文章编号: 1001 －4829( 2018) 4 －0808－09 **DOI**:10．16213/j．cnki．scjas．2018．4．027

设施硫基型盐渍化土壤修复技术研究

吴 星1，赵 虎1 ，苏天明2，王 萌1，赵曾菁1 ，李 琴2，

宋奇琦3，龚明霞1，何 志1，王日升1 \*

（1．广西农业科学院蔬菜研究所，广西 南宁 530007;2．广西农业科学院农业资源与环境研究所，广西 南宁 530007;3．广西大学 农学院，广西 南宁 530004）

摘 要:**【**目的**】**研究泡水洗盐和轮作吸盐对设施盐渍土的修复效果，为广西设施土壤盐渍化修复提供参考。【方法**】**以设施硫基 型轻度盐渍土为对象，采用免耕泡水、翻耕泡水洗盐和轮作吸盐处理盐渍土，测定土壤可溶性盐**、**o2—、养分、理化性状及微生物数 量,分析洗盐和吸盐处理对上述指标的影响。【结果**】**免耕泡水5 d处理的土壤可溶性盐和SO4-含量显著降低，养分下降率总和 最低**。**轮作芝麻处理的土壤可溶性盐**、**o2—、总养分、总交换性阳离子含量均降低最多，且显著高于其他处理;土壤总孔隙度、微生 物总数增加最多，且显著高于其他处理"免耕泡水5 d +轮作芝麻”处理轻度设施盐渍土，可溶性盐含量降低60.00 %以上，辣 椒、苦瓜产量显著提高【结论**】**免耕泡水5 d处理的洗盐率高、土壤养分下降率低、省时省工，是最优的洗盐处理；芝麻吸收盐分 和养分能力强，改善土壤理化性状及微生态环境效果好，是修复设施硫基型盐渍土理想的植物"免耕泡水5 d +轮作芝麻”组合 修复轻度设施盐渍土效果好**。**

关键词:设施土壤;盐渍化;硫基型;免耕泡水洗盐;轮作吸盐

中图分类号:S343.4； S156.4 文献标识码:A

Remediation Technology for Salinization of Sulfate-type Facility Soil

WU Xing1 ，ZHAO Hu1，SU Tian-ming2，WANG Meng1，ZHAO Zeng-jing1，LI Qin2，

SONG Qi-qi3, GONG Ming-xia1, HEZhi1, WANG Ri-sheng1 \*

(1. Vegetable Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Guangxi Nanning 530007, China； 2. Agricultural Resource and Environmental Research Institute， Guangxi Nanning 530007， China; 3. College of Agriculture， Guangxi University， Guangxi Nanning 530004, China)

Abstract: 【Objective**】** To provide a reference for remediating facility soil salinization in Guangxi, remediation effects of salt leaching and salt absorbing by rotation on facility saline soil were studied.**【**Method**】** With slight sulfate-type facility saline soil as research object which were treated with salt leaching by soaking in water with no tillage, tillage and salt absorbing by rotation, the content of soluble salt, SO42 － , nutri­ents, physicochemical characters and microbial quantities of saline soil were determined, and the effects of salt leaching and salt absorbing by rotation on the indexes above were analyzed.**【**Result**】** The content of soluble salt and SO24 － decreased significantly, the drop rate of total nu­trient content was the lowest in the treatment of soaking in water with no tillage for 5 days. In the treatment of rotation sesame, the content of soluble salt, SO42 － , total nutrients and total exchangeable cations in soil decreased the most, and significantly higher than that of other treatments, but the total soil porosity and number of microorganisms increased the most, and significantly higher than that of other treat­ments. After treatment with soaking in water with no tillage for 5 days and rotation sesame, the soluble salt content in slight facility saline soil decreased above 60. 00 % , and the yield of bitter gourd and pepper were increased significantly.**【**Conclusion**】**The best treatment was soa­king in water with no tillage for 5 days because of the high salt leaching rate, low decrease rate of soil nutrients, time-saving and labor-sav-

ing. Sesame not only had strong ability to absorb salt and nutrients,

收稿日期:2017－12－05

基金项目：广西科技重大专项项目（桂科AA17204041）；广西科 学研究与技术开发计划项目（ 桂 科 AD17129042; 桂 科 AB16380065） ; 南宁市科学研究与技术开发计划项目 （20162327）;广西农业科学院科技发展基金项目（桂农科 2017JM48） ;广西农业科学院基本科研业务专项项目 （2015YT68）

作者简介:吴 星（1985－）,男,安徽萧县人,助理研究员,研究 方向蔬菜栽培学, E-mail: wxscs@ gxaas. net, \* 为通讯作者,王日 升, E-mail: shengriwang@ 126. com**。**

but also improved soil physicochemical characters and micro ecological environment. So it was an ideal rotation plant for remediating sulfate-type facility saline soil. And the combination treatment of soaking in water with no tillage for 5 days and rotation sesame were effective for remediating slight facility saline soil.

Key words: Facility soil; Salinization; Sulfate-type; Salt leac­hing by soaking in water with no tillage; Salt absorbing by rota­tion

