

不同废弃物对设施菜地次生盐渍化土壤的修复效果

钱晓雍¹, 沈根祥¹, 郭春霞¹, 王玲玲², 李加奎²

(1.上海市环境科学研究院, 上海 200233; 2.上海青浦现代农业园区发展有限公司, 上海 201717)

摘要:以废弃物为原料修复设施菜地次生盐渍化土壤的方法已经被很多研究所采用,但其主要针对某一种废弃物,尚未将不同废弃物在不同添加量条件下进行系统的综合比较。以畜禽粪便有机肥、水稻秸秆、壳聚糖、糠醛渣和竹炭为研究对象,通过油菜作物盆栽试验方法,比较了上述5种废弃物在不同添加量条件下对设施菜地次生盐渍化土壤的修复效果。结果表明:这5种废弃物在不同添加量条件下对设施菜地土壤可溶性盐分均有不同程度的降低作用,盐分降低率分别达到0.2%~24.7%、5.8%~38.5%、5.7%~18.0%、-2.9%~19.1%、5.8%~19.1%;土壤主要盐分离子也发生了变化,有机肥提高了土壤中 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 的含量,降低了 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 的含量;秸秆、壳聚糖和竹炭降低了土壤中 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 的含量;糠醛渣降低了土壤中 Mg^{2+} 、 NO_3^- 的含量,增加了 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 的含量。同时,5种废弃物在不同添加量条件下对油菜生物量总体上有提高作用,生物量提高率分别达到128.6%~395.4%、63.7%~82.5%、-57.1%~208.9%、64.6%~118.3%、-3.7%~2.9%。综合分析不同废弃物的修复作用及其经济成本,有机肥和秸秆具有较好的修复效果。

关键词:废弃物;设施菜地;次生盐渍化;土壤修复

中图分类号:X53 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2014)04-0737-07 doi:10.11654/jaes.2014.04.017

Reclamation of Secondary Salinized Soils in Protected Vegetable Fields Using Different Wastes

QIAN Xiao-yong¹, SHEN Gen-xiang¹, GUO Chun-xia¹, WANG Ling-ling², LI Jia-kui²

(1.Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China; 2.Shanghai Qingpu Modern Agriculture Park Development Co. Ltd., Shanghai 201717, China)

Abstract: Soil secondary salinization has restricted sustainable production of vegetables in protected fields. In pot experiment, effects of five wastes on control of soil secondary salinization in protected vegetable fields were compared. Applications of all five wastes reduced the soil salinity to some extent. The reduction rates of soil salinity were 0.2%~24.7%, 5.8%~38.5%, 5.7%~18.0%, -2.9%~19.1% and 5.8%~19.1% for animal manure, rice straw, chitosan, furfural residue and bamboo charcoal, respectively. Waste additions changed major ions in soils. In comparison with the control, applying animal manure increased K^+ , Na^+ , Ca^{2+} and Cl^- contents, whereas rice straw, chitosan and bamboo charcoal decreased the contents of K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} and NO_3^- . However, furfural residue application increased K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- and SO_4^{2-} but reduced Mg^{2+} and NO_3^- contents. Vegetable biomass was enhanced by applying all five wastes, with percentages being 128.6%~395.4%, 63.7%~82.5%, -57.1%~208.9%, 64.6%~118.3% and -3.7%~2.9% for animal manure, rice straw, chitosan, furfural residue and bamboo charcoal, respectively. Our results show that animal manure and rice straw have better performance than other wastes in terms of reclamation effects and economic costs.

Keywords: wastes; protected agriculture; secondary salinization; soil reclamation

长期以来,我国设施农业生产面积与产量一直位居世界第一,其中设施菜地作为反季节蔬菜生产的主要方式,近年来发展迅速,设施菜地面积已占我国设

施园艺总面积的95%以上^[1]。但是,设施蔬菜种植在全国范围内的快速发展也带来一些问题,主要表现在设施蔬菜生产片面追求高产和不合理的生产管理,使得设施菜地土壤可持续生产能力不断降低,尤其是土壤次生盐渍化问题,养分的过量投入、盐分的过度累积,对土壤环境质量与设施蔬菜产业可持续发展构成巨大威胁^[2-4]。

针对设施菜地土壤次生盐渍化问题,国内外相关

收稿日期:2013-03-02

基金项目:上海市环境保护局重大科研项目(沪环科 2011-51);公益性行业(环保)科研专项(201109018)

作者简介:钱晓雍(1981—),男,浙江湖州人,高级工程师,主要从事农业环境保护工作。E-mail:qianxy@saes.sh.cn

研究报告都提出了很多应对措施,如灌水洗盐、精确滴灌、轮作休耕等^[5-8],但这些措施在降低盐分的同时也存在各种弊端。灌水洗盐不但耗费大量水资源,而且因排水中含有大量的氮、磷等营养物质,对水环境造成污染风险;精确滴灌不仅成本较高,且需要良好的专业操作技术和知识水平,大面积推广存在难度;轮作休耕影响设施蔬菜连续生产从而导致总产量降低。而以废弃物为主要修复剂原料对盐渍化土壤进行改良的方法,作为经济、实用、环保的修复方式,近年来逐步得到应用,但相关研究更多地关注某一种废弃物的修复效果,尚未将不同废弃物在同一条件下进行系统的比较研究,同时各类废弃物在不同添加量条件下对土壤可溶性盐分的降低效果和对土壤主要盐分离子影响程度也有待深入剖析^[9-12]。

