

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.23590

京郊设施土壤盐分累积及组成变化特征

吴 荣, 刘善江*, 孙 昊, 薛文涛, 杜 颖, 陈 倩, 白 杨

(北京市农林科学院植物营养与资源环境研究所, 北京 100097)

摘 要: 针对北京市郊区设施土壤存在次生盐渍化的问题, 以房山、延庆、密云、大兴、昌平地区规模化设施园区为研究对象, 采用田间随机取样的方法, 对 5 个地区主要栽培类型的设施园区土壤盐分累积和组成变化进行研究, 以为设施栽培的科学管理和高效施肥提供参考。结果表明, 79% 的点位土壤全盐量 ≥ 2.0 g/kg, 69.3% 的点位电导率 ≥ 50 mS/m, 次生盐渍化趋势明显; 监测园区的盐分离子均有一定程度的富集, 不同地区盐分离子累积存在一定差异; 除 HCO_3^- 外, K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 的累积在一定程度上均造成了土壤的次生盐渍化, 其中阳离子以 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为主, 阴离子以 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 为主; 京郊设施土壤盐分组成主要以硝酸盐和硫酸盐的形式存在。针对北京郊区存在盐分累积现象, 建议开展有机肥料的筛选和品质质量检测, 同时加强水肥管理, 避免加重土壤次生盐渍化程度。设施生产中不仅要注重经济效益, 更应该关注土壤的健康状况, 以实现设施生产可持续发展目标。

关键词: 设施土壤; 次生盐渍化; 盐分离子; 离子组成

设施栽培已成为我国蔬菜种植的重要生产方式, 且增加了农民收入, 取得了良好的社会和经济效益^[1-2], 越来越受到各级政府的高度重视。农业农村部计划到 2025 年以设施栽培为主的种植总面积稳定在 200 万 hm^2 以上^[3-4], 2021 年北京市设施蔬菜面积约 2.69 万 hm^2 , 产量 95.3 万 t, 产值 40.0 亿元^[5], 这就导致北京设施栽培生产向高产、高效方向发展。但是长期的高集约化、复种指数高和缺少雨水淋洗的特点都会导致设施栽培的次生盐渍化风险^[6-9], 这一定程度上会造成土壤质量下降^[10-11], 在对北京郊区设施栽培的实地调查中发现, 设施栽培条件下, 部分土壤表面有大面积白色盐霜出现, 有的甚至出现紫红色胶状物, 作物长势差, 影响了设施栽培的高效集约和安全优质发展。近年来, 北京市非常重视对盐渍化土壤的防治工作, 因此, 准确及时了解设施土壤中盐分的累积变化规律、离子组成特点有助于实现设施栽培的安全生产和农业可持续发展^[12-13]。国内许多设

施栽培园区都有不同程度的土壤盐分累积现象, 如辽宁、山东、江苏及四川的温室栽培区域内已有 40% ~ 89% 的土壤含盐量超过了作物正常生长的临界浓度^[14]; 我国陕西省重点设施栽培基地土壤次生盐渍化特征明显(电导率 > 50 mS/m)^[15]。然而, 对于北京市设施栽培土壤次生盐渍化特征缺少认识, 本研究以北京市郊区存在盐渍化现象的设施菜田为研究对象, 从调查施肥情况入手, 对京郊设施土壤中盐分的累积变化规律、离子组成特点和影响因素进行剖析。这对于明确京郊设施土壤质量, 设施土壤次生盐渍化现象的发生, 以及京郊设施栽培的科学管理均具有重要的指导意义。

1 材料与方法

1.1 研究方法

本研究采用田间调查、取样和实验室分析相结合的方法进行。

1.1.1 样品采集

根据对北京郊区设施栽培调研以及园区、农户反映情况, 选取房山区、大兴区、延庆区、密云区和昌平区 5 个郊区县, 调查了规模化园区 15 个, 采集设施园区土壤样品 72 个, 其中每个郊区调查 5 个园区, 每个园区 3 个土样。采样时间根据设施大棚种植情况, 均在设施大棚作物拉秧后采集, 采用“S”形取样法, 采集 0 ~ 20 cm 土层土样, 将

收稿日期: 2023-09-20; 录用日期: 2023-12-27

基金项目: 北京市农林科学院创新能力项目(KJGX20220420, KJGX20230304, KJGX20230309); 北京市农林科学院植物营养与资源环境研究所科技创新能力专项(YZS201909)。

