

# 冀中南种植黄瓜设施土壤盐分、 酸碱性和养分状况分析

蒋龙刚<sup>1,2</sup>, 王丽英<sup>1,2</sup>, 李若楠<sup>1,2</sup>, 郭 丽<sup>1,2</sup>, 任燕利<sup>1,2</sup>, 史建硕<sup>1,2\*</sup>, 王 平<sup>3</sup>, 李建波<sup>4</sup>

(1. 河北省农林科学院农业资源环境研究所, 河北石家庄 050051; 2. 河北省肥料技术创新中心, 河北石家庄 050051;  
3. 河北省农业技术推广总站, 河北石家庄 050000; 4. 藁城区土壤肥料工作站, 河北藁城 052160)

**摘 要:** 【目的】明确冀中南种植黄瓜设施土壤盐分、酸碱性和养分状况, 为提高土壤质量及农业绿色发展提供依据。【方法】于 2015 年在冀中南地区 6 个黄瓜设施栽培主产区以 20 cm 土层厚度、分 5 层采集 1 m 土层的设施内及其相邻或附近露地粮田土壤样品(分别称为设施土壤和粮田土壤), 测定盐分、酸碱性及养分含量, 分析该区域设施土壤理化性质及养分变化状况。【结果】(1) 与粮田土壤相比, 冀中南设施表层(0~20 cm)土壤盐分、有机质、硝态氮、速效磷、速效钾均显著增加, 其平均含量分别为粮田土壤的 1.78 倍、1.43 倍、2.56 倍、7.59 倍、2.56 倍; 土壤 pH 显著降低, 平均降幅为 0.54 个单位。(2) 不同采样点间设施土壤(0~20 cm)盐分、酸碱性、养分状况存在较大的差异, 土壤电导率变化范围为 271.6~631.6  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , 土壤 pH 变化范围为 7.20~7.93, 土壤有机质、硝态氮、速效磷、速效钾变化范围分别为 16.2~36.4  $\text{g kg}^{-1}$ 、52.9~205.9  $\text{mg kg}^{-1}$ 、107.5~315.6  $\text{mg kg}^{-1}$ 、188.9~757.9  $\text{mg kg}^{-1}$ 。(3) 设施土壤 0~100 cm 土层硝态氮和速效磷含量均高于同层粮田土壤, 每层增幅分别为 77.9%、69.2%、38.6%、25.1%、73.6% 和 161.3%、261.85%、224.7%、135.3%、120.4%, 除 40~60 cm 与 60~80 cm 土层土壤硝态氮差异不显著外, 其余均显著高于粮田土壤。【结论】与粮田土壤相比, 冀中南种植黄瓜的设施土壤盐分积累严重、pH 显著下降, 养分含量显著提高、但不同养分间比例不平衡; 需提高土壤有机质含量、总量控制养分投入量和不同养分间比例, 以防治土壤次生盐渍化和 pH 下降趋势, 进而提高土壤质量, 为蔬菜高产稳产和设施农业绿色发展提供技术支撑。

**关键词:** 设施黄瓜; 土壤质量; 盐分; 酸碱性; 养分

中图分类号: S159.2 文献标识码: A 文章编号: 0564-3945(2022)02-0456-09

DOI: 10.19336/j.cnki.trtb.2021062501

蒋龙刚, 王丽英, 李若楠, 郭 丽, 任燕利, 史建硕, 王 平, 李建波. 冀中南种植黄瓜设施土壤盐分、酸碱性和养分状况分析 [J]. 土壤通报, 2022, 53(2): 456-464

JIANG Long-gang, WANG Li-ying, LI Ruo-nan, GUO Li, REN Yan-li, SHI Jian-shuo, WANG Ping, LI Jian-bo. Analysis of Salinity, pH and Nutrient Status in Cucumber-Planted Greenhouse in Central and Southern Hebei Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2022, 53(2): 456-464

【研究意义】土壤质量是在生态系统范围内, 维持生物的生产能力、保护环境质量及促进动植物健康的能力<sup>[1]</sup>。近年来, 设施蔬菜生产以一种高投入、高产出、高效益的作物栽培方式在全国各地快速发展。截止目前已发布的数据, 我国设施蔬菜面积达到 370 万公顷<sup>[2]</sup>。因此, 提高土壤质量对设施蔬菜绿色可持续发展具有重要意义。【前人研究进展】由于设施蔬菜集约栽培、复种指数高、肥料用量大、缺少雨水淋洗、设施内高温高湿及通气状况差等原

