

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

王金龙¹, 阮维斌²

(1.天津农学院农学系, 天津 300384; 2.南开大学生命科学学院, 天津 300071)

摘要:通过夏季填闲的方式来解决设施农业次生盐渍化在 20 世纪初就已被提出,但相关研究在天津黄瓜温室土壤次生盐渍化改良方面还没有开展。通过盆栽试验研究了 4 种填闲作物(毛苕子、苏丹草、甜玉米和苋菜)对天津地区黄瓜温室土壤次生盐渍化的改良作用。结果显示,与对照土壤相比,4 种填闲作物均能显著降低土壤可溶性盐分和 Na^+ 的含量($P<0.05$),显著降低土壤养分和有机质的含量($P<0.05$);毛苕子、甜玉米和苋菜能显著增大土壤 K^+/Na^+ 的比值;高种植密度对次生盐渍化土壤的改良效果更为突出;4 种填闲作物相比,毛苕子对黄瓜温室土壤次生盐渍化的改良效果最佳。既为改良天津黄瓜温室土壤次生盐渍化提供实践参考,也为延长设施土壤使用年限,促进天津设施蔬菜产业发展提供一种可行途径。

关键词:土壤次生盐渍化;填闲作物;毛苕子;苏丹草;甜玉米;苋菜

中图分类号:S156.4 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2009)09-1849-06

Study of the Improvement Effects of Four Catch Crops on the Secondary Salinization of Tianjin Cucumber Greenhouse Soil

WANG Jin-long¹, RUAN Wei-bin²

(1.Department of Agronomy, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; 2.College of Life Science, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: Greenhouse vegetable production has been widely applied in North China due to its higher economic and social benefit. However, the special ecological environment and unreasonable irrigation or fertilizing often result in secondary salinization of greenhouse soil, that would directly do harm to crop growth, reduce crop yield and quality, and also affect human health or ecological environment. Among the methods of salt elimination, biological treatment has been paid more attention because of its predominant performance in operation and cost. Since cucumber is an important cash crop in Tianjin and the secondary salinization of cucumber greenhouse soil has been more and more severe, thus a pot cultivation experiment was designed to study the improvement effects of four catch crops on the secondary salinization in this paper. In middle July of 2007, the soil/substrate was collected from one cucumber greenhouse of Xiaobian Village, located in Nanhe Town of Xiqing District in Tianjin. Four catch crops, respectively *Vicia villosa* Roth., *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf., *Zea mays* L. saccharata Sturt., *Amaranthus mangostanus* L., were selected as experimental plants. The experiment was carried out at the campus experiment site of Tianjin Agricultural University. The seeds were sown in the pot soil on 20 July 2007, and after 10 days the seedlings were thinned to form three plant densities. A randomized block design was used with five blocks(replicates) and twelve pots(treatments) per block. On 10 September 2007, the above ground materials of each pot were harvested and the dry matter accumulation was subsequently determined. Additionally, 0~20 cm soil was sampled from each pot and stored in aluminum cases after air drying for soil nutrient measurement. The results indicated that after planting these four plants, soluble salinity, Na^+ content, soil nutrient and organic matter content significantly decreased compared with CK. *Vicia villosa*, sweet corn and *Amaranthus mangostanus* could significantly increase soil K^+/Na^+ value. Higher planting density resulted in better soil improvement effects and among these four catch crops *V. villosa* was strongly recommended due to its remarkable performance.

Keywords: second salinization; catch crops; *Vicia villosa* Roth.; *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.; *Zea mays* L. saccharata Sturt.; *Amaranthus mangostanus* L.

