

# 不同改良措施对保护地土壤盐分积累及离子组成的影响

李 杰<sup>1</sup>, 姬景红<sup>2</sup>, 李玉影<sup>2</sup>, 刘双全<sup>2</sup>, 郑 雨<sup>3</sup>, 迟凤琴<sup>2</sup>

(1. 东北农业大学 资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所, 黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室, 黑龙江省肥料工程技术研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 海南大学 农学院, 海南 海口 570228)

**摘 要:**以哈尔滨市道里区薛家镇建国村 20 a 棚龄的典型保护地土壤为研究对象, 种植作物为番茄, 研究不同施肥及改良剂措施对保护地土壤 pH、电导率、盐分含量及离子组成的影响, 并分析了各因素之间的关系。结果表明:与农民习惯施肥相比, 测土施肥、优化施肥、施入腐植酸钾和沸石均能提高土壤 pH、降低电导率及盐分含量, 以优化施肥+腐植酸钾+沸石效果最佳, 其 pH、电导率及全盐量与不施化肥处理相差不多, 比种植前及农民习惯施肥 pH 分别提高 0.50 和 0.48 个单位;电导率分别降低 0.07 和 0.21 mS/cm;全盐量分别降低 10.94% 和 29.84%。该试验设施土壤中阳离子以  $\text{Ca}^{2+}$  为主, 其次为  $\text{Na}^+$ , 阴离子以  $\text{SO}_4^{2-}$  为主, 其次为  $\text{HCO}_3^-$ 。腐植酸钾降低  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$  效果优于沸石;沸石降低  $\text{K}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$  效果优于腐植酸钾, 降低  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  效果与腐植酸钾相当。相关分析表明, 设施土壤电导率与全盐量之间呈极显著线性正相关, pH 与全盐量之间呈显著线性负相关。科学减少肥料用量和合理施用改良剂对于保护地土壤改良及防治盐基离子过量积累十分必要。

**关键词:**保护地土壤;改良措施;盐分离子;电导率;pH

**中图分类号:**S 156 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)07-0159-06

设施蔬菜栽培具有受季节影响小、复种指数高、产出高、见效快等优点, 种植面积正在不断扩大。近几年我国设施蔬菜以每年 10% 左右的速度在增长, 2010 年种植面积已达 466.7 万  $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>。哈尔滨地区保护地蔬菜栽培历史悠久, 至 2010 年, 哈尔滨市设施蔬菜面积已达 10 667  $\text{hm}^2$ , 其中, 蔬菜温室 1 667  $\text{hm}^2$ , 蔬菜大、中棚 9 000  $\text{hm}^2$ 。由于设施土壤长期处于高温、高湿、高施肥量的特殊生态环境条件, 加上无降水淋洗、土地的超负荷利用导致土壤物理及化学性质发生了改变。随着栽培年限的不断增长, 出现了不同程度的次生盐渍化、养分不平衡、酸化等诸多生产问题, 其中最为突出的问题是土壤次生盐渍化<sup>[2]</sup>, 严重的甚至废弃, 造成巨大的经济损失。因此, 设施土壤的改良是迫切需要探索和解决

的重要课题。

刘德等<sup>[3]</sup>在对哈尔滨市郊蔬菜大棚土壤及其附近露地的土壤盐分状况研究表明, 大棚土壤总盐量高于露地 2.1~13.4 倍, 并随棚龄的增加而增加。露地改为保护地 10 a 左右土壤的平均含盐量上升至 1.56 g/kg;保护地土壤酸化趋势明显<sup>[4]</sup>。目前, 有关保护地土壤盐分积累及离子组成方面的研究多集中在不同年限保护地土壤或限于露地与保护地土壤的比较上, 而有关不同改良措施对盐分积累特征方面的研究较少。该试验选取哈尔滨市道里区薛家镇建国村棚龄为 20 a 的典型保护地, 研究不同施肥改良措施对保护地土壤盐分积累及离子组成的影响, 为保护地合理施肥、土壤改良、降低盐害, 为达到资源的可持续利用提供科学的理论依据和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验设在哈尔滨市道里区薛家镇建国村, 保护地棚龄为 20 a。供试土壤类型黑土, 种植前 0~20 cm 土壤基本理化性质见表 1。