【研究意义】据统计,我国设施蔬菜播种面积 已由2010年的344万hm2提高到2016年的548万 hm2［1，设施蔬菜面积占蔬菜总面积的21.50 %目*。* 设施蔬菜生产效益高、资源耗费少，倍受种植者青 睐［1］，其在保证蔬菜产品的周年供应，促进城乡居 民就业和农民增收，推动供给侧改革背景下的农业 结构调整等方面做出了巨大贡献。 但由于土壤复种 指数高，施肥量大，缺少自然降水淋洗，致使设施蔬 菜土壤盐渍化程度逐年加重［3－4］，严重阻碍了设施 蔬菜产业的可持续发展。 据统计，当前全球约有10 亿 hm2 盐渍化土壤［5］，我国盐碱地面积约为3300 万hm20 ,广西80 %以上的设施土壤属于轻微硫基 型盐渍化土壤，面积约1.64万hm2，主要分布在南 宁市、宜州市和北海市［7 。 设施土壤盐渍化已成为 制约农业生产的重要限制因子［8 ，开展设施土壤盐 渍化修复技术研究对于设施蔬菜产业的健康发展意 义重大。【前人研究进展】针对设施土壤盐渍化问 题，国内外学者围绕化学、农业、工程和生物等措施 均有研究。 利用碳调节剂、高聚物、石膏、脱硫废弃 物、硫酸等化学改良剂对盐渍土进行改良的报道有 很多［9 ，但化学改良剂成本高，副作用明显［10 ，在实 际推广应用中难度大。 而在应用水肥管理、合理种 植、表层覆盖、客土等农业措施改良盐渍土时［11 ，由 于农户缺乏科学的水肥管理及栽培技术，增施有机 肥、地膜覆盖和客土修复等又大幅增加生产成本，因 此推广效果甚微。 工程措施降低土壤盐分的效果显 著，是当前研究的热点，也是当前修复盐渍土较理想 的措施。 例如，明沟排水洗盐的脱盐率达25. 30 %［12 ，而暗管排水洗盐的脱盐率更高为34 . 59 % M，灌水洗盐的土壤脱盐率高达41.84 % -77. 50 %［14－15 ，此外灌水洗盐的脱盐率还跟时间呈正 相关关系［16 。 生物措施是改良不同程度、不同类型 盐渍土的有效方法，在轻度、中度、重度甚至是弃耕 盐碱土 上 种植碱蓬 ( Suaeda salsa) 、苜蓿 ( Medicago sativa ) 、田菁( Sesbania cannabina ) 、苏丹草( Sorghum sudanense) 、猪毛菜( Salsola collina Pall) 等耐盐植物 均有较好的脱盐效果［17－18 ，在滨海盐土、草甸盐土、 河西走廊盐土、盐碱地上种植碱茅草( Puccinellia *distans* (L. ) *parl*)、鲁梅克斯(*Rumex patientia)*、苜 蓿、碱蓬后，土壤脱盐率高达60.00 %以上［19－20 ，土 壤容重降低，总空隙度增加，有机质、全氮、速效氮、 有效磷、有效钾的含量及细菌、真菌、放线菌的数量 增加［20－22 。 可见，种植耐盐植物不但可以降低土壤 盐分含量，还可以改善土壤理化性状，增加土壤养分 和有机质含量，提高土壤微生物活性，是修复盐渍土 的理想措施。【本研究切入点】广西属热带亚热带 季风气候，春季和秋冬季是设施蔬菜的生产季节，夏 季高温高湿为休棚期，修复盐渍化土壤一般在夏季 进行。 生产上多采用简单的泡水处理或种植耐盐作 物多年修复盐渍土，存在效果差、易返盐、耗时久等 问题，缺乏洗盐率高、养分下降率低、省时省工、改善 土壤理化性状效果好的盐渍化土壤修复技术，针对 广西设施硫基型轻微盐渍化土壤修复技术的研究尚 未见报道。【拟解决的关键问题】针对广西设施硫 基型盐渍化土壤，研究免耕泡水、翻耕泡水洗盐和轮 作6 种作物吸盐处理对设施盐渍化土壤可溶性盐、 so2-、养分含量、理化性状、微生物数量等的影响， 探讨泡水洗盐和轮作吸盐修复盐渍化土壤的效果， 以期为设施土壤盐渍化修复提供参考依据。

**1** 材料与方法

1. **1** 试验材料

吸盐试验供试作物:苏丹草( 新苏3 号，新疆农 业大学选育)，紫花苜蓿( 中苜 5 号，中国农业科学 院北京畜牧兽医研究所选育) ，田菁( 鲁菁1 号，山 东省农作物种质资源中心选育) ，芝麻( *Sesamum in- dicum*) 、 猪毛菜品种为常规品种，菜 心 ( *Brassica campestris* L*．* ssp. *Chinensis* var*． utilis* Tsen et Lee) 为 广西农业科学院蔬菜所选育的桂甜菜心1 号。“洗 盐 + 吸盐”修复试验供试作物: 辣椒( *Capsicum ann- uum* L. ) 和苦瓜( *Momordica charantia* L. ) 品种分别 为广西农业科学院蔬菜所选育的桂椒9 号和桂农科 5 号 。

1. **2** 试验方法
2. “洗盐”修复试验 2015 年6 月在南宁市广 西农业科学院西乡塘基地，以硫基型轻度盐渍化大 棚土壤为研究对象开展小区试验。 供试土壤可溶性 盐含量为 0. 41 %, SO4-为 500 mg • kg-1, Cl -为 46.93 mg • kg-1, NO3-为 249 mg • kg-1,全氮为 1. 95 g • kg-1，全磷为 894 mg • kg-1，全钾为 5.59 g • kg-1。 试验设 6 个处理: 其中 NT5、 NT10 和 NT15 处理分别为免耕泡水5、10 和15 d;T5、 T10 和 T15 分别为翻耕泡水5、10和15 d,每个小区长1 m,宽5 m,面积为5 m2，各处理设2次重复。开展试验前清 理大棚，随机划分小区，各小区四周起畦( 高 30 cm， 宽30 cm) ,畦周围用塑料膜覆盖以防处理间相互影 响,每天上午8:00 用内径为 4 cm 的水管向每个小 区内缓慢注入0. 45 m3 的淡水,水管中水流的速度 约每秒10 cm,每次注水时间约1,10 h后将径流水 排出。
3. “吸盐”修复试验 2016 年6 月在南宁市广 西农业科学院里建科研基地,以硫基型微盐渍化大 棚土壤为研究对象开展小区试验。 供试土壤可溶性 盐含量为0. 19 % ,SO2-为944 mg • kg-1，全氮为 0.955 g・kg-1，碱解氮为59.89 mg • kg-1，有效磷 为 46. 08 mg • kg-1, 速效钾为285.86 mg • kg-1，有 机质为14.82 g • kg-1 ,pH值为7.06,交换性K+、 Na+、Ca2+ 和 Mg2+ 含量分别为 292. 68 mg • kg-1, 140. 88 mg • kg-1,5.37 g • kg-1 和 197.65 mg • kg-1，容重为1.74 g • cm3，土壤总孔隙度为34.30 %，细菌为 480. 50 x 104 CFU • g-1,真菌为 3. 53 x 104 CFU • g-1、，放线菌为 69. 13 x 104 CFU • g-1 • 104*。*试验设6个处理，分别为轮作苏丹草（SS）、紫 花苜蓿（MS）、田菁（SC）、芝麻（SI）、菜心（BC）、猪 毛菜（SP）,每个小区7 m2，各处理设3次重复。处 理前将棚内清理干净,然后划分小区并整地播种,播 种方式为直接撒播,种子用量如下,苏丹草0.17 kg/ hm2、紫花苜蓿 0. 1 kg/hm2、田菁 0. 27 kg/hm2、芝麻 0. 03 kg/hm2、 菜心 0. 03 kg/hm2、 猪毛菜 0. 07 kg/ hm2,各处理在整个试验过程中均不施肥，田间管理 相同, 60 d 后收获植株。
4. “洗盐 +吸盐”修复技术应用效果试验

2017 年6 -8 月在五塘某合作社基地,以轻度盐渍 化大棚土壤为研究对象小区试验。 试验设 4 个处 理：不处理土壤+苦瓜（NTB）、处理土壤+苦瓜 （TB）、不处理土壤+辣椒（NTP）、处理土壤+辣椒 （TP）,每个小区20 m2，各处理设3次重复。不处理 土壤为轻度硫基型盐渍化土壤,处理土壤为经过免 耕泡水5 d洗盐处理后轮作芝麻吸盐处理，然后在 组合处理后的土壤上种植苦瓜和辣椒,各处理的田 间管理相同。