因, 导致土壤盐渍化、酸化、养分不平衡等问题产生<sup>[3]</sup>, 如辽宁、山东、江苏和四川等地设施菜田土壤表面均有大面积白色盐霜出现, 土壤盐渍化情况严重<sup>[4-5]</sup>; 山东寿光设施蔬菜土壤出现不同程度的酸化问题<sup>[6]</sup>; 天津市设施蔬菜土壤出现明显的碱解氮、速效磷、速效钾累积富集问题<sup>[7]</sup>。以上问题导致土壤质量逐渐下降, 严重制约设施蔬菜的可持续绿色发展。【本研究切入点】然而, 全国设施蔬菜生产过程中由于土壤类型、栽培方式、栽培制度、施肥种类与

收稿日期: 2021-06-25; 修订日期: 2021-09-07

基金项目: 河北省重点研发计划项目(19226920D)、河北省科技支撑计划项目(15226904D)和河北省农林科学院创新工程项目(2019-2-4)资助

作者简介: 蒋龙刚(1991-), 男, 河北大名, 硕士研究生, 研究实习员, 主要从事蔬菜土壤质量提升与障碍改良研究。E-mail: 1490768260@qq.com

\*通讯作者: E-mail: sjzjianshuo@126.com

用量等方面的不同致使各地菜田土壤盐分、酸碱性和肥力状况不同,土壤质量下降程度并不相同。黄邵文等<sup>[8]</sup>通过调研东北、黄淮海、西北、华中、西南、华东、华南 7 个区域设施菜田土壤盐分、酸碱性和肥力状况发现,不同地区土壤 EC 值、pH 值存在着很大的差异且不同养分指标含量也各异。冀中南区域常年黄瓜连作种植,土壤质量状况并不清楚,且报道较少。【拟解决的问题】了解冀中南设施土壤盐分、酸碱性和养分状况,从而科学指导设施黄瓜生产,实现设施土壤的可持续绿色发展。

## 1 材料与方法

### 1.1 土壤样品采集

2015 年 7 月至 9 月在河北省石家庄市藁城区与高邑县、沧州市青县、衡水市武邑县、邯郸市馆陶县、廊坊市永清县等种植黄瓜设施栽培主产区进行生产调研和土壤样品采集;调研及采样区域属于暖温带大陆性季风气候,土壤类型包括石灰性褐土、潮土、盐碱土等;设施菜田为日光温室或塑料大棚,种植年限为 1~20 年。土样于设施内黄瓜拉秧后、定植施肥前布设采样点 63 个,按 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 深度分

层采集;同时在相邻露地粮田布设采样点 27 个,以同样方法分层采样。为更加详细了解上层土壤变化情况,另外增设施土壤补充采样点 114 个、露地粮田补充采样点 28 个,补充采样点的采样深度为 0~20 cm、20~40 cm 两层。每个样点土壤采集采用“S”形布点,按照“随机”、“等量”、“多点混合”的原则进行采样,用土钻采集 10~12 个点混合成一个混合样,用塑封袋封装备测。为了表述方便,以下将采自栽培黄瓜设施的土样称之为设施土壤(Greenhouse cucumber soil,简称为 GCS),而将采自露地粮田的土样称之为粮田土壤(Grain soil,简称为 GS)。

### 1.2 样品测定方法

土壤 pH 采用 pH 计测定;土壤 EC 采用电导率仪测定;有机质采用重铬酸钾容量法测定;硝态氮采用紫外分光光度法测定;速效磷采用钼锑抗比色法测定;速效钾采用火焰光度计法测定。

### 1.3 土壤盐分、酸碱性和养分指标分级标准

使用参考文献<sup>[8-10]</sup>确定的设施蔬菜菜田土壤盐分、酸碱性和养分丰缺分级标准对设施土壤盐分含量、pH 及养分含量分级,其分级标准如表 1、表 2 和表 3 所示。

表 1 菜田土壤盐分分级标准  
Table 1 Classification standard of soil salinization in vegetable field

电导率 ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) Electrical conductivity	< 250	250~600	600~800	800~1000	$\geq 1000$
等级	极低盐度	低盐度	中盐度	高盐度	超高盐度
对作物影响	一般作物生长正常	对敏感作物有障碍	多数作物生长受阻	仅耐盐作物能生长	仅极耐盐作物能生长

注:蔬菜正常生长 EC 临界值为  $600 \mu\text{S cm}^{-1}$

表 2 菜田土壤酸碱性分级标准  
Table 2 Classification standard of soil pH in vegetable field

pH	< 5.5	5.5~6.5	6.5~7.5	7.5~8.0	$\geq 8.0$
等级	强酸性	弱酸性	中性	弱碱性	碱性

表 3 菜田土壤养分含量分级标准  
Table 3 Classification standard of soil nutrient contents in vegetable field