**第一作者简介:**李杰(1980-), 女, 在读硕士, 研究方向为土壤改良及土壤肥力。E-mail:lijie1980828@sina.com。

**责任作者:**迟凤琴(1963-), 女, 博士, 研究员, 硕士生导师, 现主要从事土壤肥力方面研究工作。E-mail:fqchi@yahoo.com.cn。

**基金项目:**黑龙江省农业科学院院级课题资助项目。

**收稿日期:**2012-01-13

表 1

供试土壤基本化学性质

有机质/g·kg <sup>-1</sup>	全氮/g·kg <sup>-1</sup>	全磷/g·kg <sup>-1</sup>	全钾/g·kg <sup>-1</sup>	速效氮/mg·kg <sup>-1</sup>	速效磷/mg·kg <sup>-1</sup>	速效钾/mg·kg <sup>-1</sup>	电导率 EC/mS·cm <sup>-1</sup>	pH(水:土=2.5:1)
31.80	2.40	3.48	26.21	248.9	366.9	146.4	0.29	6.30

## 1.2 试验材料

尿素(含 N $\geq$ 46%);二铵(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> $\geq$ 46%,N $\geq$ 18%);硫酸钾(含 K<sub>2</sub>O $\geq$ 50%);氯化钾(含 K<sub>2</sub>O $\geq$ 60%);腐植酸钾(黑色粉末状,含腐殖酸 $\geq$ 55%,K<sub>2</sub>O $\geq$ 8%~11%,pH 9.0~10.0);沸石(粉末状,粒径 100~150 目,硅氧四面体和铝氧四面体组成,成分以含钙、钠为主,阳离子交换量为 150 cmol/kg);叶面肥为哈尔滨科隆农业科技开发有限责任公司生产“穗隆丰”多元微肥(主要成分为:锌、硼、铜、锰、腐殖酸等);有机肥为猪粪(含有机质 182.0 g/kg,全 N 10.8 g/kg,全 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 64.6 g/kg,全 K<sub>2</sub>O 12.8 g/kg,pH 8.22,盐分 10.2 g/kg)。

## 1.3 试验方法

试验设 7 个处理,分别为处理 1 不施化肥、处理 2 农民习惯施肥、处理 3 测土施肥、处理 4 优化施肥、处理 5 优化施肥+腐植酸钾、处理 6 优化施肥+沸石、处理 7 优化施肥+腐植酸钾+沸石。其中处理 2 农民习惯处理的氮、磷、钾用量是根据对建国一村及周边大棚蔬菜种植区 57 个有代表性农户施肥量的调查,统计分析取平均值。处理 3 测土施肥处理氮、磷、钾用量是在对该试验大棚土壤及有机肥测定的基础上,按照目标产量

105 t/hm<sup>2</sup>,番茄每形成 1 000 kg 果实需吸收氮(N) 4.0 kg、磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)1.8 kg、钾(K<sub>2</sub>O)4.8 kg<sup>[5]</sup>,根据目标产量法计算获得施肥量,其中 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>施用量均为 0。而夏立忠等<sup>[6]</sup>研究表明,厩肥虽然向土壤提供了 N 素,但不能提高土壤速效 N 素含量以满足作物生长的阶段需求,化学态氮素补充对提高设施栽培作物产量是必要的。因此,根据黑龙江省番茄氮、磷、钾的推荐施肥比例为 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=1.3:0.6:1.1<sup>[5]</sup>,设定处理 4 优化施肥处理 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 用量为 180、90、150 kg/hm<sup>2</sup>。处理 5、6 和 7 是在处理 4 基础上分别施用腐植酸钾和沸石改良剂。

小区面积 20 m<sup>2</sup>,随机区组排列,3 次重复。各处理定植前施腐熟的猪粪 75 t/hm<sup>2</sup> 为基肥,养分量及试验处理见表 2。番茄品种为“金牌粉冠王”,2011 年 6 月 1 日定植,定植保苗(5.25~5.40)万株/hm<sup>2</sup>,前茬生菜。番茄移栽前沟施磷酸二铵和硫酸钾,第 1、2、3 和 4 穗果膨大期分 4 次追施尿素。6 月 1 日施基肥;4 次追肥日期分别为 7 月 11、21、29 日和 8 月 3 日。番茄留 4 穗果,每穗留 4~5 个果。于番茄拉秧后 1 周,采用“S”点取样法,采集各处理 0~20 cm 土壤样品。