收稿日期:2009-02-03

基金项目:天津市应用基础研究计划面上项目(06YFJMJ12100)

作者简介:王金龙(1978—),男,湖北枣阳人,博士,研究方向为植物生理生态学。E-mail:wangjinlong@mail.nankai.edu.cn

通讯作者:阮维斌 E-mail:ruanweibin@hotmail.com

日光温室作为北方冬季蔬菜生产的主要设施,具有较高的经济效益和社会效益。然而,由于日光温室内常处于封闭或半封闭状态,气温高,湿度大,肥料投入量多,土壤经常处于湿润状态,形成了一个特殊的生态系统。同时又由于温室、大棚等栽培条件下的土壤缺少雨水淋洗,且温度、湿度、通气状况和水肥管理等均与露地栽培有较大差别,加之设施栽培又长期处于高集约化、高复种指数、高肥料施用量的生产状态下,其特殊的生态环境与不合理的水肥管理措施导致了土壤次生盐渍化问题的产生^[1]。土壤次生盐渍化一方面使土壤板结、养分供应不平衡,不仅直接危害作物的正常生长,而且造成作物产量及品质的下降;另一方面也改变了土壤微生物的状况,从而对整个土壤环境造成了不利影响,阻碍农业生产的可持续发展,并已经对人体健康和生态环境造成现实和潜在的危害^[2-3]。同其他设施农业区相同,天津市周边的设施农业区土壤次生盐渍化现象也非常严重,且由于农业灌溉不当以及排灌不配套等原因,次生盐渍化土壤所占比例逐年增加,严重影响了当地种植业的可持续发展^[4]。

随着设施土壤次生盐渍化的日趋严重,改善土壤盐渍化状况措施的研究已经陆续开展,包括:合理施肥、施用稻草、灌水洗盐、生物除盐、地膜覆盖、夏季揭膜利用自然降水淋洗、使用硝化抑制剂等^[6]。这些措施各具特色,但因为有的措施操作起来成本太高,有的措施不符合当地农民的操作特点等因素都不能大面积推广。生物除盐的特点是利用设施夏季休闲时,选择耐盐植物或者选择生长快、吸肥力强的植物栽培来降低土壤耕层的盐分含量的一种操作简便的除盐措施。通过夏季填闲的方式来解决设施农业次生盐渍化在20世纪初就已被提出,在国外这方面的研究已经积累了大量的研究成果且研究的内容相对也比较深入^[5-8],如:Vos等^[9]通过试验表明,填闲作物能非常有效地吸收土壤淋溶液中的氮,吸收量可达 $19\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (纯氮计)。在国内有关研究也有20多年的历史,如:孟艳玲等^[9]研究发现蔬菜与甜玉米(*Zea mays* L. *saccharata* Sturt)轮作可大大降低土壤盐分和硝态氮的积累;冯永军等^[10]研究发现在3个连作4a的大棚土壤休闲时种植玉米(*Zea mays* L.)可使大棚耕作层土壤的电导率降低64%。专门针对连作黄瓜(*Cucumis sativus* L.)土壤次生盐渍化方面的研究开展相对较晚,仅见赵扩元等^[11]和李元等^[12]共两篇报道。赵扩元等研究发现在日光温室夏季休闲期种植玉米和大葱(*Allium fistulosum* L.)能显著降低土壤电导率和速效

养分含量;而李元等的研究发现:在连作3a的黄瓜日光温室,夏季休闲期种植速生叶菜[包括菠菜(*Spinacia oleracea* L.)、苋菜(*Amaranthus mangostanus* L.)、茼蒿(*Chrysanthemum coronarium* L.)]和甜玉米(*Zea mays* L. *saccharata* Sturt)可显著降低土壤的养分积累,减缓次生盐渍化的形成。

基于设施黄瓜是天津市农业区的重要经济作物,且由于黄瓜连作引起的次生盐渍化问题已经非常突出,本试验拟通过在已经发生次生盐渍化的土壤中种植有潜在减缓盐渍化土壤的植物,通过测定供试土壤在种植这些植物后可溶性盐分、几种重要离子以及有机质的含量变化,综合分析生物除盐在天津地区的适用性,并期望能找到有显著除盐效果的植物,为防治天津黄瓜连作引起的次生盐渍化土壤的改良提供实践参考,也为提高当地土壤可持续性,延长设施土壤使用年限,增加农民收入,促进天津市设施蔬菜产业健康快速发展提供一种可行的途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 土壤