因此,本研究选取畜禽粪便有机肥、水稻秸秆、糠醛渣、壳聚糖和竹炭5种常见废弃物或废弃物产品作为研究对象,以油菜作为试验作物,通过盆栽试验方法,研究了上述废弃物在不同添加量条件下对土壤可溶性盐分和主要盐分离子以及作物生物量的影响,比较其对设施菜地次生盐渍化土壤的修复效果,从中筛选经济、有效的废弃物修复材料,为设施菜地土壤次生盐渍化的田间修复提供可行途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 土壤

本研究所用土壤取自上海郊区某农业园区内发生次生盐渍化的设施菜地,为青紫泥粘土。土壤可溶性盐分含量为 $5.79 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 为 6.53, 有机质含量为 $35.08 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全磷含量为 $0.69 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。主要离子含量见表 1。

表 1 供试土壤主要阴阳离子含量

Table 1 Contents of major anions and cations in soil

离子类型	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
含量/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.22	0.21	0.46	0.24	0.78	1.59	2.07

1.1.2 废弃物

本研究所用畜禽粪便有机肥和稻草秸秆均来自上海青浦现代农业园区发展有限公司,糠醛渣来自山东菏泽天冠糠醛有限公司,壳聚糖来自上海卡博工贸有限公司,竹炭来自上海吉显竹炭科技有限公司。其中,有机肥有机碳含量为 44.67%,全氮、全磷、全钾含量分别为 1.66%、0.64%、2.27%;水稻秸秆有机碳含量

为 38.01%,全氮、全磷、全钾含量分别为 0.60%、0.18%、2.10%;糠醛渣有机碳含量为 45.71%,全氮、全磷、全钾含量分别为 0.50%、0.08%、3.80%;壳聚糖有机碳含量为 44.60%,脱乙酰度 >85%,pH 为 7.40,灰分为 2.03%;竹炭固定碳含量为 87.14%,pH 为 8.95,灰分为 3.12%,比表面积 $600 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 。

1.1.3 试验作物

本研究所用试验作物为油菜 (*Brassica Campestris* L.), 属十字花科,品种为新夏青 2 号,油菜种子来自上海市农业科学院。

1.2 试验方法

试验地点为上海市环境科学研究院玻璃温室。有机肥、秸秆、糠醛渣、壳聚糖、竹炭根据相关研究报告各设置 5 种添加量^[9-12],并以不添加废弃物作为对照,5 种废弃物的 5 种添加量见表 2。每个处理和对照组都设置 3 个重复。秸秆在试验前粉碎至 1~2 cm;壳聚糖在试验前配制为 1% 的溶液,即将 1 g 壳聚糖溶解在 100 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸溶液中,磁力搅拌 2 h,使壳聚糖完全溶解。试验开始时,在每个装有约 9 kg 混匀土的花盆中播种 30 粒,花盆规格为 70 cm×21 cm×15 cm,待植物长到二叶期时,每盆疏苗至 20 株。试验中处理组和对照组均不施肥,每隔两天浇水一次,并确保水不从花盆上部或底部流出。试验进行 5 周以后油菜连根收获,洗净泥土,用纸拭干后称重,同时采集盆内混合土壤样品自然风干,除去杂质后研磨过筛备用。

表 2 5 种废弃物不同处理添加量

Table 2 Application amounts of five wastes used in experiment

类型	不同处理添加量/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$				
	T1	T2	T3	T4	T5
有机肥	5	10	15	20	25
秸秆	1	2	3	4	5
糠醛渣	20	40	60	80	100
1%壳聚糖酸溶液	12	24	36	48	60
竹炭	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0

1.3 分析方法

依照《土壤农化分析》^[13]进行各项指标的分析测定,pH 测定采用电位法,可溶性盐分测定采用重量法,有机质测定采用重铬酸钾-硫酸外加热法,全磷测定采用硫酸-高氯酸消煮法,K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺等阳离子测定采用原子吸收分光光度法,Cl⁻、SO₄²⁻、NO₃⁻等阴离子测定采用离子色谱法。数据处理采用 SPSS 11.5 统计分析软件。

此外,采用盐分降低率和生物量提高率分别表征不同废弃物对土壤可溶性盐分的降低效果和对作物生物量的提高作用,其计算公式如下:

盐分降低率=(对照组盐分-处理组盐分)/对照组盐分 \times 100%

生物量提高率=(处理组生物量-对照组生物量)/对照组生物量 \times 100%

2 结果与分析

2.1 废弃物不同添加量对次生盐渍化土壤主要阳离子的影响

5种废弃物不同添加量对次生盐渍化土壤主要阳离子的影响见图1。

有机肥和糠醛渣处理组均能提高土壤中 Na^+ 含量,并总体上随着添加量的增加而上升,与对照组相比 Na^+ 平均含量分别上升了62.2%和25.9%;秸秆和竹炭处理组则与之相反,壳聚糖处理组在各个添加量条件下 Na^+ 含量均低于对照组,且随着添加量的增加而逐步升高,但未达到显著性差异($P>0.05$)。有机肥处理组 Na^+ 含量的变化主要是由于畜禽饲料含有的大量矿物盐随粪便排出导致畜禽粪便有机肥中 Na^+ 含量较高^[4];糠醛渣处理组则与糠醛渣本身含有大量的 Na^+ 、

Ca^{2+} 、 K^+ 等离子有关^[15];秸秆处理组可能与 Na^+ 被作物或微生物利用以及秸秆分解过程中转化为难溶态有关^[16];竹炭处理组主要由于竹炭对阳离子的吸附作用^[11];壳聚糖处理组则由于土壤中主要阳离子与壳聚糖通过氨基和羟基形成稳定的配位化合物,从而减少了可用于交换的阳离子含量^[17]。

K^+ 的变化规律及原因与 Na^+ 基本一致,有机肥和糠醛渣处理组 K^+ 平均含量与对照组相比分别上升了84.9%、249.9%。但是秸秆处理组 K^+ 含量在高添加量条件下略有上升趋势,主要与秸秆本身K元素含量较高有关,秸秆在进入土壤后腐熟分解释放出有效养分,土壤中 K^+ 含量逐步上升^[18]。

有机肥处理组 Ca^{2+} 含量随着添加量的增加呈先下降后上升的趋势,秸秆处理组 Ca^{2+} 含量随着添加量的增加呈先升后降的趋势,糠醛渣处理组 Ca^{2+} 含量随着添加量的增加而升高,壳聚糖处理组 Ca^{2+} 含量均低于对照组,且随着添加量的增加逐步升高,但未达到显著性差异($P>0.05$),竹炭处理组 Ca^{2+} 含量随着添加量的增加而降低。有机肥处理组 Ca^{2+} 含量的变化主要与有机肥本身含有这些离子有关;秸秆、糠醛渣、壳聚糖和竹炭处理组则与 Na^+ 的变化原因基本一致。