表 2

试验处理及化肥用量、施用方式

处理	试验处理	养分量 N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :K <sub>2</sub> O/kg·hm <sup>-2</sup>	施肥方式
1	不施化肥	0:0:0	—
2	农民习惯施肥	360:260:70	磷、钾全部作基肥,氮 1/3 作基肥,2/3 作追肥,分 4 次施
3	测土施肥	0:0:130	钾全部作基肥;喷施叶面肥 3 次
4	优化施肥	180:90:150	磷全部作基肥,钾 1/2 作基肥,1/2 作追肥于番茄第 1 穗果膨大期追施。氮 1/3 作基肥,2/3 作追肥,分 4 次施;喷施叶面肥 3 次
5	优化施肥+腐植酸钾	180:90:150+腐植酸钾 375	氮磷钾肥施用同处理 4;腐植酸钾 2/3 基施,1/3 于番茄第 1 穗果膨大期追施;喷施叶面肥 3 次
6	优化施肥+沸石	180:90:150+沸石 900	氮磷钾肥施用同处理 4;沸石全部基施;喷施叶面肥 3 次
7	优化施肥+腐植酸钾+沸石	180:90:150+腐植酸钾 375+沸石 900	氮磷钾肥施用同处理 4;腐植酸钾 2/3 基施,1/3 于番茄第 1 穗果膨大期追施;沸石全部基施;喷施叶面肥 3 次

## 1.4 测定方法

土壤有机质全氮、磷、钾、速效氮、磷、钾用常规方法测定<sup>[7]</sup>,土壤酸碱度(pH)测定采用电位法(水土比为 2.5:1)测定;电导率(EC)测定采用电导仪测定法(水土比为 5:1)测定;CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 采用双指示剂中和法测定;Cl<sup>-</sup> 采用硝酸银滴定法测定;SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 采用 EDTA 间接滴定法测定;Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 采用 EDTA 络合滴定法测定;Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup> 采用火焰光度法测定;测定方法参考 LY/T 1251-1999<sup>[8]</sup>。

## 1.5 数据分析

数据处理采用 DPS 7.05 及 Excel 2007 进行统计分析。

## 2 结果与分析

## 2.1 不同改良措施对保护地土壤 pH 及电导率的影响

由图 1 可知,种植一茬番茄后,不同改良处理土壤 pH 均较定植前有所提高。处理 5、6、7 分别比定植前土壤 pH 提高 0.25、0.61 和 0.50 个单位。番茄拉秧后,不同处理土壤 pH 大小顺序为处理 6>处理 1>处理 7>处理 3>处理 5>处理 4>处理 2。处理 1 没施化肥,处理 2、3 和 4 化肥施用量不同,其中处理 2 土壤 pH 显著低于处理 4,而处理 4 又显著低于处理 1 和 3。说明,土壤 pH 的降低与尿素氮肥的大量施用密切相关。处理 4、5、6 和 7 化肥施用量相同,其中,处理 5、6 和 7 显著高于处理 4。说明施入腐植酸钾和沸石均可提高土壤 pH。

其原因可能主要是由于沸石中含有碱金属或碱土金属的铝硅酸矿物在提高 pH 中起了作用。腐植酸钾是经褐煤精选,用 KOH 液体反应提取后的一种高分子非均一的芳香族羟基羧酸盐,溶于水,呈碱性,使土壤 pH 略有增加。

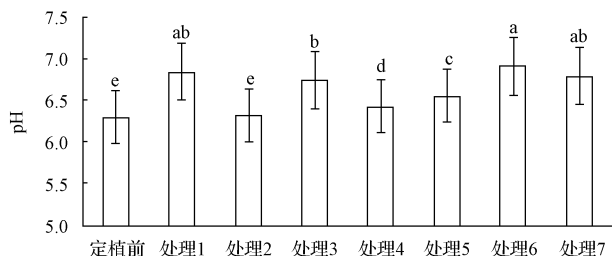


图1 不同改良措施的土壤 pH

由图2可知,种植一茬番茄后,处理2、3和4土壤 EC 值高于定植前,其中处理2最高达到 0.43 mS/cm,比定植前高出 0.14 mS/cm;而处理1、5、6和7土壤 EC 值则低于定植前,尤以处理1和7效果最明显,分别比种植前下降 0.08 和 0.07 mS/cm。各处理中以处理2农民习惯施肥土壤电导率最高,除与处理4相差不多外,均显著高于其它各处理;处理3、5、6和7与处理1差异不显著。可见农民大量施肥导致土壤电导率升高,而采取测土施肥、优化施肥+腐植酸钾和优化施肥+沸石以及优化施肥+腐植酸钾+沸石均具有降低土壤电导率、改良土壤的作用,以处理7优化施肥+腐植酸+沸石效果最佳。