作者简介: 吴荣(1988-), 中级工程师, 硕士, 从事土壤改良与施肥技术。E-mail: 750481263@qq.com。

通讯作者: 刘善江, E-mail: liushanjiang@263.net。

采回的样品风干处理，备用。

1.1.2 田间调查

通过实地走访设施园区和农户，填写调查问卷

表，明确采样区的生产情况，包括作物种植方式和施肥种类、用量及典型有机肥基础数据，调研区的基本概况见表 1、2。

表 1 不同采样地点设施生产概况

采样区域	作物种植方式	施肥种类及用量	
		有机肥	化肥
房山	果菜、叶菜轮作一年多茬	堆肥（牛粪、鸡粪）、政府采购有机肥 果菜：150 t/hm ² 叶菜：90 t/hm ²	磷酸二铵、水溶性复合肥 0.80 ~ 1.80 t/hm ²
延庆	果菜、叶菜轮作一年多茬	堆肥（鸡粪、牛粪）、政府采购有机肥 果菜：120 t/hm ² 叶菜：90 t/hm ²	复混肥料 0.63 t/hm ² ，大量元素水溶性肥料 0.50 t/hm ²
密云	果菜、叶菜轮作一年多茬	商品有机肥（鸡粪、牛粪）、政府采购有机肥 果菜：100 t/hm ² 叶菜：60 t/hm ²	磷酸二铵、水溶性复合肥 0.75 ~ 1.50 t/hm ²
大兴	果菜、叶菜轮作一年多茬	堆肥（牛粪、羊粪和少数糠醛渣） 果菜：100 t/hm ² 叶菜：60 t/hm ²	过磷酸钙、水溶性复合肥 0.75 ~ 1.50 t/hm ²
昌平	果菜、叶菜轮作一年多茬	商品有机肥（鸡粪、牛粪） 果菜：120 t/hm ² 叶菜：65 t/hm ²	水溶性复合肥 1.50 ~ 2.50 t/hm ²

表 2 典型有机肥基础数据

有机肥	全氮 (%)	全磷 (P ₂ O ₅ %)	全钾 (K ₂ O %)	有机质 (%)	水分 (%)	pH	水溶性 Na ⁺ (%)	水溶性 Cl ⁻ (%)	水溶性 SO ₄ ²⁻ (%)
羊粪堆肥	2.1	1.4	1.8	30.4	24	9.1	0.51	0.98	0.36
商品鸡粪有机肥	2.6	2.2	1.3	36.2	43.6	7.4	1.48	1.60	1.05
政府采购有机肥	2.02	1.52	1.31	37.9	35.1	9.66	1.23	1.33	0.54
牛粪堆肥	1.68	1.66	2.09	46.42	28.7	9.82	0.84	0.66	0.44
鸡粪堆肥	1.39	1.13	1.43	38.56	26.6	9.74	1.02	1.26	0.52

注：水分以鲜重计，pH 以风干基计，其他项目含量均以干基计。

北京市设施蔬菜有机肥施用品种以鸡粪、牛粪和商品有机肥为主，施用方式以单独施用居多，园区施用化肥以水溶性复合肥为主。果菜有机肥平均施用量 118 t/hm²，叶菜有机肥平均施用量也达到了 73 t/hm²，其中，果菜平均投入 N 1800 kg/hm²、P₂O₅ 1350 kg/hm²、K₂O 1500 kg/hm²。叶菜平均投入 N 1020 kg/hm²、P₂O₅ 810 kg/hm²、K₂O 900 kg/hm²，肥料养分投入量超过作物吸收氮磷钾总养分的 5 倍左右。

1.2 测定项目与方法

土壤样品中各组分的检测方法如下：土壤全盐采用离子加和法测定；电导率采用电导率仪测

定；水溶性 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻ 采用土水比 1 : 10 浸提，电感耦合等离子光谱分析仪上机测定；水溶性 Cl⁻ 采用土水比 1 : 10 浸提，硝酸银滴定法测定；NO₃⁻ 采用 DIONEX 离子色谱 (LC20 Chrom- atophy Enclosure; GP50 Gradient Pump; ED40 Electrochemical Detector) 测定。