1. **3** 土壤样品采集及测定指标

“洗盐”试验:泡水处理前、后采用“X”形5点采 样法,采集0 -20 cm 土层土壤样品,按四分法取混 合土 1 kg,室内风干，磨碎、过0. 2 mm筛后保存待 测。测定盐分指标：可溶性盐、so4-;养分指标：全 量 N、P、K。 定义:洗盐率（ %） =（ 泡水前土壤可溶 性盐含量 - 泡水后土壤可溶性盐含量） /泡水前土 壤可溶性盐含量 x100。

“吸盐”试验:种植前和收获后采用“X”形5点 采样法,采集0 -20 cm 土层土壤样品,测定盐分指 标:可溶性盐、so4-含量；养分指标：全量N、碱解 N、有效P、速效K、有机质、pH、交换性K+、Na+、 Ca2+、Mg2+ ； 土壤物理性状指标：土壤容重、土壤总 孔隙度;土壤微生物:细菌、真菌、放线菌。 定义:吸 盐率（ %） =（ 轮作前土壤可溶性盐含量 -轮作后 土壤可溶性盐含量） /轮作前土壤可溶性盐含量 x 100。

“洗盐+吸盐”组合应用效果试验:盐渍化土壤 在“洗盐+吸盐”处理前、后采用“X”形5点采样法， 采集0 ~20 cm 土层样品,测定可溶性盐含量。采收 期调查各处理苦瓜和辣椒的小区产量。

**1**. **4** 测定项目及方法

土壤全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾、 有机质、H、容重按照《土壤农化分析》阴进行测 定，全氮:半微量开氏法，碱解氮:碱解扩散法，全磷: NaOH熔融法，有效磷:0. 5 mol • L-1NaHCO3浸提 -钼锑抗比色法，全钾：NaOH溶解-火焰光度法, 速效钾:1 mol • L-1NH』c浸提-火焰光度法，有机 质:重铬酸钾法-外加热法,pH:电位法，容重:环刀 法。原子吸收分光光度法。土壤可溶性盐、02-按 照《土壤—植物营养学原理和施肥》［24 进行测定，可 溶性盐:水土比（5：1）浸提-重量法，SO2-:容量法， 土壤交换性K+、Na+、Ca2+、Mg2 +按照《中性土壤阳 离子交换量和交换性盐基的测定》［25 进行测定，土 壤细菌、真菌、放线菌参照李振高的方法［26 。

**1**. **5** 统计分析

采用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据统计和 制作图表。采用SPSS 18.0软件中的Duncan's新复 极差法进行差异显著性检验。

**2** 结果与分析

1. **1** “洗盐”修复结果
2. “洗盐”对设施土壤可溶性盐含量的影响 如图1a所示,6个泡水处理的耕作层土壤可溶性盐 含量显著降低，盐渍化程度由泡水前的轻度盐渍化 （可溶性盐含量＞0.20 %）降为微盐渍化（＜0.20 %），表明泡水可降低土壤盐渍化程度。 NT5、NT10 和 NT15 处理的洗盐率分别为52.02 %、53.69 %和 54.59 % （图1b），处理间差异不显著，表明免耕条 件下一定时间内增加泡水时间对洗盐率的影响不显 著;T5、T10和T15处理的洗盐率分别为54. 94 %、 57.34 %和63.72 % （图1b）,说明翻耕条件下一定 时间内洗盐率随泡水时间的增加而显著升高。 可见 一定时间内翻耕泡水时间越长洗盐效果越好，而免 耕泡水处理无此规律。
3. “洗盐”对设施土壤养分的影响 本研究目 的是筛选泡水洗盐效果好，而且养分损失少的洗盐 措施。图1a所示，泡水处理后,6个泡水处理的土 壤可溶性盐均降低至0.20 %以下，而温室土壤一般 要求可溶性盐含量不得高于0. 20 %［5 ，处理后，6 个泡水处理的土壤可溶性盐含量均符合温室土壤盐 分含量要求。表1可知，土壤可溶性盐、SO2-、全量 氮、磷、钾含量均降低，表明泡水既可降低土壤盐分 含量，也会降低土壤养分含量，且翻耕泡水养分下降

处理

Treatment

b ■处理前

处理

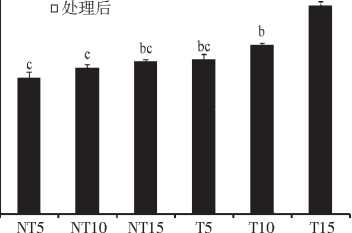
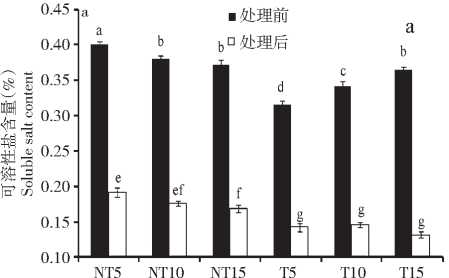
Treatment

5

3

5

5



图柱上不同小写字母表示差异显著（P <0.05），下同

Columns of the same legend with different letters are significantly different，*P* <0.05， the same as below

图 **1** 泡水洗盐对设施土壤可溶性盐含量及洗盐率的影响

Effect of salt leaching on content of soluble salt and salt leaching rate of facility soil

Fig. 1

率比免耕泡水高。其中 NT5 处理的土壤全氮下降 率显著低于NT10和T15处理，全磷、全钾下降率均 显著低于其他 5 个处理,土壤总养分（ 全氮 +全磷 +全钾） 下降率 38.68 %，为6 个处理中最低，表明 NT5处理对土壤养分的影响较其他处理小。NT5处 理的土壤可溶性盐含量下降率显著低于 T10 、 T15 处理的，但与其他 3 个处理的差异不显著，土壤 SO24－ 含量随着泡水时间的延长有所下降，但下降幅 度较小。以上结果说明 NT5 处理洗盐效果好，而且 土壤养分下降最少，是最优的洗盐处理。

1. **2** 吸盐修复结果
2. 2.1 “吸盐”对设施土壤可溶性盐含量的影响 表2 所示，轮作6 种作物后，土壤可溶性盐和 SO24－ 含量均有不同程度的降低，表明轮作6 种作物可降 低土壤可溶性盐和 SO24－ 含量。其中 SI 处理的吸盐 率和 SO24－ 下降率最高，且与其他处理差异显著，可 见 SI 的吸盐效果最好。

表 **1** 泡水对土壤养分及盐分下降率的影响

(%)