项目 Item	临界值 Critical value	极低 Very low	低 Low	中 Middle	较高 Relatively high	高 High
有机质 ( $\text{g kg}^{-1}$ )	20	< 10	10~20	20~30	30~40	$\geq 40$
硝态氮 ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	50	< 25	25~50	50~100	100~150	$\geq 150$
速效磷 ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	50	< 25	25~50	50~100	100~150	$\geq 150$
速效钾 ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	150	< 100	100~150	150~200	200~300	$\geq 300$

### 1.4 数据分析

数据采用 Microsoft Excel 2010 和 SigmaPlot 14.0

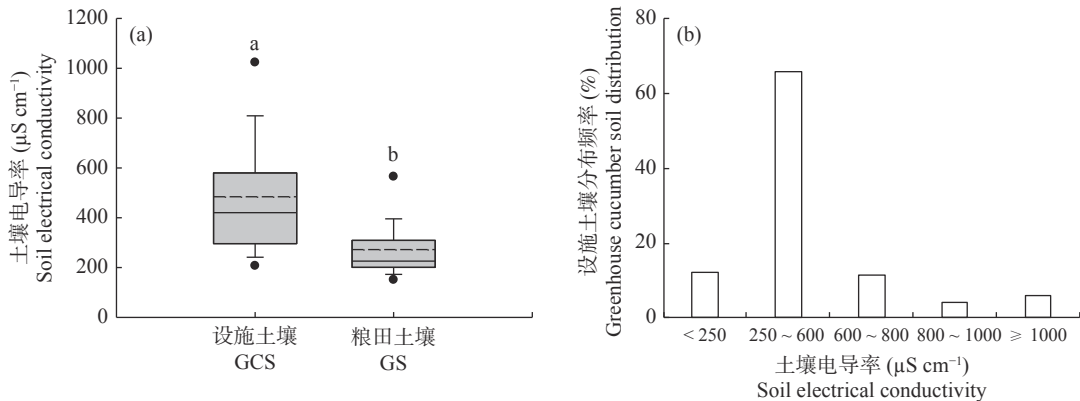
软件进行处理与绘图,用 SAS (v8.2, SAS Institute Inc.) 做相关性分析,显著性检验水平为  $P \leq 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 种植黄瓜设施土壤(0~20 cm)EC、pH 及养分状况

**2.1.1 土壤 EC** 以粮田土壤为对照,对设施土壤盐分含量状况进行分析。结果表明(图 1),设施土壤电导率平均值为  $484.1 \mu\text{S cm}^{-1}$ ,显著高于粮田土壤,是粮田土壤( $327.3 \mu\text{S cm}^{-1}$ )的 1.78 倍。根据菜田

土壤盐化分级标准(表 1)设施土壤电导率样本数的 65.9% 处于低盐度水平( $250 \sim 600 \mu\text{S cm}^{-1}$ ),而高于蔬菜正常生长的土壤电导率临界值( $600 \mu\text{S cm}^{-1}$ )的样本数占 22.0%,其中居于高盐度水平( $800 \sim 1000 \mu\text{S cm}^{-1}$ )的样本数占 4.3%,居于超高盐度水平( $\geq 1000 \mu\text{S cm}^{-1}$ )的样本数占 6.1%。可见 1/5 左右的设施土壤盐分积累严重。



注:该图数据来源于全部调研表层(0~20 cm)土壤,即 177 个设施土壤样品,55 个粮田土壤样品。图(a)盒子内的实线和虚线、盒子下边和上边缘线、盒子外的棒分别代表数据的中位数和平均数、25%和 75%分位数、5%和 95%分位数;实心黑点代表小于 5%和大于 95%分位数的数据;小写字母表示处理间差异在  $P < 0.05$  水平显著。下同。

图 1 种植黄瓜设施土壤 EC 状况及其样本分布特征

Fig.1 The condition and distribution characteristic of soil electrical conductivity in cucumber-planted greenhouse

**2.1.2 土壤 pH** 设施土壤与粮田土壤 pH 值差异显著(图 2),设施土壤 pH 平均值为 7.64,较粮田土壤(8.18)低 0.54 个单位。设施土壤 pH 值全部高于 6.5,其中中性土壤(pH 6.5~7.5)的样本数占总