有机肥料样品中各组分的检测方法如下：全氮采用硫酸-双氧水凯氏瓶消解，消解液用凯氏定氮仪测定；全磷、全钾以硫酸-双氧水消解，电感耦合等离子发射光谱仪定量分析；有机质以重铬酸钾-硫酸消煮，硫酸亚铁滴定法测定；pH 采用酸度计法测定；水分采用重量烘干法测定；Cl⁻ 采

用返滴定法测定。水溶性 Na^+ 、 SO_4^{2-} 采用硫酸-双氧水凯氏瓶消解, 消解液用电感耦合等离子发射光谱仪测定。

1.3 数据分析

研究结果采用箱线图进行展示, 从每组数据的分布情况、变化范围、集中区域、平均值和中位数多方面对比京郊不同地区设施土壤盐分和盐离子状况的差异。数据采用 SPSS 23.0 进行不同地区设施土壤之间不同指标的相关性检验。

2 结果与分析

2.1 京郊设施土壤耕层全盐量和电导率的特征

京郊不同地区设施土壤全盐含量和电导率特征

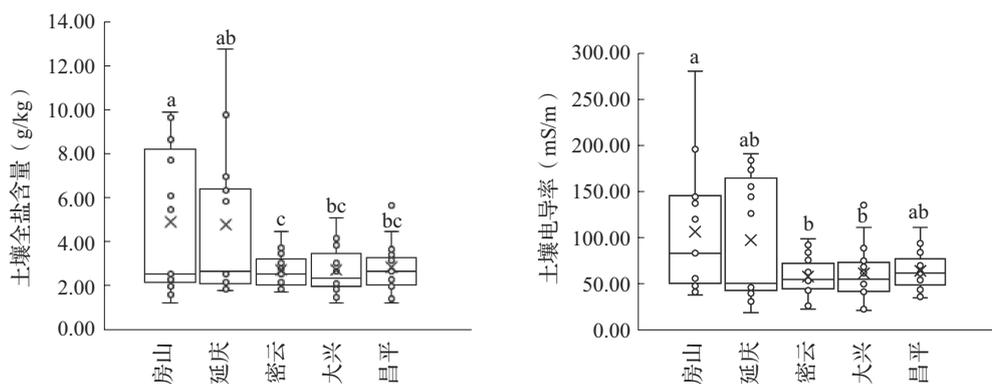


图1 不同地区设施土壤耕层(0~20 cm)全盐量及电导率

注: 箱体上的有相同字母表示处理间在 0.05 水平上无显著性差异。下同。

2.2 京郊设施土壤耕层盐离子含量特征

2.2.1 京郊设施土壤盐分阳离子含量特征

京郊地区设施土壤中盐分阳离子 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量特征如图 2 所示。其中, K^+ 含量密云地区最高, 变化范围在 97.1 ~ 525.0 mg/kg 之间, 平均 299.0 mg/kg, 显著高于大兴地区, 大兴地区 K^+ 含量最低, 平均值为 135.0 mg/kg, 房山、延庆、昌平地区处于中等水平, 差异性不显著; Na^+ 含量表现为昌平地区显著高于除延庆外的其他地区且 Na^+ 含量的变化范围较大, 其次是延庆地区, 房山、密云、大兴地区无显著性差异且分布相对集中; Mg^{2+} 含量表现为房山地区最高, 平均为 161.0 mg/kg, 延庆、大兴、密云、昌平土壤 Mg^{2+} 含量平均值分别为 135.0、116.0、88.7、81.2 mg/kg, 密云、昌平显著低于房山地区; 不同地区设施土壤 Ca^{2+} 差异性较大, 且与全盐含量、电导率呈现相同趋势, 均表现为房山 > 延庆 > 昌平 > 大兴 > 密云, 平均值分别为

如图 1 所示。其中, 土壤全盐含量房山地区最高, 变化范围在 1.24 ~ 9.84 g/kg 之间, 平均为 4.87 g/kg, 显著高于除延庆外的其他地区, 延庆、昌平、大兴、密云地区的平均值递减, 分别为 4.74、2.80、2.72、2.67 g/kg。根据 HJ/T 333—2006《温室蔬菜产地环境质量评价标准》对温室蔬菜产地土壤全盐量指标限值为全盐量 ≤ 2.0 g/kg^[16], 所有监测设施土壤全盐点位超标率为 79%, 表明京郊地区设施大棚的盐分累积。不同地区设施土壤电导率差异性显著, 房山地区和延庆地区电导率分布范围较大, 不同地区设施土壤电导率和全盐含量呈现相同趋势, 均表现为房山 > 延庆 > 昌平 > 大兴 > 密云, 平均值分别为 108.41、99.55、66.42、63.78、60.45 mS/m。