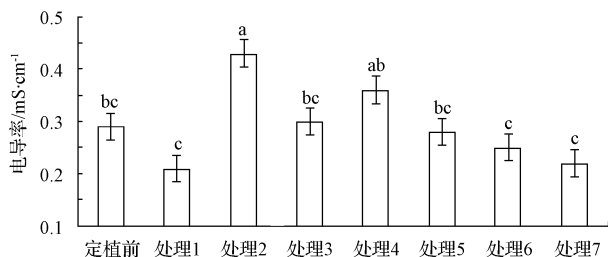


图2 不同改良措施的土壤电导率

## 2.2 不同改良措施对保护地土壤盐分积累及离子含量变化的影响

由表3可以看出,除处理1和7土壤全盐含量较定

表3 不同改良措施对保护地土壤盐分积累及离子含量变化的影响

g/kg

处理	阳离子				阴离子				全盐量
	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	
定植前	0.017	0.159	0.118	0.037	0.171	0.054	0.376	0.000	0.932
1	0.012cd	0.101c	0.164d	0.039b	0.112cd	0.053cd	0.305d	0.000	0.786d
2	0.010d	0.140a	0.238a	0.052a	0.153a	0.081a	0.509a	0.000	1.183a
3	0.018a	0.106bc	0.175cd	0.039b	0.104d	0.060bc	0.515a	0.000	1.017c
4	0.019a	0.110bc	0.185bc	0.041b	0.128b	0.067b	0.546a	0.000	1.096b
5	0.017ab	0.104c	0.157d	0.040b	0.126b	0.065b	0.457b	0.000	0.967c
6	0.014bc	0.115b	0.202b	0.042b	0.116c	0.051d	0.449b	0.000	0.989c
7	0.012cd	0.102c	0.167cd	0.035b	0.102d	0.057cd	0.355c	0.000	0.830d

注:表中数据为种植一茬番茄后盐分离子量的平均值,小写字母表示处理间差异达5%显著水平。

从不同改良措施对土壤各盐基离子影响的比较来看。除 K<sup>+</sup> 和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 外,与农民习惯施肥相比,优化施肥

植前有所降低外,其它处理均有所升高。其中,处理1、7较定植前土壤全盐量下降 0.146 和 0.102 g/kg,分别降低了 15.67% 和 10.94%,而处理2的全盐量则比种植前增加 0.251 g/kg,增加了 26.93%,这主要与处理2农民大量施用化肥有关。处理5和6与种植前相差不多,表明,施用腐植酸钾降低土壤全盐量的效果略好于沸石,该结果与马献发等<sup>[9]</sup>的研究结果一致。从不同改良措施对土壤全盐量的比较来看。土壤全盐含量范围大小顺序为处理2>处理4>处理3>处理6>处理5>处理7>处理1。其中处理7全盐量比处理2和4分别降低了 29.84% 和 24.27%。处理3、5、6之间全盐量差异不显著,显著低于处理4,可见,优化施肥的基础上施用改良剂或减少肥料用量均可达到降低土壤盐分的效果,同时也说明施肥量的高低是影响土壤盐分积累的重要因素。

该试验保护地土壤中阳离子、阴离子分别占全盐量的 35.77% 和 64.23%。其中阳离子含量大小顺序为 Ca<sup>2+</sup> > Na<sup>+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup>, 分别占盐基离子总量的 18.76%、11.33%、4.19%、1.49%,其中 Ca<sup>2+</sup> 占阳离子总量的 35.72%~54.09%。李文庆等<sup>[10]</sup>研究表明,采用大棚栽培蔬菜之后阳离子以 Ca<sup>2+</sup> 含量最多,与露地相比增加达到显著水平,这与大量磷肥的施用有关,在阳离子中,Na<sup>+</sup> 含量分别是 Mg<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup> 含量的 2.7 倍和 7.6 倍,Na<sup>+</sup> 的增加拮抗作物根系对 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup> 吸收,加剧了盐害。阴离子含量大小顺序为 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> > Cl<sup>-</sup>, 分别占盐基离子总量的 45.67%、12.25%、6.33%,其中 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 占阴离子总量的 52.53%~65.18%。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup> 的增多可以抑制 HPO<sub>4</sub><sup>-</sup> 的吸收,导致植物营养不良,并且由于保护地的长时间密闭,作物呼吸消耗和外界供应不足,导致 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 的不足,在保护地土壤中 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 未检出。研究表明,该保护地土壤盐基离子以阴离子占绝对优势,这是由于土壤胶体一般带有负电荷,故阴离子不易被土壤胶体吸附和利用,另外设施土壤常年大量的施用酸性肥料、加大了酸根离子的积累。