本研究所用土壤于2007年7月中旬采集天津市西青区南河镇小卞庄黄瓜大棚,土壤类型为偏碱性的盐化湿潮土,成土因素主要为海积冲积成因,土壤质地为重壤质。该大棚已经连续4a用于种植黄瓜,土壤表层干燥时有明显的白色返盐现象并板结,破碎后呈灰白色粉状,即呈现出典型的土壤次生盐渍化状况。该土壤可溶性盐分的含量为 $4.54\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, Na^{+} 含量为 $1.33\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾含量为 $390\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮含量为 $2.54\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮含量为 $298\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效磷含量为 $290\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.1.2 植物

本研究所选择的填闲作物有4种,分别是豆科作物毛苕子(*Vicia villosa* Roth.)、禾本科作物苏丹草(*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.)、甜玉米(*Zea mays* L. *saccharata* Sturt)和苋科植物苋菜(*Amaranthus mangostanus* L.),其中,毛苕子和苏丹草的种子由甘肃兰州草原研究所提供,甜玉米和马齿苋的种子由天津农业科学研究院提供。这4种材料是从已有报道中有显著除盐效果的植物种类中挑选出来的。

1.2 试验方法

本试验时间为2007年7月至9月,即黄瓜大棚夏季闲置期,地点为天津农学院试验地。试验采用随

机机组设计,4种填闲作物各设3个密度水平。2007年7月20日,将4种植物的种子播种于装有相同质量土壤的花盆中,花盆的直径和高度分别为45和30 cm,每盆播种50粒种子,10 d后间苗并按当时对土壤表面的覆盖程度将每种植物设置为3个密度水平。低密度水平为盖度5%(其中:毛苕子6株,苏丹草5株,甜玉米4株,苋菜8株),中密度为盖度10%(其中:毛苕子12株,苏丹草10株,甜玉米8株,苋菜16株),高密度水平为盖度15%(其中:毛苕子18株,苏丹草15株,甜玉米12株,苋菜24株)。每个密度水平设5个重复,4种植物共60盆;对照也设置5个重复,对照即不种植任何植物。试验过程中所有处理都不施肥,不遮雨,在作物生长期如长时间不下雨,则对所有的处理补充等量蒸馏水。2007年9月10日收获地上部分,带回实验室60℃恒温24 h烘干称重;并采集盆内0~20 cm土壤,每盆采集3份,自然风干后除去植物的根并保存,用于土壤可溶性盐分、几种离子和有机质含量的测定。

土壤中各项指标的测定参考土壤农化分析^[13],其中可溶性盐分的测定采用称重法, Na^+ 含量的测定采用原子吸收法, K^+ 的测定采用比浊法,全氮的测定采用凯氏定氮法,碱解氮采用扩散法,有效磷的测定采用碳酸氢钠法,有机质的测定采用重铬酸钾容量法。

1.3 数据分析

将试验所得的数据资料进行整理,采用SPSS14.0数据处理系统中的LSD进行多重比较,利用EXCEL 2003软件进行常规图表的制作。

2 结果与分析

2.1 4种填闲作物对土壤中可溶性盐分和 Na^+ 含量的影响

对种植4种植物后土壤的可溶性盐分和 Na^+ 含量测定后发现:(1)种植4种填闲作物后,与对照土壤相比,可溶性盐分含量和 Na^+ 含量都显著降低($P<0.05$);(2)对于同一种植物而言,密度越大,对土壤中可溶性盐分和 Na^+ 吸收的越多,且这种差异经显著性检验是显著的($P<0.05$);(3)与相同密度的其他植物相比,毛苕子能够显著降低土壤中可溶性盐分和 Na^+ 的含量,苋菜降低土壤中可溶性盐分和 Na^+ 含量的能力仅低于毛苕子(图1)。