550.0、545.0、366.0、260.0、227.0 mg/kg; 根据不同地区设施土壤 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的数据可知, 京郊设施土壤中 Ca^{2+} 含量高于其他阳离子, 房山、延庆、密云、大兴、昌平 Ca^{2+} 含量分别占阳离子总量的 48.1%、49.7%、30.8%、42.4%、37.4%。

2.2.2 京郊设施土壤盐分阴离子含量特征

由图 3 知, 京郊地区设施土壤中阴离子含量差异较大, CO_3^{2-} 未检出, HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 因区域的不同含量有所差别。昌平地区的 HCO_3^- 含量最高, 平均为 305 mg/kg, 密云地区的 HCO_3^- 含量最低, 平均为 107 mg/kg, 房山、延庆、大兴介于两者之间, 平均值分别为 202、180、218 mg/kg; 昌平地区的 Cl^- 含量也最高, 平均为 428 mg/kg, 分布范围也较大, 房山、延庆、密云、大兴地区平均值分别为 362、331、146、110 mg/kg, 密云、大兴显著低于昌平地区; 不同地区的 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 含量和全盐、电导率、 Ca^{2+} 含量也表现出相同的趋

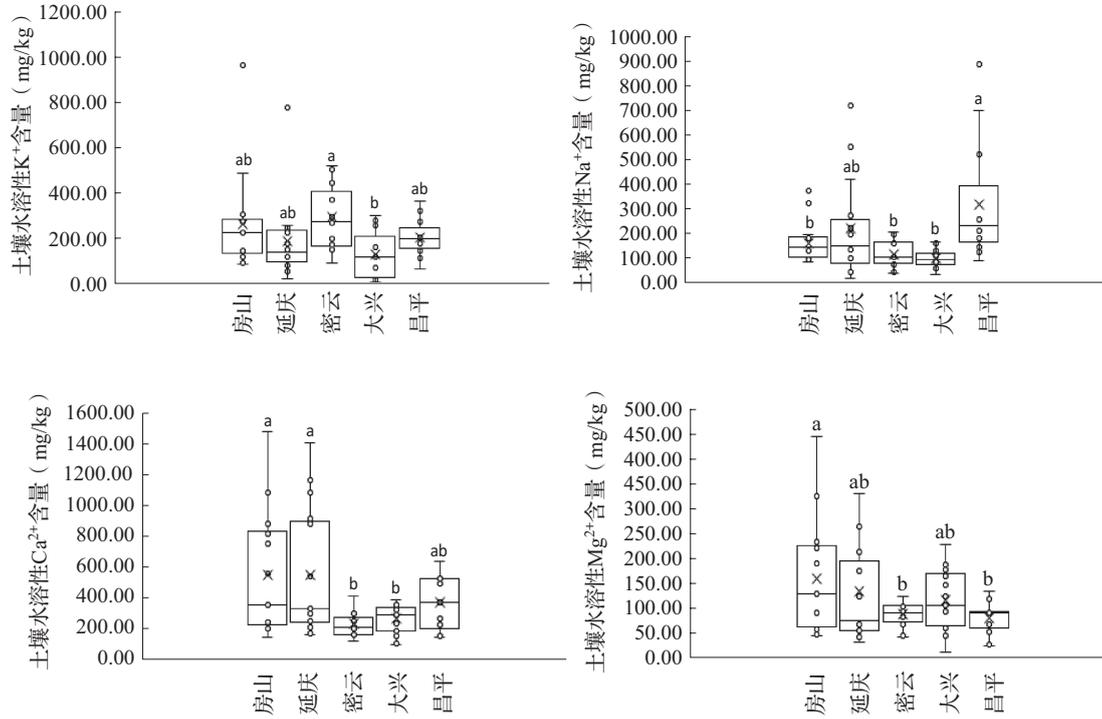


图2 设施土壤耕层(0~20 cm)盐分阳离子含量

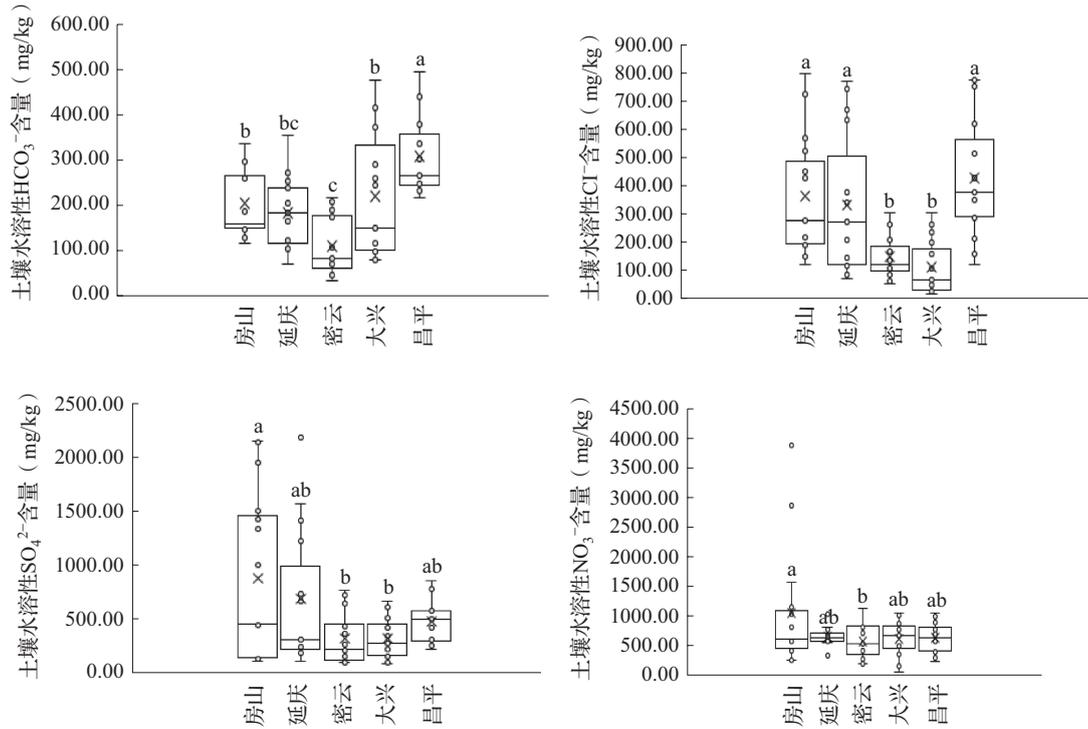


图3 京郊设施土壤耕层(0~20 cm)盐分阴离子含量

势, 均表现为房山区最高且分布范围较大, 其次是延庆、昌平、大兴、密云, SO₄²⁻ 平均值分别为 884、692、479、329、325 mg/kg, NO₃⁻ 平均值分别

为 1040、648、624、613、562 mg/kg, 京郊设施园区均表现为较严重的 SO₄²⁻ 和 NO₃⁻ 累积, 土壤中过多的 SO₄²⁻ 和 NO₃⁻ 会对作物造成毒害。

2.3 京郊设施土壤耕层盐分组成特征