Table 1 Effects of salt leaching on decline rate of nutrients and salt of soil

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 处理  Treatment | 全氮  Total N | 全磷  Total P | 全钾  Total K | 可溶性盐  Soluble salt | SO24－ |
| NT5 | 21. 23 ± 0. 47c | 7. 64 ±0. 45d | 9.81 ±0.48e | 52. 02 ± 0. 90c | 60. 83 ± 0. 66d |
| NT10 | 24. 44 ± 0. 42b | 12. 52 ± 0. 48c | 25.83±0.43d | 53. 69 ± 0. 52c | 62. 68 ± 0. 90cd |
| NT15 | 16. 32 ± 0. 48d | 12. 63 ± 0. 43c | 26. 74 ± 0. 46d | 54. 59 ± 0. 44bc | 65.37±0.76b |
| T5 | 17. 61 ± 0. 49d | 20. 24 ± 0. 49a | 42. 43 ± 0. 49b | 54. 94 ± 0. 86bc | 64. 23 ± 0. 67bc |
| T10 | 11. 54 ± 0. 40e | 19. 92 ± 0. 45a | 30. 64 ± 0. 44c | 57.34 ±0.41b | 66. 17 ± 0. 68b |
| T15 | 26. 12 ± 0. 47a | 16. 61 ± 0. 44b | 45. 52 ± 0. 49a | 63. 72 ± 0. 68a | 71. 58 ± 0. 66a |

注:表中数据为平均值±标准误，同列数据后不同小写字母表示差异显著( P<0.05) ，下同**。**

Note: Data are mean ± SD， data on the same column with different letters are significantly different ( P < 0. 05) ， the same as below.

表 **2** 轮作对土壤可溶性盐含量的影响

Table 2 Effects of crop rotation on content of soluble salt of soil

处理

Treatment

| 可溶性盐含量(g**・**kg") Soluble salt content | | 吸盐率（ % ） | SO24－  *(*g **•** kg"1) | | SO42" 下降率( %) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 轮作前 | 轮作后 | Desalinization rate | 轮作前 | 轮作后 | Rate of decline for SO24 " |
| Before rotate | After rotate |  | Before rotate | After rotate |  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| SS | 1.76 ±0.04bc | 1. 58 ± 0. 04de | 10. 24 ± 0. 30c | 0. 90 ± 0. 02cd | 0.74 ±0.01gh | 17.29 ±0.74d |
| MS | 1. 94 ± 0. 05a | 1. 68 ±0. 05cd | 13. 42 ± 0. 41b | 0. 99 ± 0. 02a | 0. 79 ± 0. 01fg | 20. 22 ± 0. 60c |
| SC | 1. 81 ± 0. 03abc | 1. 53 ± 0. 05e | 15. 51 ± 0. 97b | 0. 92 ± 0. 02bc | 0. 72 ± 0. 01hi | 22.45 ±0.81b |
| SI | 1.84 ±0.03ab | 1. 46 ± 0. 04e | 20. 68 ± 0. 98a | 0 . 94 ± 0 . 01 abc | 0. 69 ± 0. 02i | 26. 90 ± 0. 91a |
| BC | 1.85 ±0.04ab | 1. 74 ± 0. 04bc | 5. 96 ± 0. 26d | 0.94 ±0.02abc | 0. 82 ± 0. 02ef | 13. 02 ± 0. 52e |
| SP | 1. 91 ± 0. 05a | 1. 83 ± 0. 04ab | 4. 17 ± 0. 41d | 0. 97 ± 0. 02ab | 0.86 ±0.02de | 11. 68 ± 0. 38e |

|  |  |
| --- | --- |
|  | 表 **3** 轮作对土壤养分含量的影响 |
| Table 3 | Effects of crop rotation on content of nutrients in soil |

全氮(g **•** kg-1) 碱解氮(mg **•** kg-1) 有效磷(mg **•** kg-1) 速效钾(mg **•** kg-1)

Total nitrogen Available nitrogen Available phosphorus Rapidly available potassium

处理

Treatment

轮作前 轮作后 轮作前 轮作后 轮作前 轮作后 轮作前 轮作后

Before rotate After rotate Before rotate After rotate Before rotate After rotate Before rotate After rotate

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| SS | 0.95 ±0.05ab | 1. 00 ±0. 05ab | 59. 23 ±1. 01c | 70. 54 ±1. 00b |
| MS | 0.94 ±0.04ab | 0.76 ±0.04c | 58. 94 ±0. 78c | 51. 32 ±1. 05d |
| SC | 0.96 ±0.04ab | 0.72 ±0.04c | 60. 12 ±1. 01c | 72. 24 ±0. 91b |
| SI | 0.97 ±0.03ab | 0.75 ±0.03c | 61. 38 ±1. 09c | 50. 18 ±1. 00d |
| BC | 0.93 ±0.04ab | 0. 88 ±0. 04b | 58. 89 ±1. 12c | 58. 61 ± 1. 05c |
| SP | 0.98 ±0.04ab | 1.03 ±0.05a | 60. 76 ±1. 04c | 84. 82 ± 1. 16a |

45.62±0.91c 67.41±0.68a285.31±4.14a

46.14±0.86c 26.31±1.06e284.32±4.03a

44.98 ±0.93c 24.63 ±0.95ef282.19 ±3.73a

46.76 ±0.89c 23.44 ±0.99f 285. 76 ±3.73a

45.98±0.81c 40.33±1.00d290.17±4.12a

47.02±1.05c 76.51±0.94a287.38±4.54a

205. 34 ±1. 33b

176. 48 ±0. 43c

75.63 ±2.05e

143. 19 ±3. 63d

143. 38 ±3. 05d

180. 41 ±1. 48c

1. “吸盐”对设施土壤养分含量的影响 表 3

所示，轮作 6 种作物后土壤养分（ 全氮、碱解氮、有 效磷、速效钾） 含量变化不同， SS 和 SP 处理的土壤 碱解氮、有效磷含量显著增加，速效钾含量显著降 低， MS、SI、BC 处理的土壤全氮、碱解氮、有效磷、速 效钾含量均降低,SC处理的全氮、有效磷、速效钾含 量显著降低，但碱解氮含量显著升高， SI 处理的土 壤全氮和速效钾含量下降率显著低于 SC 处理，碱 解氮和有效磷含量下降率（18. 25 %、49. 92 %） 均 为最高，总养分（全N +碱解N +有效磷P +速效钾 K）下降率（140.58 %）最高（表4），表明轮作6种作 物对土壤养分（ 全氮、碱解氮、有效磷、速效钾） 含量 的影响不同，SI对养分含量的影响最大，可能的原 因是各作物吸收利用养分的种类和能力不同，芝麻 吸收养分的能力较其他5 种作物强。

2.2. 3 “吸盐”对设施土壤容重、总孔隙度和pH的

影响 表 4 所示，轮作处理有效降低了土壤容重 （ 降幅为 11.82 % ~35.22 %），增加了土壤总孔隙 度（ 增幅为 18.86 % ~64.27 %），其中 SI 处理土壤 容重降低的幅度及总孔隙度增加的幅度最大;不同 作物轮作在一定程度上影响了土壤pH的变化,SS、 SC、SI处理后土壤pH有所降低，而BC、SP处理则 提高了土壤 pH。 说明 SI 有利于降低土壤容重，提 高土壤总孔隙度。

1. “吸盐”对设施土壤微生物的影响 土壤微 生物的数量影响土壤质量，并且对土壤质量的变化 反应敏感，是评价土壤质量的生物指标［27 。 轮作 6 种作物，提高了土壤有机质含量，增加了土壤细菌、 真菌和放线菌数量（ 表 5）。其中 SI 处理的土壤细 菌数量增加了 149. 02 %、微生物总量增加了134.