2.2 4种填闲作物对土壤中若干营养元素和有机质含量的影响

对种植填闲作物的土壤和对照土壤中几种营养

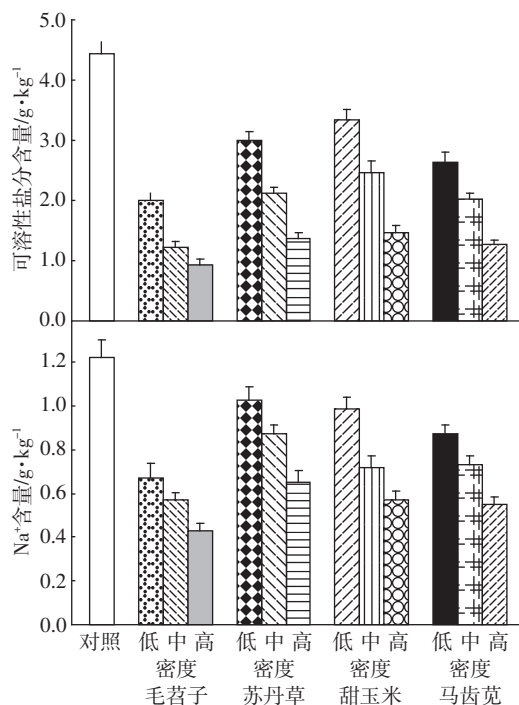


图1 填闲作物对土壤中可溶性盐分和 Na^+ 含量的影响

Figure 1 Influences of catch crops on the soluble salt and Na^+ content

元素和有机质含量测定后发现:(1)与对照土壤相比,种植4种填闲作物都能显著降低土壤中的速效钾、全氮、碱解氮、有效磷和有机质($P<0.05$);(2)对于同一种植物来说,随着种植密度的增加,对全氮、碱解氮、有效磷和有机质的利用也越多,且这种差异是显著的($P<0.05$);(3)不同种植物之间在利用营养元素方面存在差异,毛苕子利用土壤中的营养元素和有机质的能力显著高于其他3种植物,对氮素的吸收作用较强(图2)。

2.3 4种填闲作物对土壤 K^+/Na^+ 比值的影响

土壤中的 K^+/Na^+ 比这一参数对盐碱地作物的生长十分重要,且绝大多数盐碱地都存在 K^+/Na^+ 比值过小的现象,因此将种植4种填闲作物后土壤中的 K^+/Na^+ 比值进行了分析,结果显示(图3):(1)与对照相比,种植毛苕子、甜玉米和苋菜后,土壤 K^+/Na^+ 比值都有所增加;(2)对于同一种植物来说,随着密度的增加,这一比值的变化并没有固定的规律可以参考;(3)种植毛苕子的3个密度处理,所得 K^+/Na^+ 比值显著大于其他3种植物共9种处理($P<0.05$),但就毛苕子的3个密度处理而言,它们之间的差异并没有达到显著水平($P>0.05$);(4)种植苏丹草后,对土壤 K^+/Na^+ 比值的改变不大。