对监测园区所有样品的全盐量与盐分离子含量进行相关性分析(表3)。结果表明,京郊设施土壤全盐量与阳离子 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量成极显著的正相关,其中与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量相关系数分别达到0.911**、0.913**;与阴离子 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 含量均呈极显著正相关,相关系数分别为0.527**、0.817**、0.613**。 HCO_3^- 与全盐量的变化无显著相关性。说明造成京郊设施土壤次生盐渍化的

阳离子以 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为主,阴离子以 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 为主。进一步对所测定的盐分离子数据进行相关性分析(表3), NO_3^- 含量与 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量呈极显著正相关, SO_4^{2-} 含量与 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量均呈极显著正相关,这可以判断出京郊地区表层土壤盐分主要是硝酸盐和硫酸盐。设施土壤中盐分离子相对组成的变化对于作物的生长和土壤环境质量的变化都有极为重要的影响,硝酸盐和硫酸盐的累积会引起作物的生理障碍。

表3 京郊设施土壤含盐量与其组分相关性分析(n=75)

相关性	全盐量	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-
全盐量	1								
K^+	0.522**	1							
Na^+	0.353**	0.223	1						
Ca^{2+}	0.911**	0.380**	0.196	1					
Mg^{2+}	0.913**	0.483**	0.261*	0.863**	1				
Cl^-	0.527**	0.292*	0.868**	0.405**	0.446**	1			
SO_4^{2-}	0.817**	0.497**	0.370**	0.754**	0.808**	0.481**	1		
HCO_3^-	-0.068	0.091	0.305*	-0.109	0.001	0.429**	-0.133	1	
NO_3^-	0.613**	0.559**	0.085	0.584**	0.671**	0.124	0.388**	0.527**	1