75 %为 6 个处理中最高，并与其他处理间差异显 著，说明 SI 最有利于土壤微生物的增殖和改善土壤 质量。

1. “吸盐”对设施土壤交换性钾、钠、钙、镁含 量的影响 表6所示，除了 SS和SP处理，其他处理 阳离子总浓度（ K+ +Na+ +Ca2+ +Mg2+） 均显著降 低，其中 SI 处理降低的幅度（46. 20 %） 最大，表明 SI 提高土壤通透性和水分淋洗效应的效果较其他 处理好。轮作处理后交换性Na+的含量显著降低， 其中SI处理降低的幅度显著高于SS,表明SI处理

表 **4** 轮作对土壤容重、总孔隙度和 **pH** 的影响

Table 4 Effects of crop rotation on volume weight，total porosity and pH of soil

处理

Treatment

容重((g **-** cm3 )  
Soil volume weight

轮作前

Before

轮作后

After

下降率( % )

Rate of  
decline

总空隙度( % )

Total soil porosity

pH

轮作前

Before

增加率( % )

轮作后 Rate of increase After

轮作前

Before

轮作后

After

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | rotate | rotate | rotate | rotate | rotate | rotate |
| SS | 1. 74 ±0. 03a | 1.27 ±0.02d 27.02 ±0.12b | 34. 29 ± 0. 73e | 52.16 ±1.20b 52.10 ±0.25b | 7.01 ±0.09b | 6. 00 ±0. 10d |
| MS | 1. 78 ±0. 02a | 1.57 ±0.03b 11.82 ±1.09e | 34. 31 ± 0. 67e | 40.79±1.02d 18.86 ±0.64e | 7.15 ±0.07b | 7. 12 ±0. 09b |
| SC | 1. 71 ±0. 03a | 1.33 ±0.01d 22.19 ±0.90c | 34. 27 ± 0. 61e | 49.78±1.26b 45.22 ±1.12c | 7.11 ±0.06b | 6 . 62 ± 0 . 09 c |
| SI | 1. 79 ±0. 02a | 1.16 ±0.03e 35.22 ±0.78a | 34. 29 ± 0. 76e | 56.33±1.18a 64.27 ±0.10a | 7.13 ±0.08b | 6.51 ±0.07c |
| BC | 1. 69 ±0. 04a | 1.43 ±0.04c 15.40 ±0.37d | 34. 29 ± 0. 77e | 46.12 ±1.09c 34.36 ±0.63d | 6.98 ±0.07b | 7. 23 ±0. 10b |
| SP | 1. 72 ±0. 03a | 1.43 ±0.03c 16.87 ±0.34d | 34. 29 ± 0. 78e | 45.99 ±1.03c 33.91 ±0.35d | 6.96 ±0.08b | 7.74 ±0.09a |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表 **5** 轮作对土壤有机质含量和微生物数量的影响 | | | | | | | | |
|  | Table 5 Effects of crop rotation on soil organic matter content and microbial number | | | | | | | |
|  | 有机质（ g | **:•** kg**"**1) | 细菌(X106 CFU **・** g"1) | | 真菌（X104 | CFU **・** g"1) | 放线菌（x | 104 CFU **・** g"1) |
| 处理 | Organic matter | | Bacteria | | Fungi | | Actinomycetes | |
| Treatment | 轮作前 | 轮作后 | 轮作前 | 轮作后 | 轮作前 | 轮作后 | 轮作前 | 轮作后 |
|  | Before | After | Before | After | Before | After | Before | After |
|  | rotate | rotate | rotate | rotate | rotate | rotate | rotate | rotate |
| SS | 15.16±0.35ef | 19.63 ±0.42a | 4. 92 ± 8. 66g | 10.63 ±11.55b | 3. 54 ± 0. 04g | 13.63 ±0.22a | 69. 25 ±0. 91g | 147. 5 ±2. 29a |
| MS | 15.03 ±0.33ef | 18.04 ±0.47b | 4. 64 ± 6. 93g | 5.85 ±8.08e | 3. 48 ± 0. 03g | 10.16 ±0.15b | 68. 72 ± 0. 86g | 125. 76 ±2. 15b |
| SC | 14.91 ±0.31ef | 16. 84 ± 0. 38d | 4.81 ±7.51fg | 7. 43 ± 8. 66d | 3. 55 ± 0. 04g | 8. 34 ±0.11d | 70.18±0.93g | 105. 97 ± 1. 87d |
| SI | 14.54 ±0.32f | 15.83 ±0.30e | 4.73 ±6.35fg | 11.78±12.70a | 3. 51 ± 0. 03g | 7. 2 ± 0. 09e | 67. 98 ± 0. 89g | 93.13 ±1.45e |
| BC | 14. 98 ± 0. 36f | 17.65 ±0.44c | 4.79 ±8.08fg | 8.14 ±9.24c | 3. 58 ± 0. 03g | 9.7 ±0.11c | 68. 96 ±0. 81g | 115.85±1.71c |
| SP | 14.32 ±0.30f | 15. 24 ±0. 33f | 4. 94 ± 8. 08f | 7. 21 ± 8. 08d | 3. 54 ± 0. 04g | 6. 55 ±0. 10f | 69.66±1.05g | 80. 81 ± 0. 94f |

表 **6** 轮作对土壤主要交换性阳离子含量的影响

Table 6 Effects of crop rotation on main exchangeable positive ions content of soil