各类废弃物处理组 Mg^{2+} 含量均低于对照组,其

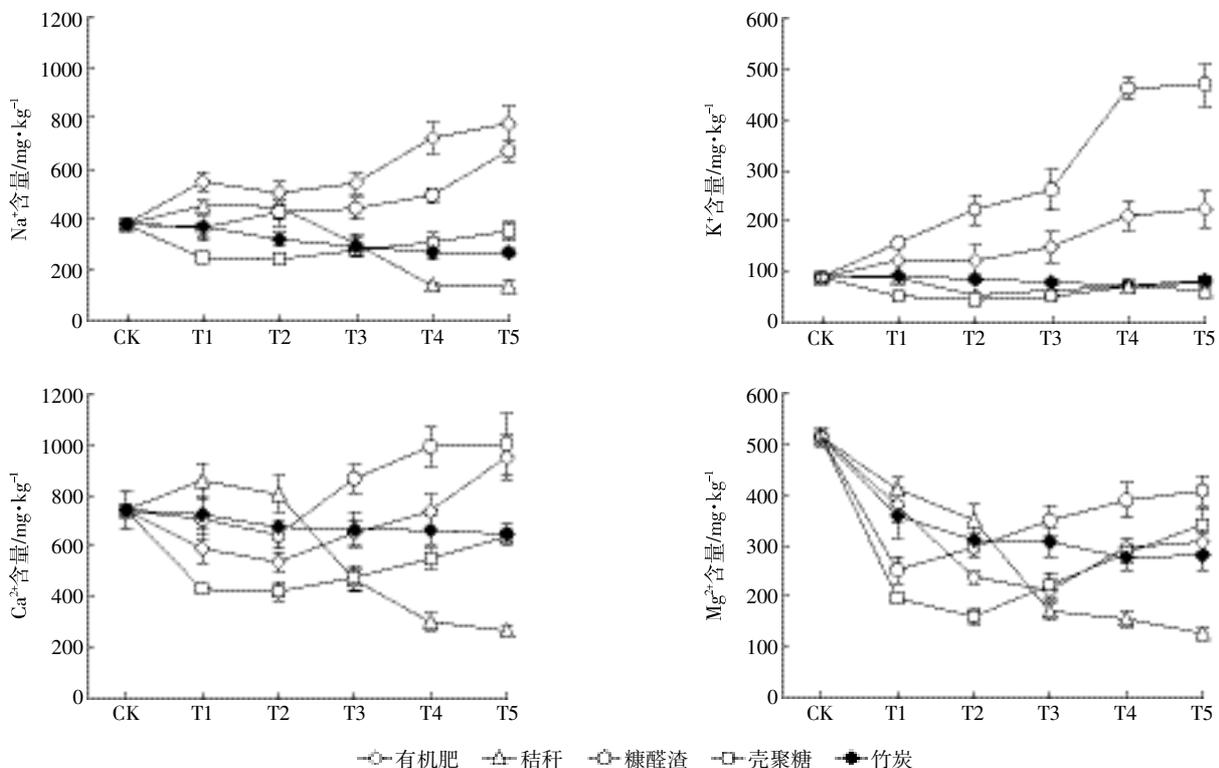


图1 5种废弃物不同添加量对土壤主要阳离子的影响

Figure 1 Soil major cations as influenced by five wastes at different amounts

中:有机肥处理组 Mg^{2+} 含量随着添加量的增加先降后升, 秸秆处理组 Mg^{2+} 含量随着添加量的增加而降低, 糠醛渣处理组 Mg^{2+} 含量随着添加量的增加而升高, 壳聚糖处理组 Mg^{2+} 含量均低于对照组, 且随着添加量的增加而逐步升高, 但未达到显著性差异 ($P>0.05$), 竹炭处理组 Mg^{2+} 含量随着添加量的增加而降低。有机肥、秸秆、壳聚糖和竹炭处理组则与 Na^+ 和 Ca^{2+} 的变化原因基本一致; 糠醛渣处理组则可能由于在糠醛渣添加进入后土壤 pH 降低, $CaCO_3$ 与 H^+ 发生阳离子代换反应形成可溶性钙, 增加的 Ca^{2+} 置换出土壤胶体吸附的 Na^+ , 同时生成的 HCO_3^- 与 Mg^{2+} 反应生成 $MgCO_3$ 和 CO_2 , 使得 Mg^{2+} 含量下降^[19]。

2.2 废弃物不同添加量对次生盐渍化土壤主要阴离子的影响

5 种废弃物不同添加量对次生盐渍化土壤主要阴离子含量的影响见图 2。

有机肥和糠醛渣处理组均能提高土壤 Cl^- 含量, 与对照组相比 Cl^- 平均含量分别上升了 24.1% 和 27.6%; 秸秆和竹炭处理组 Cl^- 含量则随着添加量的增加逐步下降, 与对照组相比 Cl^- 平均含量分别下降了 23.6% 和 21.9%; 壳聚糖处理组 Cl^- 含量则随其添加量的增加先降后升, 但均低于对照组。有机肥处理组 Cl^- 含量的变化与前面提到的畜禽饲料中添加矿物盐有关; 糠醛渣本身含有大量的矿物质成分, 施加到土壤会导致 Cl^- 的增加^[19]; 壳聚糖处理组主要由于壳聚糖对 Cl^- 具有很强的吸附作用; 竹炭处理组 Cl^- 含量的变化原因则与 Na^+ 基本一致。

有机肥、秸秆、糠醛渣、壳聚糖的 5 种添加量均能显著降低土壤中 NO_3^- 含量 ($P<0.05$), 与对照组相比 NO_3^- 平均含量分别下降了 33.8%、51.5%、78.2% 和 56.5%; 竹炭的 5 个添加水平也能降低 NO_3^- 的含量, 但未达到显著水平 ($P>0.05$)。秸秆和竹炭处理组中, NO_3^- 的含量随着添加量的增加而降低, 有机肥、糠醛渣、壳聚糖处理组中 NO_3^- 的含量则随着添加量的增加呈先降后升的趋势。 NO_3^- 的下降除了作物吸收以外, 还可能由于土壤中添加废弃物后土壤肥力得到改善, 延缓了土壤中铵态氮的硝化过程^[20], 而秸秆腐熟过程中微生物固氮是秸秆处理组中 NO_3^- 下降的主要原因^[21]。

除糠醛渣外, 其他 4 种废弃物均能轻微降低土壤中 SO_4^{2-} 的含量, SO_4^{2-} 的含量随 4 种废弃物添加量的增加基本呈稳定趋势, 说明这几种废弃物对 SO_4^{2-} 含量没有显著影响。在糠醛渣处理组中, SO_4^{2-} 的含量随糠醛渣添加量的增加而大幅增加, 这与生产糠醛过程中加

入了大量的硫酸有关。土壤中的 SO_4^{2-} 能够促进作物对磷的吸收, 一般土壤中 C:N:S 为 130:10:1.3 左右^[22], 添加废弃物后总体上能够降低土壤中硫的含量, 实现土壤中养分平衡, 避免对作物的单盐毒害。