注:*表示显著相关, $P<0.05$;**表示极显著相关, $P<0.01$ 。

3 讨论

3.1 京郊设施土壤全盐量和电导率分布特点

土壤全盐含量和电导率是土壤次生盐渍化的重要指标,盐分胁迫条件会抑制作物的正常生长^[17-19],当电导率达到50 mS/m时,茄果类蔬菜的生长会受到抑制^[20-21]。监测园区有79%点位土壤盐分水平偏高,电导率的超标率也高达69.3%,次生盐渍化趋势明显,应该加强有机肥料的筛选和品质质量检测把关,施用彻底腐熟的有机肥料,避免未彻底腐熟的畜禽粪便肥料施入大棚,因大棚具有高温、强照等特点造成有机肥料迅速分解,大量氨挥发,残留的硫酸盐、有机盐和无机盐富集在土壤中,造成大棚内土壤次生盐渍化现象。同时园区的种植方案应进行适当调整,避免投入肥料养分偏高(表1),过多的养分残留于土壤,导致土壤盐分的累积^[22-24],特别是对全盐含量和电导率较高的房山地区园区。

3.2 京郊设施土壤盐分离子含量特点

土壤盐分离子含量对盐渍化改良和利用有着重要的参考作用^[25]。监测结果表明,所有园区的盐分离子均有一定程度的富集, K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 含量分别在密云、昌平、房山地区最高,平均分别为299、321、549 mg/kg,昌平地区的 HCO_3^- 和 Cl^- 含量最高,平均分别为305和428 mg/kg, Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 含量表现趋势相同,表现为房山区显著高于其他地区且分布范围较大,其次是延庆、昌平、大兴、密云,不同地区的 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 含量均处于较高含量水平以上。土壤中的可溶性盐分会使土壤溶液盐分离子浓度升高,高浓度的盐分离子不仅会降低作物的水分利用率,还会造成离子毒害效应^[26-27]。土壤中 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 的大量富集会增加磷的固定,降低了磷的有效性^[28]。 Cl^- 的大量富集会对作物正常生长产生毒害作用,有关研究表明,当 Cl^- 的含量超过100 mg/kg时,蔬菜作物的生长会有抑制作用^[29],而京郊设施土壤中, Cl^- 在

盐分高的区域已超过此数值。土壤 NO_3^- 含量的富集会引起植株体内硝态氮含量增高,造成蔬菜品质下降^[30]。针对京郊地区盐分离子含量的富集,建议通过合理施肥来控制盐分离子的累积,对大部分园区应加强羊粪有机肥的施入,少施鸡粪有机肥^[31],也可以通过设施大棚的规范管理来调节盐分离子的迁移,避免设施大棚特殊的水肥造成盐分离子的累积、迁移,同时,也应继续加强土壤盐分监测,通过常年监测数据建立预警体系,避免多年不合理设施生产造成的盐分离子快速累积情况发生。

3.3 京郊设施土壤盐分组成特点

本研究结果显示,京郊地区设施土壤全盐量与阳离子 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 均呈极显著相关,与阴离子 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 也呈极显著相关,而与 HCO_3^- 没有显著相关性,与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 相关性系数分别为 0.911^{**}、0.913^{**},与 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 相关性系数分别为 0.817^{**}、0.613^{**},可知京郊设施土壤次生盐渍化阳离子以 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为主,阴离子以 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 离子为主,这与余海英等^[32]的研究结果阴离子以 SO_4^{2-} 为主、阳离子以 Ca^{2+} 为主一致,也与茅国芳等^[33]研究表明全盐量与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 NO_3^- 呈正相关的结果一致。

为进一步研究盐分组成特征,对所测定的盐分离子数据进行相关性分析,以明确京郊地区盐分存在形式,结果显示,京郊设施土壤盐分主要是以硝酸盐和硫酸盐的形式存在,有关学者研究表明^[34-35],设施菜田土壤次生盐渍化主要是因为土壤硝酸盐的积累,硝酸盐不易被土壤胶体吸附,易受水分的迁移方向影响,其在土壤中表现为明显的表聚和向下淋溶特征。因此,硝酸盐的大量累积造成作物生长受阻和向底层迁移造成地下水硝酸盐含量超标,应引起有关部门的重视。目前关于盐分离子对作物生长的毒害研究较多,但是关于不同的盐分形式对作物的生长影响研究较少,应加以重视并进一步深入探讨,对设施土壤盐分离子之间的相关性研究可以很好地预测土壤盐渍化形式,有利于设施蔬菜盐渍化的管理。