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 处理  Treatment | K+(mg | **•**kg"1) | Na + ( mg | **•** kg"1) | Ca2+(g | **•** kg "1 ) | Mg2+(mg | **•** kg"1) |
| 轮作前  Before rotate | 轮作后  After rotate | 轮作前  Before rotate | 轮作后  After rotate | 轮作前  Before rotate | 轮作后  After rotate | 轮作前  Before rotate | 轮作后  After rotate |
| SS | 295. 62 ± 7. 08a | 240. 24 ±4. 17b | 140.99 ±2.29ab | 126.96±1.29c | 5. 36 ±0. 10c | 6.12 ±0.08a | 196.08 ±4.14ab | 93.12±1.33c |
| MS | 291.35±6.05a | 116.61 ±1.47d | 145.14 ±2.27a | 89. 93 ± 0. 70d | 5. 28 ± 0. 09c | 3. 61 ± 0. 03d | 193.78 ±4.03ab | 64. 32 ± 0. 43e |
| SC | 288. 66 ±7.11a | 53. 82 ± 2. 38e | 138.56±2.22b | 89. 72 ± 0. 68d | 5. 41 ±0. 10c | 3.33 ±0.03e | 191.89 ±3.73b | 60. 24 ± 2. 05e |
| SI | 297. 21 ± 6. 92a | 114.27±1.65d | 138.66±2.19b | 88. 32 ± 0. 83d | 5. 47 ± 0. 09c | 3. 02 ± 0. 02f | 199.39 ±3.42ab | 61.24±1.98e |
| BC | 291.34±6.73a | 115.05 ±1.71d | 142.33±2.29ab | 89.01 ±0.81d | 5. 29 ±0. 10c | 3. 42 ± 0. 03de | 201.62±4.06a | 65.52±1.96e |
| SP | 289. 48 ± 7. 00a | 173.94±2.27c | 139. 57 ±2. 18b | 87.63 ±0.71d | 5. 39 ± 0. 09c | 5. 76 ± 0. 07b | 203.11 ±4.34a | 78.72 ±0.76d |

表**7**轮作对土壤钙离子饱和度、**Ca/K**和**Mg/K**比值的影响

Table 7 Effects of crop rotation on Ca2 + saturation， Ca/K， Mg/K ratio of soil

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 处理  Treatment | Ca2+盐基饱和度(% )  Base saturation of Ca2 + | | Ca/K | | Mg/K | |
| 轮作前  Before rotate | 轮作后  After rotate | 轮作前  Before rotate | 轮作后  After rotate | 轮作前  Before rotate | 轮作后  After  rotate |
| SS | 89.44 ±0.03a | 93. 00 ±0. 01ab | 18. 14 ±0. 10a | 25.48 ±0. 11d | 0.66 ±0.002a | 0.39 ±0.00d |
| MS | 89.34 ±0.02a | 93. 02 ± 0. 00ab | 18. 12 ±0. 06a | 30. 96 ± 0. 09bc | 0.67 ±0.000a | 0. 55 ± 0. 00bc |
| SC | 89.73 ±0.02a | 94. 24 ± 0. 09a | 18. 75 ±0. 10a | 62. 07 ± 2. 22a | 0. 66 ± 0. 003a | 1.12±0.01a |
| SI | 89.60 ±0.04a | 91. 97 ± 0. 08b | 18. 41 ±0. 14a | 26. 44 ± 0. 23d | 0.67 ±0.004a | 0. 54 ±0.01c |
| BC | 89.28 ±0.02a | 92. 69 ± 0. 05b | 18. 16 ±0. 08a | 29. 73 ±0. 19c | 0.69 ±0.002a | 0.57 ±0.01b |
| SP | 89.50 ±0.05a | 94.42 ±0.01a | 18. 63 ±0. 15a | 33. 12 ±0. 03b | 0.70 ±0.002a | 0.45 ±0.00d |

降低土壤发生板结的效果好。SI处理的土壤Mg2 + 含量以及Mg/K比例降低,SI处理后可能导致作物 缺镁。SI处理后Ca2+饱和度、Ca/K等指标均呈增 长趋势（表7）,表明SI提高了土壤钙的供应能力。

**2**. **3** “NT5 + SI”组合修复技术的应用效果

表8所示“NT5+ SI”处理后大棚土壤可溶性 盐含量分别下降低60. 19 %和 60. 63 %，盐渍化程 度由处理前的轻度盐渍化降为微盐渍化;大棚土壤 经“NT5 +SI”处理后种植苦瓜和辣椒，小区产量分 别比对照增加28.72 %和 31.15 %，增产效果显著。 说明组合技术处理有效降低了土壤盐渍化程度，并 显著提高了苦瓜和辣椒产量。

**3**讨论

1. **1** “洗盐”对设施盐渍化土壤盐分和养分的影响 本研究结果表明，免耕和翻耕泡水处理均显著

降低了 0 ~20 cm 土层可溶性盐含量，其中免耕泡水

表 **8** “**NT5 + SI** ”处理对土壤可溶性盐含量及苦瓜、辣椒产量的影响

Table 8 Effects of**‘**NT5 + SI**'**on soluble salt content of soil and yield of bitter gourd and pepper

处理 可溶性盐（g**・**kg-1） 下降率（%） 小区产量（kg） 增产率（%）

Treatment Soluble salt Declines Yield Rate of growth

NTB 4.88 ±0.14a - 61.03 ±0.73b -

TB 1.94 ±0.09b 60.28 ±0.65 81.80 ±1.05a 28.72 ±0.88

NTP 4.76 ±0.13a - 79.80 ±1.18b -

TP 1.83 ±0.08b 61.42 ±0.63 104. 67 ±2.08a 31.15 ±0.67

5 d处理的洗盐率为52.02 % ,翻耕泡水处理的洗盐 率高于免耕泡水。黄歆贤等［28 的试验结果表明，泡 田洗盐30 d后f试验区0〜20 cm 土层脱盐率为36.

30 %和 43. 80 % ，茅国芳等［16 则认为，漫灌洗盐8 d后，脱盐率均值可达54.76 %*。*本研究中泡水洗 盐降低土壤盐分的结果与前人报道的结果基本一 致［29 ，免耕泡水 5 d 处理的洗盐率与漫灌洗盐8 d［16 的接近，但高于泡田洗盐30 d 的脱盐率［28 ，可 能的原因是本研究中泡水洗盐处理与漫灌洗盐方法 相似，洗盐时间也相近，而泡田洗盐用水量大，处理 时间长，淋洗到土壤底层的盐分存在返盐的可能。 灌水洗盐降低盐分含量的原因是，灌水后盐分溶解 于水，一部分随径流水排出，一部分随渗漏水垂直下 渗到土壤深层［30 。 本研究结果表明，翻耕泡水洗盐 率高于免耕泡水，原因有以下几点，一、翻耕本身可 以降低土壤盐分含量［31 ;二、相比免耕，翻耕改善了 土壤结构，增大了土壤孔隙度［32 ，使水分入渗能力 增强［33 ，因此翻耕泡水盐分随水入渗到土壤深层的 量多于免耕;三、免耕保护了表层土壤微孔隙和其连 续的孔隙路径［34 ，提高了土壤稳定性渗透率和饱和 导水率［35 ，使土壤持水量增大［33 ，因此免耕泡水减 少了盐分随径流水排离土壤的量，故翻耕泡水降低 土壤盐分的量高于免耕，因此翻耕泡水洗盐率高于 免耕泡水。