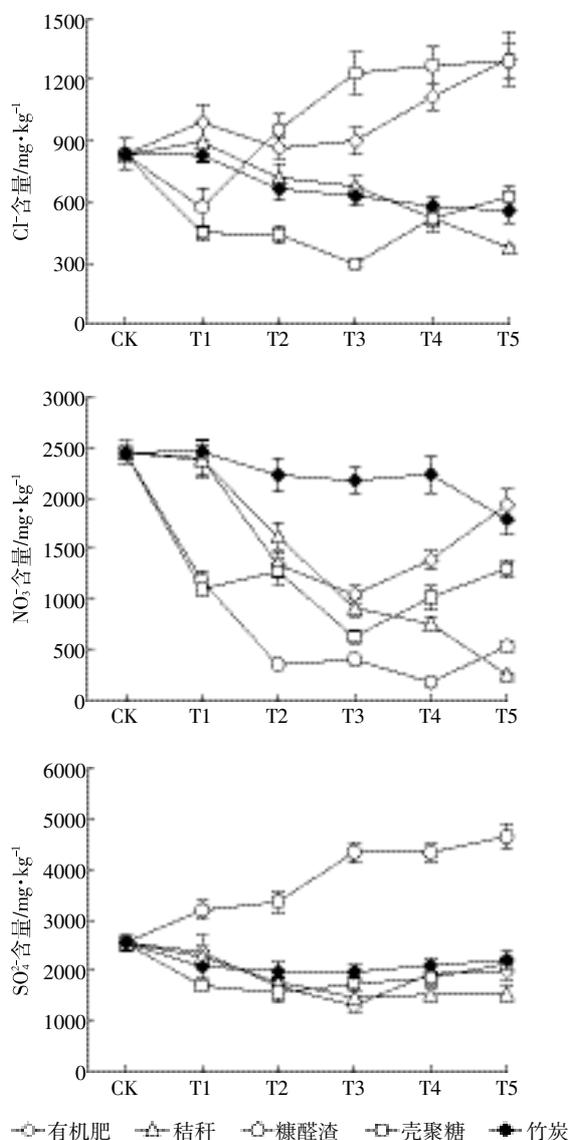


图 2 5 种废弃物不同添加量对土壤主要阴离子的影响

Figure 2 Soil major anions as influenced by five wastes at different amounts

2.3 废弃物不同添加量对次生盐渍化土壤盐分及作物产量的影响

5 种废弃物对土壤可溶性盐分和油菜生物量的影响如图 3 所示。

秸秆处理组中可溶性盐分随添加量的增加而逐渐降低, 有机肥、糠醛渣、壳聚糖、竹炭处理组中盐分则随添加量的增加呈先下降后上升的趋势。5 种添加

量条件下土壤可溶性盐分与对照组相比,有机肥处理组分别降低 0.2%、20.4%、24.7%、9.3%、5.8%, T2、T3、T4 与对照组相比达到显著性差异($P<0.05$),由于有机肥本身也含有较高的盐分,当施用过量时有加重次生盐渍化的风险^[13]。秸秆处理组盐分分别降低 5.8%、9.6%、21.1%、38.5%、47.3%, 5 种添加量均与对照组差异显著($P<0.05$);壳聚糖处理组分别降低 5.7%、12.9%、18.0%、14.3%、10.0%, T3 与对照组差异显著($P<0.05$);糠醛渣处理组分别降低 19.1%、4.1%、5.0%、3.4%、-2.9%,仅 T1 与对照组差异显著($P<0.05$);竹炭处理组分别降低 5.8%、13.9%、19.1%、19.1%、18.7%, T2、T3、T4、T5 与对照组达到显著性差异($P<0.05$)。除糠醛渣外,其他 4 种废弃物在 5 种添加量条件下均能降低土壤可溶性盐分,缓解盐分对作物的胁迫作用。

有机肥、秸秆、壳聚糖处理组在 5 种添加量条件下油菜生物量呈现先增后降的趋势,均高于对照组且差异显著($P<0.05$),生物量提高率分别达到 128.6%~395.4%、63.7%~82.5%、64.6%~118.3%。有机肥中含有植物生长所需的氮磷营养物质,在植物生长过程中缓慢释放,能够改善植物根系环境,并促进作物的生长发育。但是,有机肥过多施用也会导致耕作层土壤盐分过高,影响作物生长。秸秆在腐熟过程中会利用土壤中过剩的盐分使水势上升,促进植物对水分和养分的吸收。但当其施用过量时,秸秆在腐熟过程中对氮素的需求增加,从而与作物争夺氮素,也会对作物生长产生不利影响^[16]。壳聚糖能够促进土壤氮向有效态转化,抑制土壤病原菌生长,增强作物免疫力,从而增加作物产量^[11,17]。糠醛渣处理组生物量提高率从-57.1%到 208.9%不等,在 T1、T2 添加量条件下油菜生物量与对照组相比显著增加,随着糠醛渣添加量的增加,在 T3、T4、T5 添加量条件下,油菜生长受到抑制,生物量明显降低。竹炭处理组生物量提高率仅为-3.7%~2.9%,与对照组相比均未达到显著差别($P>0.05$)。