2.4 4种填闲作物的生物量

对4种填闲作物的地上部生物量进行统计,结果

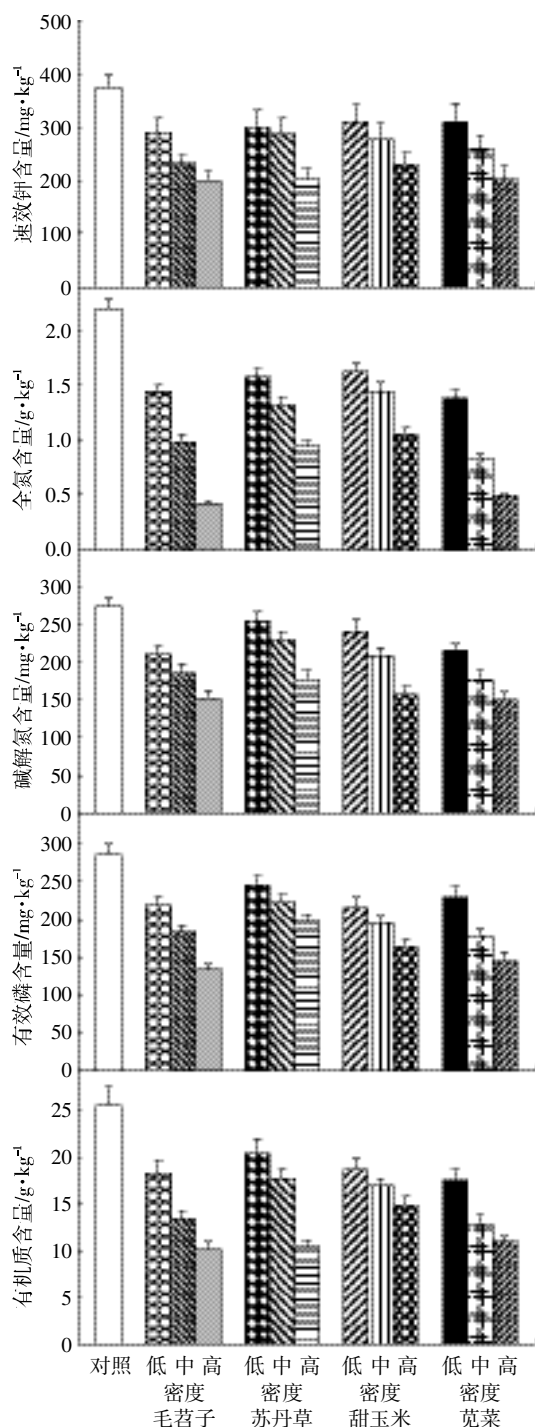


图2 填闲作物对土壤中几种营养元素和有机质含量的影响

Figure 2 Influences of catch crops on nutrient elements and organic matter content

显示:虽然密度效应对单株生物量有一定的影响,但对这4种植物来说,地上部总生物量都表现为高密度>中密度>低密度,且这种差异是显著的($P<0.05$)(表1)。

3 讨论

土壤次生盐渍化对作物的危害是生理性的,且土

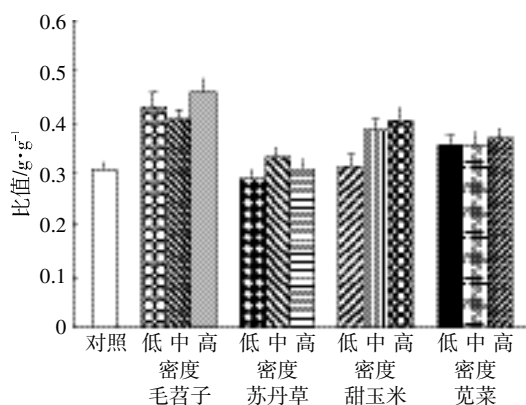
图3 填闲作物对土壤的 K^+/Na^+ 比值的影响

Figure 3 Influences of catch crops on K^+/Na^+ ratio

表1 4种填闲植物的地上部生物量($g \cdot \text{盆}^{-1}$)

Table 1 The aboveground biomass of the four catch crops

植物名称	密度水平		
	高密度	中密度	低密度
毛苕子	14.81±2.33a	12.11±1.77b	9.07±1.32c
苏丹草	11.82±1.35a	9.03±1.33b	6.12±1.35c
甜玉米	12.40±1.23a	10.32±1.02b	7.5±1.43c
苋菜	10.37±0.982a	7.62±1.08b	5.15±1.43c

注:表中数据均为5个数据的平均值±标准差;数字后字母相同者差异不显著,字母不同则差异显著($P<0.05$)。

壤次生盐渍化已成为保护地蔬菜生产的主要土壤障碍因子^[3]。在温室栽培的蔬菜中黄瓜属于耐盐性较差的植物,由于次生盐渍化问题引起的黄瓜病害和减产屡见报道^[14-15],而对于黄瓜次生盐渍化土壤改良的研究起步较晚^[11-12]。本研究针对天津地区土壤特点,尝试性地通过盆栽试验研究了4种填闲作物对黄瓜次生盐渍化土壤的作用,研究结果对天津地区防治黄瓜连作次生盐渍化提供理论参考,也为相似区域黄瓜温室次生盐渍化土壤的改良提供试验证据,为深入研究次生盐渍化的防治机理提供一些科学数据。