样本数的 33.5%,微碱性土壤(pH 7.5~8.0)的样本数占 51.5%,碱性土壤(pH  $\geq 8.0$ )的样本数占 15.0%。说明大部分设施土壤仍处于微碱性及以上水平,但设施土壤 pH 总体较粮田土壤已经出现下降趋势。

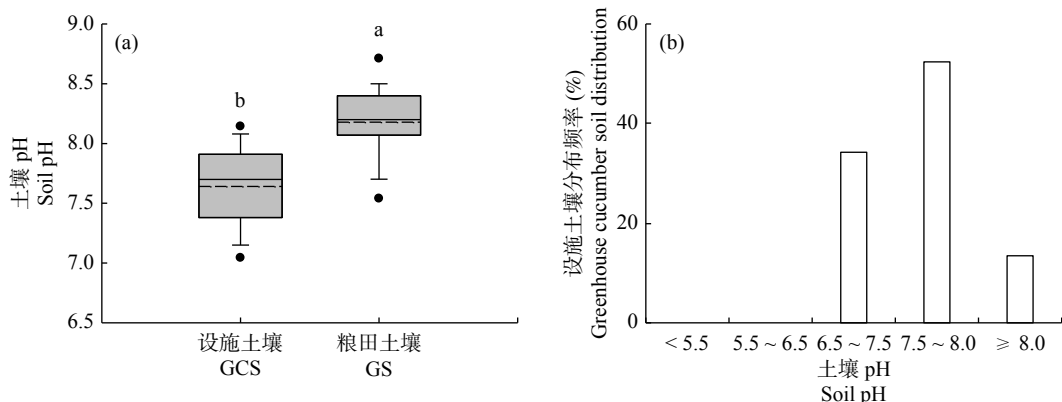


图 2 种植黄瓜设施土壤 pH 及其样本分布特征

Fig.2 The value and distribution characteristic of soil pH in cucumber-planted greenhouse

**2.1.3 土壤有机质** 设施土壤有机质含量显著高于粮田土壤(图 3),设施土壤有机质平均含量为  $23.8 \text{ g kg}^{-1}$ ,是粮田土壤( $16.6 \text{ g kg}^{-1}$ )的 1.43 倍,但整体也处于中低水平。属于低土壤有机质含量水平( $< 20$

$\text{g kg}^{-1}$ )的样本数占总样本数的 42.4%,处于中等水平( $20 \sim 30 \text{ g kg}^{-1}$ )的样本数占 32.7%,而处于较高( $30 \sim 40 \text{ g kg}^{-1}$ )、高水平( $\geq 40 \text{ g kg}^{-1}$ )的样本数分别仅占 18.2%、6.7%。可见这一地区适当提高有机

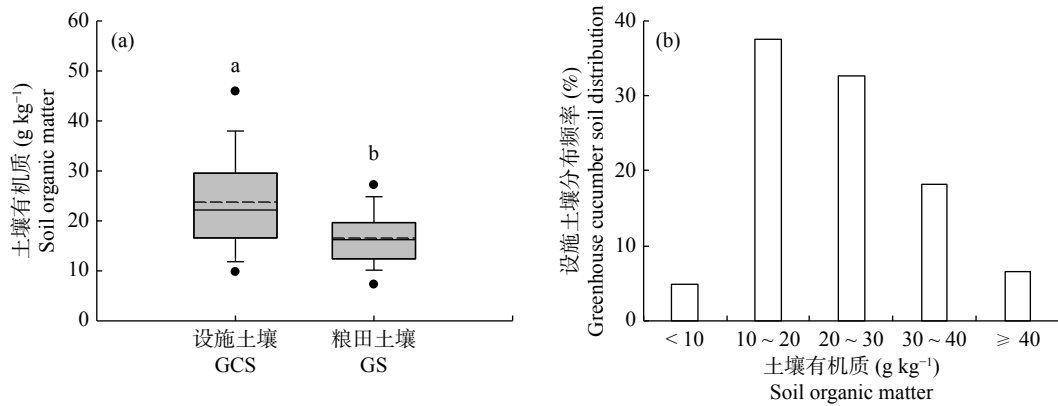


图3 种植黄瓜设施土壤有机质含量水平及其样本分布特征

Fig.3 The content and distribution characteristic of soil organic matter in cucumber-planted greenhouse

肥或有机质含量高的有机物料的用量以提高土壤有机质是必要的。

**2.1.4 土壤硝态氮** 设施土壤硝态氮含量显著高于粮田土壤(图4),处于高含量水平的土样占土样总数的比例较大。设施土壤硝态氮含量平均值为  $118.6 \text{ mg kg}^{-1}$ ,是粮田土壤平均值( $46.3 \text{ mg kg}^{-1}$ )的2.56倍;而处于较高水平( $100 \sim 150 \text{ mg kg}^{-1}$ )的样

