙向阳,等.隔盐层对滨海地区盐分动态及国槐生长的影响[J].中国水土保持科学,2012,10(4):80-83.
- [12] 王婧,逢焕成,任天志,等.地膜覆盖与秸秆深埋对河套灌区盐渍土水盐运动的影响[J].农业工程学报,2012,28(15):52-59.
- [13] 谢显传,张少华,王冬生,等.阿维菌素对蔬菜地土壤微生物及土壤酶的生态毒理效应[J].土壤学报,2007,44(4):740-743.
- [14] 刘云国,李欣,徐敏,等.土壤重金属镉污染的植物修复与土壤酶活性[J].湖南大学学报:自然科学版,2002,29(4):108-113.
- [15] Weretilnyk E A, Alexander K J, Drebenstedt M, et al. Main-taining methylation activities during salt stress: The involvement of adenosine kinase[J]. Plant Physiol., 2001,125(2):856-865.
- [16] Chen S L, Li J K, Eberhard F, et al. Sodium and chloride distribution in roots and transport in three poplar genotypes under increasing NaCl stress [J]. For. Ecol. Man., 2002,168(1/3):217-230.
- [17] 严昶升.土壤肥力研究法[M].北京:农业出版社,1988.
- [18] 史文娟,沈冰,汪志荣,等.蒸发条件下浅层地下水埋深夹砂层土壤水盐运移特性研究[J].农业工程学报,2005,21(9):23-26.
- [19] 姚俊卿,侯建伟,索全义,等.不同炭化条件对黑沙蒿生物炭保水性能的影响[J].北方园艺,2017(6):171-176.
- [20] 周德平,吴淑杭,褚长彬,等.盐胁迫对蔬菜地土壤微生物及土壤酶活的毒害效应[J].农业环境科学学报,2011,30(8):1602-1607.
- [21] Sardinha M, Muller T, Schmeisky H, et al. Microbial performance in soils along a salinity gradient under acidic conditions [J]. Applied Soil Ecology, 2003,23(3):237-244.
- [22] 刘善江,夏雪,陈桂梅,等.土壤酶的研究进展[J].中国农学通报,2011,27(21):1-7.