本研究选择样地内土壤可溶性盐浓度经放置两个月后仍高达 $4.43 g \cdot kg^{-1}$,据粗略估计当土壤溶液可溶性盐分溶液浓度在低于 $3.0 g \cdot kg^{-1}$ 时,黄瓜几乎不为其害;当盐溶液浓度在上升为 $3.0 \sim 5.0 g \cdot kg^{-1}$ 时,土壤溶液中可以测出少量的铵,此时黄瓜的养分吸收和水分吸收开始失去平衡,果实和植株生长缓慢或不长;另外,盐渍化土壤中存在的大量的 Na^+ 和 Cl^- 能抑制黄瓜对钙、磷、铁、锰等元素的吸收,使得黄瓜的营养状况失衡,抗逆性降低^[16]。因此,如果通过闲置黄瓜温室的方法来改善温室土壤还达不到黄瓜正常生长

的盐度范围,就必须采取相应的措施。

生物除盐是一种非常容易操作的除盐措施,它是利用温室内夏季高温的休闲期种植生长速度快、吸收能力强的植物,以便从土壤中吸收大量的氮肥,降低铵的浓度;填闲作物还可以用作牲畜或鱼的饲料,或者用作绿肥。本论文研究了毛苕子、苏丹草、甜玉米和苋菜对温室黄瓜次生盐渍化土壤的作用,所选择的4种植物都是已经报道的具有生物除盐特点的植物^[11,17-18],结果表明4种填闲作物都能将土壤中的可溶性盐分降低到黄瓜能正常生长的范围,其中种植毛苕子后土壤中可溶性盐分和 Na^+ 的减少幅度最大,这说明用生物除盐的方法对天津地区黄瓜连作引起的土壤次生盐渍化的改良是可行的。本研究还发现随着填闲作物种植密度的增加,除盐能力也增加,这一研究结果与已有的研究结果相同^[18],对实践操作具有一定的指导意义。但本研究所提及的密度仅仅是在3个密度水平上进行的,并不是一系列密度梯度,最高密度也没有达到植物的制约密度,且在整个生长过程中,植物都有生长空间,因此在实践操作过程中还要根据实际情况进行调整,也将进一步开展大田试验为实际应用提供更能便于利用的数据。

关于保护地土壤养分的全量和速效养分的含量显著高于常规种植作物的土壤的报道很多^[9]。本研究种植毛苕子、苏丹草、甜玉米和苋菜后,土壤中的养分和有机质的含量都有所降低,土壤全氮和碱解氮含量的降低在种植毛苕子和马齿苋两种植物的土壤中效果更显著;且随着密度增加,降低的作用更为显著^[18];这一研究结果表明种植这4种填闲作物后从一定程度上缓解了土壤盐渍化的程度,从另一个方面证明了生物除盐的方法对黄瓜连作引起的土壤次生盐渍化的改良是可行的。

土壤中的 K^+/Na^+ 比这一参数对盐碱地作物的生长十分重要,且绝大多数盐碱地都存在 K^+/Na^+ 比值过小的现象。当 K^+/Na^+ 过小,即土壤中 Na^+ 大量存在时,破坏了植物体 K^+/Na^+ 的平衡和正常代谢,使膜透性增加,导致 K^+ 外流,在植物体内含量减少,致使其产量下降^[18]。种植毛苕子、甜玉米和苋菜后,土壤 K^+/Na^+ 的比值与对照相比都有所提高,其中毛苕子对增加土壤 K^+/Na^+ 比值的效果最为显著,其次是中高密度条件下的甜玉米。这一结果从第三个方面证明了生物除盐的方法对黄瓜连作引起的土壤次生盐渍化的改良是可行的,但这一结果同时也说明在生物除盐时对植物的选择也是非常重要的,从 K^+/Na^+ 的比值这一指标考