2.4 废弃物不同添加量对次生盐渍化土壤修复效果的综合比较分析

采用各类废弃物修复设施菜地次生盐渍化土壤,不仅要考虑其对土壤可溶性盐分的降低效果和对作物生长的促进作用,还要从实际应用的角度出发考虑其经济成本。因此,通过 5 种废弃物不同添加量对土壤可溶性盐分的降低效果、对作物生长的促进作用以及废弃物购买成本(有机肥、秸秆、糠醛渣、壳聚糖、竹炭分别按照市场价格 400、400、100、100 000、3000 元·t⁻¹ 进行计算)的比较分析(图 4)可以看出,有机肥处

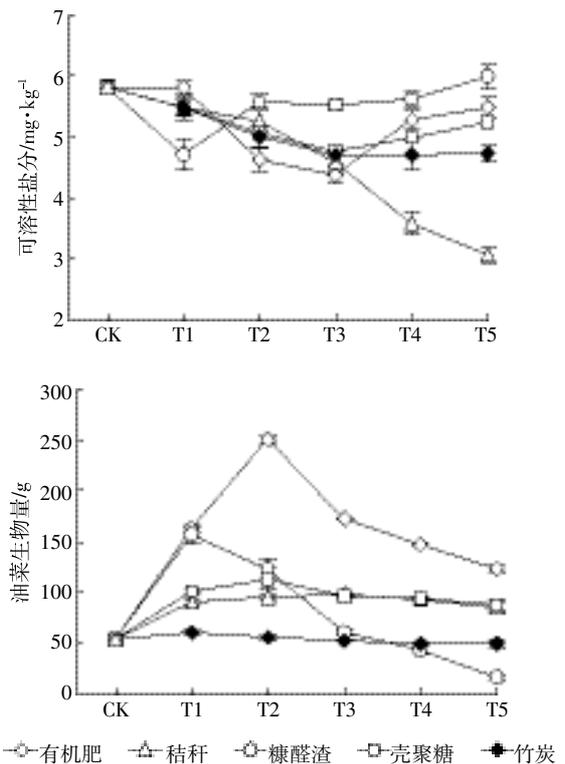


图 3 5 种废弃物不同添加量对土壤可溶性盐分及油菜生物量的影响

Figure 3 Soil salinity and rape biomass as influenced by five wastes at different application amounts

理组对作物生物量的提高具有显著效果,秸秆处理组则对可溶性盐分的降低具有明显作用,且秸秆处理组所需的经济成本也最低。在综合考虑修复作用和经济成本的情况下,有机肥处理组的 T2、T3 添加量以及秸秆处理组的 T4、T5 添加量对设施菜地次生盐渍化土壤具有较好的修复效果。

3 讨论

畜禽粪便有机肥、水稻秸秆、壳聚糖对土壤的修复效果与现有的研究结论基本一致^[9-12],5 种添加量均能不同程度地降低土壤可溶性盐分,并显著增加油菜生物量。与其他废弃物相比,竹炭处理组的 5 种添加量对植物生长的促进作用不显著,与傅秋华等^[23]的研究略有差异,可能与供试作物类型及竹炭颗粒尺寸的不同有关。罗成科等^[24]利用糠醛渣改良重度盐碱土的结果表明,当糠醛渣添加量在 3~11 g·kg⁻¹ 时,脱盐率随着糠醛渣添加量的增加而提高,而在本次试验中,糠醛渣添加量在 20 g·kg⁻¹ 时仍取得了良好的除盐效果,当再增加添加量时,土壤盐分上升,植物的生长受到严重抑制。这表明糠醛渣对于次生盐渍化土壤有一

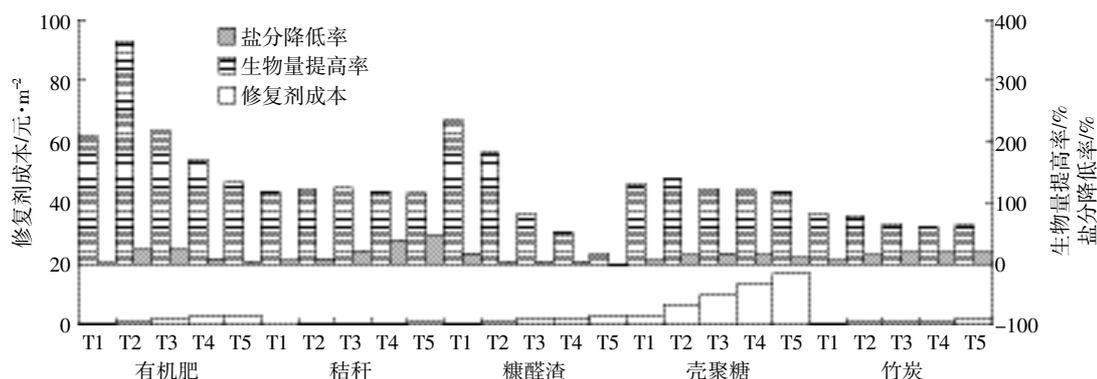


图4 5种废弃物不同添加量修复效果和经济成本综合比较

Figure 4 Comparisons of reclamation effects and economic costs of five wastes at different amounts