及施用腐植酸钾和沸石均可降低土壤中各盐基离子的含量。各改良措施在降低盐基离子上,均表现为处理7

最好。处理 7 的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^{+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  分别比处理 2 降低 34.03%、27.14%、32.69%，处理 7 的  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^{-}$ 、 $\text{Cl}^{-}$  分别比处理 2 降低 30.26%、33.33%、37.04%，腐植酸钾在降低  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^{+}$  含量方面效果优于沸石；沸石在降低  $\text{K}^{+}$ 、 $\text{HCO}_3^{-}$ 、 $\text{Cl}^{-}$  含量方面效果优于腐植酸钾，在降低  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  含量方面与腐植酸钾效果相当。另外，仅施用钾肥的处理 3 各离子含量也较低，除  $\text{K}^{+}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  外，其它盐基离子与对照相差不多。可见，科学减少肥料用量和合理施用改良剂对于保护地土壤改良及防止盐基离子过量积累十分必要。

### 2.3 土壤全盐量与电导率及 pH 的关系

将不同处理的设施土壤全盐量与电导率和 pH 分别进行了相关性分析(图 3、4)。由图 3 可知，土壤全盐量与电导率之间呈极显著线性正相关，相关方程式为  $y=0.539x-0.236$  ( $r=0.9484^{**}$ ,  $n=7$ ,  $r_{0.01}=0.8745$ )，式中  $y$  为电导率  $\text{EC}(\text{mS}/\text{cm})$ ， $x$  为全盐量  $(\text{g}/\text{kg})$ ，即保护地土壤的电导率随全盐量的增加而增加；由图 4 可知，设施土壤 pH 与全盐量之间呈显著线性负相关，即保护地土壤酸碱度随着全盐量的增加而降低，相关方程式为  $y=-1.2601x+7.8949$  ( $r=0.7785^{*}$ ,  $n=7$ ,  $r_{0.05}=0.7545$ )，式中  $y$  为 pH， $x$  为全盐量  $(\text{g}/\text{kg})$ 。

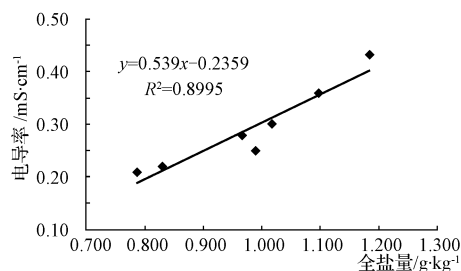


图 3 土壤电导率与全盐量的关系

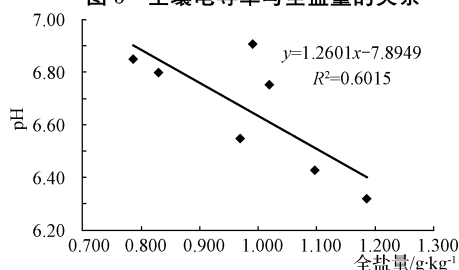


图 4 土壤 pH 与全盐量的关系

### 2.4 土壤全盐量与盐基离子的关系

将不同改良措施条件下的保护地土壤全盐量和各离子组成进行了相关分析，以深入了解分析各离子与全盐量的联系，从而为科学改良设施土壤提供理论依据。由表 4 可知，除  $\text{K}^{+}$  与全盐量的关系不显著外，其它各离子与全盐量相关性均达到了 5% 显著水平，其中  $\text{Na}^{+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^{-}$  含量与全盐量呈线性关系，相关系数分别为 0.7908\*、0.7865\*、0.7854\*，其中  $\text{SO}_4^{2-}$  含量与全盐量呈线性相并达到极显著水平，相关系数为 0.916\*\*。

在不同改良措施中保护地土壤的全盐量均随着  $\text{Na}^{+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{HCO}_3^{-}$ 、 $\text{Cl}^{-}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  含量的增加而增加。因此，降低这些富集在土壤中的相关盐基离子是改良设施土壤积盐问题的关键。