虑,苏丹草就不适宜用于天津地区黄瓜连作引起的次生盐渍化土壤的改良。

本试验种植填闲作物后,分析土壤中各种成分时所选择的土壤层为0~20 cm,其中的原因一方面是根据已有的研究报道确定的,因多数报道认为生物除盐后分层测定土壤盐分的变化,除盐效果最好的即为此层;另一方面,多数作物70%~80%的根系都分布于此层,在分析或者寻找适合于特定土壤的除盐植物时,重点分析此层的效果对于目标作物的生长意义重大^[18]。

从上述结果可以看出,本研究所选择的4种植物对天津地区温室黄瓜连作引起的次生盐渍化的改良都有一定的作用,但从综合除盐效果,改善不合理的离子比例以及作物的耐盐碱性等方面综合考虑,用高密度(本试验设置的密度)毛苕子来改善天津地区黄瓜连作引起的次生盐渍化的效果将会更有效率,利用毛苕子改良连作黄瓜次生盐渍化的另一个有利方面是:毛苕子为豆科植物,能把土壤中的无机态氮转变为植物体内的有机氮,从而降低土壤溶液的浓度,再把作物杀青变为绿肥,在分解过程中,土壤微生物还能利用土壤中的氮,从另一个方面防止氮过剩。但必须说明的一点是,Garand等^[20]认为,豆科植物属于无效的填闲作物,主要原因是它们自身可以固氮,但它们在一定程度上能够达到填闲作物的效果,而我国研究者并不将豆科植物加以区分。就本试验的研究来看,毛苕子是所选择的4种植物中对天津黄瓜次生盐渍化土壤改良效果最好的植物,关于毛苕子改善次生盐渍化土壤的机理研究我们将进一步从生理和细胞等方面展开。

参考文献:

- [1] 余海英,李廷轩,周建民.设施土壤次生盐渍化及其对土壤性质的影响[J].土壤,2005,37(6):581-586.
YU Hai-ying, LI Tian-xuan, ZHOU Jian-min. Secondary salinization of greenhouse soil and its effects on soil properties[J]. Soil, 2005, 37(6): 581-586.
- [2] 黄毅,张玉龙.保护地生产条件下的土壤退化问题及其防治对策[J].土壤通报,2004,35(2):212-216.
HUANG Yi, ZHANG Yu-long. The soil degradation problem in greenhouse and control countermeasures[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35(2): 212-216.
- [3] 吴凤芝,刘德,王东凯,等.大棚番茄不同连作年限对根系活力及其品质的影响[J].东北农业大学学报,1997,28:33-38.
WU Feng-zhi, LIU De, WANG Dong-kai, et al. The effects of different years of continuous cropping on the vitality of root systems and their