定的修复效果,可以通过进一步的试验,筛选出更适宜的添加量。同时,在试验研究过程中,由于各类废弃物自身的基本性质差异较大、土壤中各种离子的迁移转化规律不一,因此有关不同废弃物对土壤盐分主要阴阳离子的影响机理有待深入研究。

本次试验是利用盆栽完成的,添加废弃物未能与其他农艺措施如深耕等结合起来,盐分也无法向下迁移,作物的生长环境与田间有较大的差异,其植株盐分吸收对试验结果的影响也尚未进行研究,因此在大面积推广前还需进行田间试验,获得适合实际生产情况的最佳方案^[25-26]。另外,长期施用废弃物对作物品质、土壤生态环境的影响也需要进一步深入研究。

4 结论

在设施菜地次生盐渍化土壤中添加畜禽粪便有机肥、水稻秸秆、糠醛渣、壳聚糖和竹炭,能够改变 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 等土壤主要阴阳离子的比例,降低其中大部分离子的含量,从而降低土壤可溶性盐分,并通过改善作物根系环境促进作物对离子的均衡吸收,不同程度地提高作物产量。

有机肥和秸秆分别对作物产量提高和土壤可溶性盐分降低具有良好效果,在综合考虑修复作用和经济成本的情况下,添加有机肥 $10\sim 15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 或秸秆 $4\sim 5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 对设施菜地次生盐渍化土壤具有良好的修复效果,可以为利用废弃物修复设施菜地次生盐渍化土壤的田间验证试验提供参考依据。

参考文献:

[1] 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 Ting-ting, SHAO Xiao-hou. Improvement effect of subsurface drainage on secondary salinization of greenhouse soil and tomato yield[J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(3): 81-86.

[2] 王辉,董元华,李德成,等.不同种植年限大棚蔬菜土壤养分状况研究[J].土壤,2005,37(4):460-464.

WANG Hui, DONG Yuan-hua, LI De-cheng, et al. Nutrient variation in plastic greenhouse soil with the years of cultivation[J]. *Soils*, 2005, 37(4):460-464.

[3] 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.

DU Xin-min, WU Zhong-hong, ZHANG Yong-qing, et al. Study on changes of soil salt and nutrient in greenhouse of different planting years[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(2):78-80.

[4] 沈根祥,杨建军,黄沈发,等.塑料大棚盐渍化土壤灌水洗盐对水环境污染负荷的研究[J].农业工程学报,2005,21(1):124-127.

SHEN Gen-xiang, YANG Jian-jun, HUANG Shen-fa, et al. Water pollution load of saliferous soil washed by water in plastic greenhouse[J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(1):124-127.

[5] 曾希柏,白玲玉,苏世鸣,等.山东寿光不同种植年限设施土壤的酸化与盐渍化[J].生态学报,2010,30(7):1853-1859.

ZENG Xi-bai, BAI Ling-yu, SU Shi-ming, et al. Acidification and salinization in greenhouse soil of different cultivating years from Shouguang City, Shandong[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7):1853-1859.

[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.

WANG Jin-long, RUAN Wei-bin. Study of the Improvement effects of four catch crops on the secondary salinization of Tianjin cucumber greenhouse soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(9): 1849-1854.

[7] 郭春霞,沈根祥,黄丽华,等.精确滴灌施肥技术对大棚土壤盐渍化和氮磷流失控制的研究[J].农业环境科学学报,2009,28(2):287-291.

GUO Chun-xia, SHEN Gen-xiang, HUANG Li-hua, et al. Control of soil salinization and reduction of N & P loss with drip fertigation in greenhouse[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(2):287-291.