本研究结果表明，一、免耕和翻耕泡水处理的土 壤全氮、全磷、全钾等养分含量均降低，且养分下降 率总和随着泡水时间的增加而增加;二、翻耕泡水养 分下降率总和均高于免耕泡水，其中免耕泡 5 d 处 理养分下降率总和最低。 杨建军等［36 研究表明，灌 水洗盐后土壤硝态氮含量降低、速效磷和水浸提磷 含量增加，而本研究洗盐后氮素下降的结果与其灌 水洗盐结果一致，而磷素含量变化与其不同，可能原 因是，杨建军等［36 采用持续灌水，溶解出的大量磷 素只能残留在土壤中，致使有效磷等含量升高，而本 研究泡水时间1 d只有10 h,虽然土壤干湿交替导 致氧化还原电位发生变化，致使土壤中难溶性磷溶 解增加了磷素水平，但第2 天又随径流水排出，因而 全磷含量降低。 本研究翻耕泡水土壤总养分下降率 高于免耕泡水，原因可能是翻耕后土壤孔隙度增 加［32 ，水分入渗能力增强［33 ，增加了土壤颗粒上养 分离子的溶解量，加速了养分的淋洗，而免耕处理提 高了土壤稳定性渗透率和饱和导水率［35 ，使土壤持 水量增大［33 ，因此免耕泡水利于溶解于水中的养分 在土壤中保留，减少养分的淋溶损失［37 ，所以翻耕 泡水总养分下降率高于免耕泡水。

1. **2** “吸盐”对设施盐渍化土壤盐分和养分的影响

植物修复是指通过种植喜盐、耐盐植物，利用耐 盐植物强大的耐盐和吸盐能力，从土壤中吸收盐分， 从而降低土壤盐分含量［38 。 研究表明，在轻度盐渍 土上种植田菁、紫花苜蓿、苏丹草、碱蓬 2y，0 ~20 cm 土层平均脱盐率为37.12 % ~45. 97 %回,在弃 耕盐碱地上种植紫花苜蓿3y,脱盐率高达91. 70 %［39 。 本研究结果表明，轮作 6 种作物后，土壤可 溶性盐和 SO24- 含量均降低，其中轮作芝麻处理的 吸盐率最大，为 20. 68 %。 轮作降低土壤盐分和 SO24- 含量的结果与前人的研究结果一致［40 。 本研 究结果中轮作吸盐率与王立艳等［17 的相近，但低于 李海英等［39 的，原因是因为处理时间及处理前的盐 渍化程度差异，本文的轮作处理时间更适合广西设 施蔬菜生产实际。

研究表明，种植作物后，土壤有机质，全氮、碱解 氮、有效磷和速效钾含量降低［41-42 ，而秦嘉海等［20 和赵可夫等［21 的研究表明种植鲁梅克斯草、碱蓬耐 盐作物后，土壤有机质、速效 N、P 和 K 含量增加。 本研究结果表明，轮作苏丹草等6 种作物后，土壤有 机质含量增加，这与秦嘉海［20 和赵可夫［21 的结果 一致，但与王金龙和阮维斌的结果相反［41 ，原因可 能是每种作物根系活动对土壤微生物的影响不同。 轮作芝麻、紫花苜蓿和菜心后，土壤全氮，碱解氮，有 效磷，速效钾含量降低，这与王金龙等［41 、 李元 等［42 的研究结果一致。 其中轮作芝麻土壤养分下 降率总和最大，可见芝麻吸收土壤养分的能力较其 他5 种作物强。

1. **3** “吸盐”对设施盐渍化土壤理化性状及微生物

数量的影响

土壤盐渍化降低土壤的通气性、透水性、土壤有 机质含量及N、P和K有效性，导致土壤板结阴,种 植耐盐植物可以改善土壤物理性状［20］。本研究结 果显示，轮作6 种作物后，增加了土壤总孔隙度，提 高了土壤通气、透水性，这与张晓琴和胡明贵［40］的 研究结果一致。土壤阳离子组成是土壤高产的重要 指标之一［44］，土壤阳离子总浓度的降低，反映了土 壤通透性和水分淋洗效应的增强［43］。本研究结果 显示，轮作紫花苜蓿、田菁、芝麻和菜心显著降低阳 离子总浓度，其中轮作芝麻处理降低的幅度最大，说 明轮作芝麻增强土壤通透性和水分淋洗效应的效果 最好。

土壤微生物参与土壤有机质的分解和养分循 环，调节土壤中各种生物化学过程，是评价土壤质量 的生物指标［27，45］。种植耐盐作物有利于提高土壤 细菌、真菌、放线菌的数量［22］。在温室内种植甜玉 米等增加了土壤细菌和放线菌的数量［42］。本研究 结果显示，轮作6 种作物后，土壤细菌、真菌和放线 菌数量均显著增加，这与前人［22，42］的研究结果一 致。其中轮作芝麻处理微生物总量和细菌数量增加 的幅度最大，说明轮作芝麻最有利于提高土壤微生 物的活性和改善土壤微生态环境。

**3**.**4** “洗盐+吸盐”对设施盐渍化土壤盐分含量及 作物产量的影响

灌水洗盐和种植耐盐作物吸盐均有较好的脱盐 效果，组合应用效果更佳，研究表明，滨海盐渍土在 经灌水洗盐和种植紫花苜蓿组合处理后，耕作层土 壤可溶性盐含量降低了 63. 70 %［46］。本研究结果 表明，大棚轻度盐渍化土壤经“免耕泡水5 d +轮作 芝麻”组合修复后，可溶性盐含量降低60. 00 %以 上，修复效果显著。此外，本研究还发现，在经“免 耕泡水 5 d + 轮作芝麻”组合修复后土壤上种植辣 椒和苦瓜，小区产量显著增加。

**4**结论

免耕泡水5 d洗盐率高，土壤养分下降率低，省 时省工是最优的洗盐处理。轮作芝麻处理吸盐率 高，改善土壤理化性状及微生态环境效果好，适于修 复设施硫基型盐渍化土壤。 “免耕泡水 5 d + 轮作 芝麻”组合修复轻度盐渍化土壤效果好。 参考文献:

［1］ 郭世荣，孙 锦，束 胜，等. 我国设施园艺概况及发展趋势

［J］. 中国蔬菜， 2012( 18) : 1 "14.

［2］ 张真和，马兆红. 我国设施蔬菜产业概况与**“**十三五**”**发展重 点**一**中国蔬菜协会副会长张真和访谈录J .中国蔬菜,2017 (5):1 "5.

3］ 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.