表 4 盐基离子组成(x)及其与全盐量(y)的相互关系

离子	平均值/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	占全盐量/%	与全盐的关系	相关系数 r
$\text{K}^{+}$	0.015	1.49	$y=12\ 842x^2-368.56x+3.4933$	0.7262
$\text{Na}^{+}$	0.111	11.33	$y=8.0825x+0.0828$	0.7908*
$\text{Ca}^{2+}$	0.184	18.76	$y=3.729x+0.2950$	0.7530*
$\text{Mg}^{2+}$	0.041	4.19	$y=20.76x+0.1270$	0.7865*
$\text{HCO}_3^{-}$	0.120	12.25	$y=6.0349x+0.2561$	0.7611*
$\text{Cl}^{-}$	0.062	6.33	$y=10.682x+0.3183$	0.7854*
$\text{SO}_4^{2-}$	0.448	45.67	$y=1.442x+0.3350$	0.9164**

注： $n=7$ ,  $r_{0.01}=0.8745$  表示相关性达到 1% 显著水平， $r_{0.05}=0.7545$  表示相关性达到 5% 显著水平。

## 3 讨论

### 3.1 改良剂对土壤盐基离子的作用

在施用相同化肥量的条件下，处理 5 增施含 8%~11%  $\text{K}_2\text{O}$  的腐植酸钾， $\text{K}^{+}$  含量与处理 4 相差不多，处理 6 增施沸石，处理 7 同时增施腐植酸钾和沸石， $\text{K}^{+}$  含量显著低于处理 4。这可能一方面是由于腐植酸钾的施入促进了番茄对  $\text{K}^{+}$  的吸收利用<sup>[11]</sup>，腐植酸钾抑制土壤中阳离子的增加，另一方面是沸石的阳离子交换吸附作用，其成分中的钠、钙离子可与水溶液中的钾、镁等离子交换。

在施用不同化肥量的条件下，处理 2 农民习惯施肥除  $\text{K}^{+}$  含量显著低于处理 3 测土施肥和处理 4 优化施肥外，其它盐基离子含量均显著高于处理 3 和 4。其主要原因是由于处理 2 仅施用硫酸钾 70  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ，而测土施肥和优化施肥施用硫酸钾分别为 130 和 150  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。处理 7 虽然施用硫酸钾 150  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ，但  $\text{K}^{+}$  显著低于处理 2，可见优化施肥+腐植酸钾+沸石具有降低  $\text{K}^{+}$  的作用。

该试验研究结果表明，与农民习惯施肥相比，施用腐植酸钾和沸石均可降低土壤中各盐基离子的含量。主要是由于腐植酸钾具有很强的阳离子交换量，且施入土壤中的腐植酸钾含有腐植酸  $\geq 55\%$ ，腐植酸由于含有各种官能团，可以有效抑制土壤中水溶性  $\text{K}^{+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  等盐基离子的增加，进而降低土壤的电导率<sup>[12]</sup>。而沸石晶体结构是由硅(铝)氧四面体连成三维的格架，格架中有各种大小不同的空穴和通道，比表面积大，阳离子交换量大，离子的吸附量大，故对降低阳离子有很好的辅助作用。

### 3.2 设施土壤盐基离子的比例

大量研究表明设施土壤中阴离子以  $\text{NO}_3^{-}$  含量占有绝对优势<sup>[13-14]</sup>。李文庆等<sup>[10]</sup>研究了山东 3 种土壤类型的设施蔬菜地，除棕壤阴离子以  $\text{HCO}_3^{-}$  为主，其次为  $\text{SO}_4^{2-}$  外，褐土和潮土均以  $\text{SO}_4^{2-}$  含量最高；该试验研究结



果表明,  $\text{SO}_4^{2-}$  占阴离子总量的 52.53%~65.18%, 与曾希柏等<sup>[15]</sup>在未检测  $\text{NO}_3^-$  含量条件下, 研究的设施土壤中阴离子以  $\text{SO}_4^{2-}$  为主, 占阴离子总量的 62.4% 结果一致。可见, 土壤中  $\text{SO}_4^{2-}$  对设施土壤酸化、盐渍化的影响不容忽视。该研究考虑到在蔬菜种植过程中,  $\text{NO}_3^-$  随土壤含水量、氮肥施用时间、取样时期等因素影响大, 且在土中移动性强, 故该试验也未对  $\text{NO}_3^-$  进行分析<sup>[15]</sup>, 但  $\text{NO}_3^-$  积累对设施土壤次生盐渍化的影响十分重要, 有待进一步深入研究。