- qualities in the plastic house tomatoes[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 1997, 28:33-38.
- [4] 张征云, 孙贻超, 孙 静, 等. 天津市土壤盐渍化现状与敏感性评价[J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25(4):954-957.
- ZHANG Zheng-yun, SUN Yi-chao, SUN Jing, et al. GIS-based assessment on sensitivity to soil salinization in Tianjin[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(4):954-957.
- [5] Vos J, Vander Putten P E L. Field observations on nitrogen catch crops. I. Potential and actual growth and nitrogen accumulation in relation to sowing date and crop species[J]. *Plant and Soil*, 1997, 195(2):299-309.
- [6] Kristensen H L, Thorup-Kristensen K. Root growth and nitrate uptake of three different catch crops in deep soil layers[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68:529-537.
- [7] Rinnofner T, Friedel J K, de Kruijff R, et al. Effect of catch crops on N dynamics and following crops in organic farming[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2008, 28:551-558.
- [8] Eichler-Lobermann B, Kohne S, Kowalski B, et al. Effect of catch cropping on phosphorus bioavailability in comparison to organic and inorganic fertilization[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2008, 31(4):659-676.
- [9] 孟艳玲, 刘子英, 李 季. 菜粮轮作对温室土壤盐分和硝态氮含量的影响[J]. *河南农业科学*, 2006(10):81-85.
- MENG Yan-ling, LIU Zi-ying, LI Ji. Effects of vegetable-grain rotation on salt and nitric nitrogen contents in greenhouse soil[J]. *Henan Agriculture Science*, 2006(10):81-85.
- [10] 冯永军, 陈为峰, 张蕾娜, 等. 设施园艺土壤的盐化与治理对策[J]. *农业工程学报*, 2001, 17(2):111-114.
- FENG Yong-jun, CHEN Wei-feng, ZHANG Lei-na, et al. Soil salinization and countermeasures in protected horticulture[J]. *Transactions of the CSAE*, 2001, 17(2):111-114.
- [11] 赵扩元, 李俊良, 刘庆花, 等. 填闲作物对日光温室土壤理化性状及黄瓜产量的影响[J]. *青岛农业大学学报(自然科学版)*, 2007, 24(4):286-290.
- ZHAO Kuo-yuan, LI Jun-liang, LIU Qing-hua, et al. Effects of catch crops on soil physicochemical properties and cucumber yield in solar greenhouse[J]. *Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science)*, 2007, 24(4):286-290.
- [12] 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.
- LI Yuan, SI Li-shan, ZHANG Xue-yan, et al. Comparative study on the effects of catch crops on soil environment in solar greenhouse[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(1):224-229.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- BAO Shi-dan. Soil agricultural chemistry analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [14] 马云华, 魏 珉, 王秀峰. 日光温室连作黄瓜根区微生物区系及酶活性的变化[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(6):1005-1008.
- MA Yun-hua, WEI Min, WANG Xiu-feng. Variation of microflora and enzyme activity in continuous cropping cucumber soil in solar greenhouse[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(6):1005-1008.
- [15] 杨建霞. 日光温室黄瓜连作障碍研究及防治对策[J]. *甘肃农业*, 2005, 11:209.
- YANG Jian-xia. Succession cropping obstacle and the countermeasures in continuous cropping cucumber soil[J]. *Agriculture in Gansu*, 2005, 11:209.
- [16] 孟凡华, 刘仕秀, 田广利. 保护地黄瓜土壤积盐的生理障碍及防止措施[J]. *中国果菜*, 2006(1):33.
- MENG Fan-hua, LIU Shi-xiu, TIAN Guang-li. The physiological barrier of the protection cucumber soil salinization and its prevention measures[J]. *China Fruit & Vegetable*, 2006(1):33.
- [17] Guo R, Li X, Christie P, et al. Influence of root zone nitrogen management and a summer catch crop on cucumber yield and soil mineral nitrogen dynamics in intensive production systems[J]. *Plant and Soil*, 2008, 313:55-70.
- [18] 蔺海明, 贾恢先, 张有福, 等. 毛苕子对次生盐碱地抑盐效应的研究[J]. *草业学报*, 2003, 12(4):58-62.
- LIN Hai-ming, JIA Hui-xian, ZHANG You-fu, et al. Effect of salt restraint on vicia villosa in secondary salinization land[J]. *Acta Pratacul-turae Sinica*, 2003, 12(4):58-62.
- [19] 李文庆, 李光德, 骆洪义. 大棚栽培对土壤盐分状况影响的研究[J]. *山东农业大学学报*, 1995, 26(2):165-169.
- LI Wen-qing, LI Guang-de, LUO Hong-yi. Effect of greenhouse usage on soil salt[J]. *Journal of Shandong Agricultural University*, 1995, 26(2):165-169.
- [20] Garand M J, Simard R R, MacKenzie A F, et al. Underseeded clover as a nitrogen source for spring wheat on a Gleysol[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 2001, 81(1):93-102.