4］ ZhangYG，JiangY，LiangWJ. Accumulation of soil soluble salt in vegetable greenhouses under heavy application of fertilizers. Agricul- turalJournal,2006,1(3):123"127.

5］ Wicke B,Smeets E, Dornburg V, et al. Theglobaltechnicalandeco- nomic potential of bioenergy from salt-affected soils［J］. Energy ＆ Environmental Science, 2011 ( 4) : 2669 " 2681 .

6］ 丁海荣,洪立洲,杨智青,等.盐碱地及其生物措施改良研究现状

J .现代农业科技,010(6) :299 -308.

7］ 李 琴,苏天明,王日升,等. 广西设施栽培土壤次生盐渍化调查 及其影响因子分析J .江苏农业科学,2016,44 (11) :492 - 494.

8］ Egamberdieva D, Mamedov N A. Potential use of licorice in phytore­mediation of salt affected soils J . Plants, Pollutants and Remedia- tion,2015,309"318.

9］ Sadiq M,Hassan G,Mehdi S M,et al. Amelioration of saline-sodic soils with tillage implements and sulfuric acid application［J］. Pedo- sphere,2007,17(2):182"190.

10金光德，南桂仙.植物盐胁迫响应及耐盐的分子机制J .农技 服务,2011,28(10):1448"1449,1495.

11］胡 萍,严秀琴,虞冠军,等. 设施土壤次生盐渍化客土修复技

术初探J .上海交通大学学报(农业科学版),2005,23 (1)：46 "51.

12岛田永生.塑料大棚土壤的特性和改良M］.北京：农业出版 社,1986.

1. 衡 通,王振华,李文昊,等. 滴灌条件下排水暗管埋深及管径 对土壤盐分的影响J . 土壤学报,017： 1"11.
2. Qadir M, Qureshi R H, Ahmad N. Reclamation of a saline-sodic soil by gypsum and Leptochloa fuscal［J . Geodema, 1996, 74( 3 " 4) : 207 " 217.
3. Guo G, Araya K, Jia H, et al. Improvement of salt-affected soils, part

1 : interception of capillarity ［J . Biosystems Engineering, 2006, 94 (1):139"150.

1. 茅国芳,陆利民,杨晓华,等. 沪郊西瓜甜瓜设施栽培土壤次生 盐渍化的基本特性与防治技术研究J .上海农业学报,2005,21 (1):58"66.
2. 王立艳,潘 洁,杨 勇,等. 滨海盐碱地种植耐盐草本植物的 肥土效果 J .草业科学,014,1(10)： 1833 -1839.
3. 谢文军,王济世,靳祥旭,等. 田菁改良重度盐渍化土壤的效果 分析J .中国农学通报,016,2(6)： 119-123.
4. 吕 彪,赵芸晨,陈 叶,等. 河西走廊盐土资源及生物改土效 果 J . 土壤通报,001,2(4): 149"150.
5. 秦嘉海,吕 彪,赵芸晨. 河西走廊盐土资源及耐盐牧草改土培 肥效应的研究J . 土壤,004,6(1) :71 "75.
6. 赵可夫,张万钧,范 海,等. 改良和开发利用盐渍化土壤的生 物学措施 J . 土壤通报,001,2(S1) : 115"119.
7. 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,006,6(3)：801 "807.

23鲍士旦.土壤农化分析M .北京：中国农业出版社,000.

24］鲁如坤.土壤**一**植物营养学原理和施肥 M .北京：化学工业 出版社, 1998.

25 李鸿恩,段 敏,温瑞云,等. 中性土壤阳离子交换量和交换性 盐基的测定ny/t295J995 S .北京：中华人民共和国农业部， 1995.

26李振高，骆永明，滕 应.土壤与环境微生物研究法M .北京： 科学出版社， 2008.

1. 愈 慎，李 勇，王俊华，等. 土壤微生物生物量作为红壤质量 生物指标的探讨J . 土壤学报,1999,36(3) :413 -422.
2. 黄歆贤，金宗来，张 剑. 新围滩涂盐碱地定额泡田洗盐的效果 [J . 浙江农业科学，2013(4):454 -456.
3. Thimmappa K， Sharma D K， Dagar J C， et al. Reclamation of salt- affected soils: Socioeconomic impact assessment[J . Innovative Sa­line Agriculture，2016: 489 - 505.
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.
5. 郭凤鸣，刘永香，赵福顺. 保护地栽培中土壤盐渍化回避法 [J . 北方园艺，1996(2):67-69.
6. Drewrya J J， Loweb J A H， Patonc R J. Effect of subsoiling on soil physical properties and pasture production on a Pallic Soil in South- land， New Zealand[J . New Zealand Journal of Agricultural Re- search， 2000，43(2):269-277.
7. 魏欢欢，王仕稳，杨文稼，等. 免耕及深松耕对黄土高原地区春 玉米和冬小麦产量及水分利用效率影响的整合分析J .中国 农业科学，2017，50(3):461-473.

B4]彭文英.免耕措施对土壤水分及利用效率的影响J . 土壤通 报，2007，38(2):379-383.

35 Arshad M A， Franzluebbers A J， Azooz R H. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Cana­da[J . Soil ＆ Tillage Research， 1999，53 (1):41-47.

36 杨建军，沈根祥，姚 政，等. 灌水洗盐对设施农业中土壤养分 的影响J .上海农业学报,2004,20(2) :63 -66.

B7]李 琴.农田土壤氮素循环及其对土壤氮流失的影响J .安 徽农业科学，2007，35( 11):3310 -3312.

1. 周易善，周桂官，顾桂华，等. 沿海地区菜地土壤次生盐渍化的 植物修复技术J .长江蔬菜,010(13) :45 -46.
2. 李海英，彭红春，牛东玲，等. 生物措施对柴达木盆地弃耕盐碱 地效应分析J .草地学报,2002,10( 1) :63 -69.

40]张晓琴，胡明贵.紫花苜蓿对盐渍化土地理化性质的影响J . 草业科学，2004，21(11):31-35.

1. 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.
2. 李 元,司力珊,张雪艳,等. 填闲作物对日光温室土壤环境作 用效果比较研究J .农业工程学报,2008,24( 1) :224 -229.
3. 肖克飚. 宁夏银北地区耐盐植物改良盐碱土机理及试验研究 [D . 杨凌: 西北农林科技大学,2013.

44]李玉奇.设施盐渍化土壤离子互作及生态修复研究[D].上 海:上海交通大学,2010.

1. Paul E A, Clark F E, Chapter 1 -soil microbiology and biochemistry in perspective[ J . Soil Microbiology and Biochemistry, 1989: 1 -10.
2. 董晓霞,郭洪海,孔令安. 滨海盐渍地种植紫花苜蓿对土壤盐分 特性和肥力的影响J .山东农业科学,001(1)：24 -25.

( 责任编辑 汪羽宁)