#### 4 结论

采取不同改良措施种植一茬番茄后, 土壤 pH 均较定植前有所提高。施入腐植酸钾和沸石均可提高土壤 pH, 保护地土壤 pH 的降低与尿素氮肥的大量施用密切相关。

采取测土施肥、优化施肥+腐殖酸钾和优化施肥+沸石以及优化施肥+腐殖酸钾+沸石等改良措施均具有降低土壤电导率、改良保护地土壤的作用, 以优化施肥+腐殖酸钾+沸石效果最佳。

各改良措施在降低全盐量和盐分离子上, 均表现为优化施肥+腐殖酸+沸石效果最好。其中腐植酸钾在降低  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  含量方面效果优于沸石; 沸石在降低  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  含量方面效果优于腐植酸钾, 在降低  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{NO}_3^-$  含量方面与腐殖酸钾效果相当。科学减少肥料用量和合理施用改良剂对于保护地土壤改良及防止盐基离子过量积累十分必要。

设施土壤电导率与全盐量之间呈极显著线性正相关, pH 与全盐量之间呈显著线性负相关。

不同改良措施中保护地土壤的全盐量均随着  $\text{Na}^+$ 、

$\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$  含量的增加而增加。降低这些富集在土壤中的相关盐基离子是改良设施土壤积盐问题的关键。

#### 参考文献

- [1] 喻景权. “十一五”我国设施蔬菜生产和科技进步及其展望[J]. 中国蔬菜, 2011(2): 11-23.
- [2] 吴志行. 设施农业[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2001.
- [3] 刘德, 吴凤芝. 哈尔滨市郊蔬菜大棚土壤盐分状况及影响[J]. 北方园艺, 1998(6): 1-2.
- [4] 范庆峰, 张玉龙, 陈重, 等. 保护地土壤盐分积累及其离子组成对土壤 pH 的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(1): 16-19.
- [5] 李玉影, 魏丹. 黑龙江省土壤供钾能力与钾肥效果研究[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011: 177-178, 220.
- [6] 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.
- [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [8] LY/T 1251-1999. 森林土壤水溶性盐分测定[S].
- [9] 马献发, 张继舟. 不同物料组合对设施土壤盐分及白菜产量的影响[J]. 腐植酸, 2009(6): 21-24.
- [10] 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.
- [11] 孙焕焜, 苏长青. 腐植酸钾对黄冠梨土壤肥力的影响[J]. 北方园艺, 2009(7): 100-101.
- [12] 张继舟, 袁磊, 马献发. 腐植酸对设施土壤的养分、盐分及番茄产量和品质的影响研究[J]. 腐植酸, 2008(3): 19-22.
- [13] 薛继澄, 毕德义, 李家金, 等. 保护地栽培蔬菜生理障碍的土壤因子与对策[J]. 土壤肥料, 1994(1): 4-9.
- [14] 范庆峰, 张玉龙, 陈重. 保护地蔬菜栽培对土壤盐分积累及 pH 的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(1): 103-106.
- [15] 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.

(该文作者还有佟玉欣, 单位同第二作者。)

## Effect of Different Improvement Measures on Salt Accumulating and Ion Composition of Protected Soil

LI Jie<sup>1</sup>, JI Jing-hong<sup>2</sup>, LI Yu-ying<sup>2</sup>, LIU Shuang-quan<sup>2</sup>, TONG Yu-xin<sup>2</sup>, ZHENG Yu<sup>3</sup>, CHI Feng-qin<sup>2</sup>

(1. College of Resource and Environmental Sciences, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030; 2. Institute of Soil Fertilizer and Environment Resources, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, The Key Lab of Soil Environment and Plant Nutrition, Research Center of Fertilizer Engineering Technology of Heilongjiang, Harbin, Heilongjiang 150086; 3. College of Agriculture, Hainan University, Haikou, Hainan 570228)

**Abstract:** This paper taking typical protected soil which had planted vegetables for 20 years as research object, planting crops for tomatoes. Test site is located in Jianguo village of Daoli District, Harbin. Effect of different fertilization and improvement measures on soil pH, EC, salt accumulating and ion composition were studied, the relationship between them was analyzed. The results showed that, compared with local farmers traditional fertilization, fertilization by soil test, optimized fertilization, application KHm and Zeolite could improve soil pH, decrease EC and salinity, and the latest treatment had the best effect. It's soil pH, EC and salinity was similar to no fertilization, pH increased by 0.50 and 0.48 units, EC respectively reduced to 0.07 mS/cm and 0.21 mS/cm, salinity decreased by 10.94% and 29.84% respectively