4 结论

北京郊区设施土壤有 79% 的点位出现全盐水平高的现象,电导率的超标率为 69.3%;监测园区盐分离子的富集 Ca^{2+} 高于其他阳离子、 SO_4^{2-} 和

NO_3^- 高于其他阴离子,并且不同地区设施土壤的盐分离子累积差异较大; K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 的累积在一定程度上造成了土壤的次生盐渍化,其中阳离子以 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为主,阴离子以 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 为主;京郊设施土壤盐分离子主要以硝酸盐和硫酸盐的形式存在。针对当前北京郊区设施土壤现状,可通过调整种植方案、提高肥料施用技术,加强水肥管理水平来降低盐分离子的累积,有效控制 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 在土壤的累积和迁移是北京地区改良设施土壤次生盐渍化的主要举措。

参考文献:

- [1] 秦巧燕,贾陈忠,曲东,等.我国设施农业发展现状及施肥特点[J].湖北农学院学报,2002,22(4):373-376.
- [2] 张真和,李建伟.我国设施蔬菜产业的发展态势及可持续发展对策探讨[J].沈阳农业大学学报,2000,31(1):4-8.
- [3] 蒋卫杰,邓杰,余宏军.设施园艺发展概况、存在问题与产业发展建议[J].中国农业科学,2015,48(17):3515-3523.
- [4] 农业农村部关于加快推进设施种植机械化发展的意见[Z]//中华人民共和国农业农村部公报.北京:农业农村部公报室,2020:13-15.
- [5] 王爱玲,李凌云,串丽敏,等.北京市设施蔬菜产业现状、问题与对策[J].中国蔬菜,2023(3):8-14.
- [6] 张桃林,李忠佩,王兴祥.高度集约农业利用导致的土壤退化及其生态环境效应[J].土壤学报,2006,43(5):843-850.
- [7] Chen Q, Zhang X S, Zhang H Y, et al. Evaluation of current fertilizer practice and soil fertility in vegetable production in the Beijing region[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2004, 69(1): 51-58.
- [8] 孙晓,庄舜尧,刘国群,等.集约经营下雷竹种植对土壤基本性质的影响[J].土壤,2009,41(5):784-789.
- [9] 郭文忠,刘声锋,李丁仁,等.设施蔬菜土壤次生盐渍化发生机理的研究现状与展望[J].土壤,2004,36(1):25-29.
- [10] 谢承陶,李志杰.有机质与土壤盐分的相关作用及其原理[J].土壤肥料,1993(1):19-22.
- [11] 吴风芝,赵风艳,赵元英.设施蔬菜连作障碍原因综合分析与防治措施[J].东北农业大学学报,2000,31(3):241-247.
- [12] Li J G, Pu L J, Han M F, et al. Soil salinization research in China: advances and prospects[J]. Journal of Geographical Sciences, 2014, 24(5): 943-960.
- [13] 王素平,刘艳,郭世荣.设施土壤次生盐渍化的特征及其对蔬菜作物的危害[J].华中农业大学学报,2004,23(Z2):183-186.