- [8] 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, 19(3):548-553.
SHI Yi-chao, HU Zheng-yi, LONG Wei-guo, et al. Effect of crop rotation on ion accumulation in secondary salinization soil of vegetable field in greenhouse[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(3): 548-553.
- [9] 李尚科, 沈根祥, 郭春霞, 等. 有机肥及秸秆对设施菜田次生盐渍化土壤修复效果研究[J]. 广东农业科学, 2012, 2:60-62, 73.
LI Shang-ke, SHEN Gen-xiang, GUO Chun-xia, et al. Effect of manure and straw on secondary salinity soil of greenhouse[J]. *Guangdong Agricultural Science*, 2012, 2:60-62, 73.
- [10] 王素芬, 苏东海, 周凌云. 废物糠醛渣的农业利用研究进展[J]. 河北农业科学, 2009, 13(11):97-99.
WANG Su-fen, SU Dong-hai, ZHOU Ling-yun. Research progress of agricultural utilization of furfural residue[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2009, 13(11):97-99.
- [11] 刘桂智, 朱英波, 杜金有, 等. 壳聚糖在农业上的应用研究进展[J]. 中国农学通报, 2007, 23(8):377-381.
LIU Gui-zhi, ZHU Ying-bo, DU Jin-you, et al. Research advances of chitosan's application in agriculture[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(8):377-381.
- [12] 钟哲科, 李伟成, 刘玉学, 等. 竹炭的土壤环境修复功能[J]. 竹子研究汇刊, 2009, 28(3):5-8.
ZHONG Zhe-ke, LI Wei-cheng, LIU Yu-xue, et al. Soil environmental remediation functions of bamboo charcoal[J]. *Journal of Bamboo Research*, 2009, 28(3):5-8.
- [13] 史瑞和, 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 二版. 北京: 农业出版社, 1992:101-137.
SHI Rui-he, BAO Shi-dan. Soil agro-chemical analysis[M]. 2nd Edition. Beijing: Agriculture Press, 1992:101-137.
- [14] Yong C L, Jin S, Miroslav N, et al. Organic manure stimulates biological activity and barley growth in soil subject to secondary salinization [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37:1185-1195.
- [15] 王志平. 重度盐碱地的糠醛渣改良与植物修复初步研究[D]. 东北师范大学, 2005.
WANG Zhi-ping. Study on the melioration with furfural residue and the phytoremediation of the strongly saline-alkali soil[D]. Northeast Normal University, 2005.
- [16] 王丽娜. 黄麻秸秆还田及施用有机肥对滨海盐土的改良试验[D]. 南京林业大学, 2009.
WANG Li-na. Effects of application of jute straw and organic fertilizers on the coastal saline soil[D]. Nanjing Forestry University, 2009.
- [17] 胡祥, 王瑞霞, 奥岩松. 壳聚糖对土壤理化性状的影响[J]. 土壤通报, 2006, 36(1):68-72.
HU Xiang, WANG Rui-xia, AO Yan-song. Effects of chitosan on soil physical and chemical properties[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 36(1):68-72.
- [18] 于占东, 宋述尧. 非腐解有机物配施生物菌剂对设施土壤理化性质的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2001, 23(4):69-71, 74.
YU Zhan-dong, SONG Shu-yao. Effects of undecomposable organic materials mixed with biopreparate on the physical and chemical properties of greenhouse soil[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2001, 23(4):69-71, 74.
- [19] 杨柳青, 付明鑫. 糠醛渣对苏打盐渍土的改良效果研究[J]. 土壤肥料, 1992(1):13-18.
YANG Liu-qing, FU Ming-xin. The study on the effect of furfural residue on the soda saline soil[J]. *Soils and Fertilizers*, 1992(1):13-18.
- [20] 刘玉杰, 韩建国, 杨艳, 等. 施肥对草地早熟禾草坪质量、剪草量及蒸散量的影响[J]. 中国草地, 2003, 25(4):50-55.
LIU Yu-jie, HAN Jian-guo, YANG Yan, et al. Effects of fertilization on turf quality, clipping yield and evapotranspiration rate of kentucky bluegrass[J]. *Grassland of China*, 2003, 25(4):50-55.
- [21] 杜连凤, 刘文科, 刘建玲. 三种秸秆有机肥改良土壤次生盐渍化的效果及生物效应[J]. 土壤通报, 2005, 36(3):309-312.
DU Lian-feng, LIU Wen-ke, LIU Jian-ling. Effects on rape biomass and salty concentration of salinity soil applied with three straw manures and effective dose[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(3): 309-312.
- [22] 铃木皓. 硫的生理功能[J]. 江西农业大学学报, 1983(增刊1):34-40.
LIN Mu-hao. The physiological function of sulfur[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 1983(Suppl1):34-40.
- [23] 傅秋华, 张文标, 钟泰林, 等. 竹炭对土壤性质和高羊茅生长的影响[J]. 浙江林学院学报, 2004, 21(2):159-163.
FU Qiu-hua, ZHANG Wen-biao, ZHONG Tai-lin, et al. Bamboo charcoalps effect on the soil characteristics and *Fescue arundinacea* growth [J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2004, 21(2):159-163.
- [24] 罗成科, 吕雯, 许兴, 等. 利用糠醛渣改良银川北部碱化土壤的效果[J]. 江苏农业科学, 2008(3):232-234.
LUO Cheng-ke, LÜ Wen, XU Xing, et al. Effects of furfural residue modified the alkaline soil of North Yinchuan[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2008(3):232-234.
- [25] 王春娜. 植物耐盐性分析及对土壤特征的适应研究[D]. 东北林业大学, 2005.
WANG Chun-na. Research of salt tolerance and soil characteristics[D]. Northeast Forestry University, 2005.
- [26] 杨全刚. 改良剂组合对盐碱土改良机理及对植物耐盐性影响的研究[D]. 山东农业大学, 2004.
YANG Quan-gang. Mechanism of ameliorant combinations ameliorating saline-alkali soil and effect of ameliorant combinations on plant salt-tolerance[D]. Shandong Agriculture University, 2004.