# 氮、磷、钾肥配比对“金寿”杏产量及土壤养分吸收的影响

闫凤岐, 王伟军, 王秀荣, 陈文朝, 李克文

(张家口市农业科学院, 河北 张家口 075000)

**摘要:**以 6 a 生“金寿”杏为试材,通过 4 个氮、磷、钾肥配比田间试验:CK(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=0:0:0)、处理 A(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=2:1:3)、处理 B(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=2:2:3)和处理 C(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=1:1:3),研究其对土壤养分含量、单果重、果实产量和品质的影响。结果表明:施肥可以提高 100 cm 土壤养分含量、单果重和果实产量。在“金寿”杏收获后,A、B 和 C 处理的 100 cm 土层速效钾平均含量分别比 CK 处理提高了 40.16%、37.59%和 56.42%;可溶性固形物含量分别比 CK 提高了 4.26%、6.65%和 7.17%;单株产量也比 CK 分别提高了 16.72%、28.46%和 18.75%;B 处理下单果重、单株产量及折合产量均为最高。综合经济效益,处理 B(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=2:2:3)的效果最佳。

**关键词:**“金寿”杏;养分含量;配比施肥;产量

**中图分类号:**S 662.306<sup>+</sup>.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)07-0164-04

杏(*Prunus armeniaca*)为李属李亚属植物,又称杏子,原产于我国,为干旱、半干旱地区主栽树种之一。2009 年张家口地区杏树面积为 28.99 万 hm<sup>2</sup>,其中仁用杏面积为 24.98 万 hm<sup>2</sup>,鲜食杏为 4.01 万 hm<sup>2</sup>[1],2009 年张家口市鲜食杏产量为 1.94 万 t[2],2010 年鲜食杏产量为 4.54 万 t[3],鲜食杏种植面积和产量逐渐增加。宣化县东望山乡位于内蒙古高原与华北平原过渡地带,属农牧交错带。此地区土壤养分含量低。近年来,已有学者研究了不同氮、磷、钾配比对李[4]和无核黄皮[5]产量和品质的影响,还有学者研究了不同施肥方式对油菜[6]产量、品质及橘园[7]土壤养分分布的影响以及长期施肥方

式下小麦、玉米[8]对养分吸收及土壤剖面养分分布的影响[9],但不同氮、磷、钾肥配比对杏树产量、土壤养分含量及果实品质影响研究较少。因此,通过不同氮、磷、钾配比施肥试验对杏树产量及杏园土壤养分含量分析,可以确定适合当地的合理施肥量,在节约肥料用量、减少投入成本的同时达到丰产、优质的目的。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为 6 a 生“金寿”杏,株行距为 3 m×3 m。供试土壤为壤质栗钙土。供试杏园在河北宣化县西望山村,该区位于东经 115°04'57",北纬 40°45'05",地处华北平原到内蒙古高原的过渡地带,属燕山丘陵区,属典型的黄土丘陵区半干旱大陆性季风气候。田间试验土壤基础理化性质见表 1。

### 1.2 试验方法

试验设每 3 棵杏树为 1 个处理,随机重复 3 次,共 36 棵树。按照 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 的不同比例共设计 4 个

**第一作者简介:**闫凤岐(1979-),男,河北尚义人,本科,助理研究员,现从事果树栽培与育种研究工作。E-mail:zjkyfq@163.com。

**责任作者:**李克文(1956-),男,河北怀安人,本科,研究员,现从事果树栽培与育种研究工作。

**基金项目:**国家行业专项资助项目(201003058-5-3)。

**收稿日期:**2012-01-06

than before planting and farmers traditional fertilization. Ca<sup>2+</sup> in anionic content was most, followed by Na<sup>+</sup>, and by SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, followed by HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> in this test protected soil. In reducing Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> content, application KHm was better than that of Zeolite; Application Zeolite was better than that of KHm in reducing K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, reducing SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Mg<sup>2+</sup> effect was similar. Correlation analysis showed that EC and total salinity had significant linear positive relationship, pH and salinity take on significantly negative correlation in protected soil. It is necessary to improve protected soil and prevent excess accumulation of salt ion by reducing the amount of fertilizer and science reasonable applying ameliorant.

**Key words:** protected soil; improvement measures; salt ions; EC; pH