- [14] 余海英, 李廷轩, 周健民. 设施土壤盐分的累积、迁移及离子组成变化特征 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13 (4): 642-650.
- [15] 张艳霞, 陈智坤, 胡文友, 等. 陕西省设施农业土壤退化现状分析 [J]. 土壤, 2020, 52 (3): 640-644.
- [16] HJ/T 333—2006, 温室蔬菜产地环境质量评价标准 [S].
- [17] 杨莉琳, 李金海. 我国盐渍化土壤的营养与施肥效应研究进展 [J]. 中国生态农业学报, 2001, 9 (2): 79-81.
- [18] Shahzad M, Witzel K, Zörb C, et al. Growth-related changes in subcellular ion patterns in maize leaves (*Zea mays* L.) under salt stress [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2012, 198 (1): 46-56.
- [19] Farooq M, Hussain M, Wakeel A, et al. Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review [J]. Agronomy for Sustainable Development, 2015, 35 (2): 461-481.
- [20] 李先珍, 王耀林, 张志斌. 京郊蔬菜大棚土壤盐离子积累状况研究初报 [J]. 中国蔬菜, 1993 (4): 15-17.
- [21] 杨园媛, 贾圣青, 贺晓燕, 等. 日光温室土壤养分变化及次生盐渍化程度与种植年限的关系 [J]. 中国土壤与肥料, 2020 (6): 83-88.
- [22] 余海英, 李廷轩, 张锡洲. 温室栽培系统的养分平衡及土壤养分变化特征 [J]. 中国农业科学, 2010, 43 (3): 514-522.
- [23] 张耀良, 宋科, 金海洋, 等. 浦东新区设施土壤次生盐渍化机理探讨 [J]. 上海农业学报, 2009, 25 (3): 123-126.
- [24] Han J P, Shi J C, Zeng L Z, et al. Effects of nitrogen fertilization on the acidity and salinity of greenhouse soils [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2015, 22 (4): 2976-2986.
- [25] 谭军利, 康跃虎, 焦艳平, 等. 不同种植年限覆膜滴灌盐碱地土壤盐分离子分布特征 [J]. 农业工程学报, 2008, 24 (6): 59-63.
- [26] Rengasamy P. World salinization with emphasis on Australia [J]. Journal of Experimental Botany, 2006, 57 (5): 1017-1023.
- [27] Grewal H S. Water uptake, water use efficiency, plant growth and ionic balance of wheat, barley, canola and chickpea plants on a sodic vertosol with variable subsoil NaCl salinity [J]. Agricultural Water Management, 2010, 97 (1): 148-156.
- [28] Grattan S R, Grieve C M. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops [J]. Scientia Horticulturae, 1999, 78 (14): 127-157.
- [29] 谢建昌, 陈际型. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥 [M]. 南京: 河海大学出版社, 1997: 43-46.
- [30] Wang Z H, Li S X. Effects of N forms and rates on vegetable growth and nitrate accumulation [J]. Pedosphere, 2003, 13 (4): 309-316.
- [31] 吴荣, 杜颖, 刘善江, 等. 不同有机肥料同一施氮水平对设施土壤的改良效应 [J]. 中国土壤与肥料, 2022 (12): 27-35.
- [32] 余海英, 李廷轩, 周健民. 典型设施栽培土壤盐分变化规律及潜在的环境效应研究 [J]. 土壤学报, 2006, 43 (4): 571-576.
- [33] 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.
- [34] 薛继澄, 李加金, 毕德义, 等. 保护地栽培土壤硝酸盐积累对辣椒生长和锰含量的影响 [J]. 南京农业大学学报, 1995, 18 (1): 53-57.
- [35] 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.

Characteristics of salt accumulation and composition change in facilities in Beijing suburbs

WU Rong, LIU Shan-jiang*, SUN Hao, XUE Wen-tao, DU Ying, CHEN Qian, BAI Yang (Institute of Plant Nutrition, Resources and Environment, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097)

Abstract: In view of the phenomenon of secondary salinization in the soil of facilities in suburban areas of Beijing, the soil salt accumulation and composition changes in the large-scale facilities parks in Fangshan, Yanqing, Miyun, Daxing and Changping were studied by random sampling method in the field, in order to provide reference for the scientific management of facilities cultivation and efficient fertilization. The results showed that the total salt content of 79% soil samples was ≥ 2.0 g/kg, the conductivity of 69.3% soil samples was ≥ 50 mS/m, and the secondary salinization trend was obvious. The concentration of salt ions in the monitoring parks was enriched to a certain extent, and the accumulation of salt ions in different regions was different. In addition to HCO_3^- , the accumulation of K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} and NO_3^- all resulted in soil secondary salinization to a certain extent, in which the cations were mainly Ca^{2+} and Mg^{2+} , and the anions were mainly SO_4^{2-} and NO_3^- . The soil salinity in Beijing suburban facilities mainly existed in the form of nitrate and sulfate. The phenomenon of salt accumulation existed in the suburbs of Beijing. It was suggested to carry out the screening and quality inspection of organic fertilizers and strengthen the management of water and fertilizer to avoid aggravating the degree of soil secondary salinization. In facility production, we should not only pay attention to economic benefits, but also pay attention to the health of soil in order to achieve the sustainable development goal of facility production.

Key words: facility soil; secondary salinization; salt ion; ionic composition