本数占总样本数的21.2%,处于高水平( $\geq 150 \text{ mg kg}^{-1}$ )的样本数占26.7%,而处于低水平( $50 \text{ mg kg}^{-1}$ )的样本数仅占20.6%。粮田土壤硝态氮含量远未达到较高及以上水平( $\geq 100 \text{ mg kg}^{-1}$ )。可见,设施土壤大多数硝态含量较高,但也有部分含量较低,所以在氮肥管理上要区别对待。

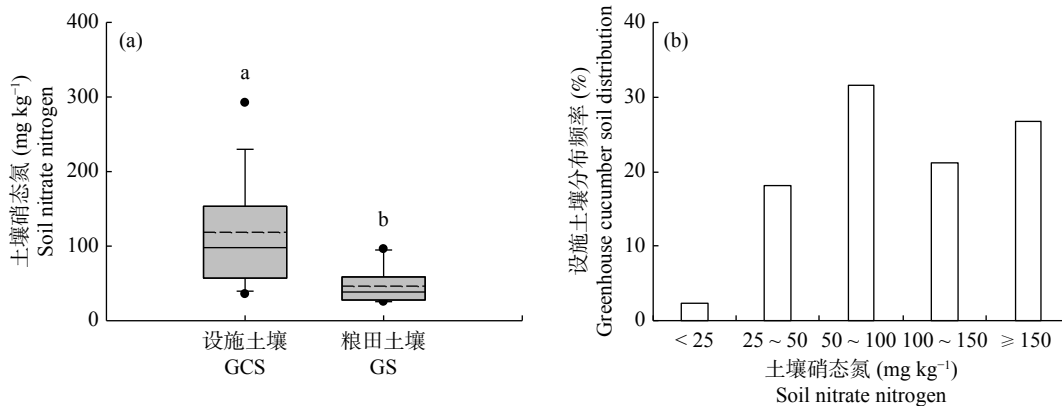


图4 种植黄瓜设施土壤硝态氮含量水平及其样本分布特征

Fig.4 The content and distribution characteristic of soil nitrate nitrogen in cucumber-planted greenhouse

**2.1.5 土壤速效磷** 设施土壤速效磷含量显著高于粮田土壤(图5),其平均值为  $185.2 \text{ mg kg}^{-1}$ ,是粮田土壤平均含量( $24.4 \text{ mg kg}^{-1}$ )的7.59倍,最大值为  $539.0 \text{ mg kg}^{-1}$ ,超出粮田土壤22倍以上。设施土壤速效磷含量低于  $50 \text{ mg kg}^{-1}$ 的样本数仅占总样本数的3.0%,而处于较高水平( $100 \sim 150 \text{ mg kg}^{-1}$ )的样本数占28.5%,处于高水平( $\geq 150 \text{ mg kg}^{-1}$ )的样本数占51.5%。说明设施土壤磷素富集现象十分明显,总体上已经达到较高水平。

**2.1.6 土壤速效钾** 设施土壤速效钾含量显著高于粮田土壤(图6),设施土壤速效钾含量平均为

$467.4 \text{ mg kg}^{-1}$ ,是粮田土壤平均含量( $182.8 \text{ mg kg}^{-1}$ )的2.56倍,处于高含量水平的比例大。设施土壤速效钾含量最大值为  $1900.0 \text{ mg kg}^{-1}$ ,为粮田土壤( $182.8 \text{ mg kg}^{-1}$ )的10.4倍。设施土壤速效钾含量低于  $150 \text{ mg kg}^{-1}$ 的样本数仅占总样本数的7.2%,而处于较高水平( $200 \sim 300 \text{ mg kg}^{-1}$ )的样本数占14.6%,处于高水平( $\geq 300 \text{ mg kg}^{-1}$ )的样本数占71.3%。可见,设施土壤钾素富集现象也特别严重。

## 2.2 种植黄瓜设施土壤(0~20 cm) EC、pH和养分的区域差异

**2.2.1 土壤 EC** 不同区域之间设施土壤电导率差异

较大 (表 4), 土壤电导率范围介于 271.6 ~ 631.6  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , 永清、青县设施土壤电导率最高 (分别为 631.6、586.7  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), 高于武邑、高邑、馆陶与藁城 (分别为 558.2、443.8、412.9 和 271.6  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ),

其中与高邑、馆陶、藁城达到显著性差异。永清设施土壤电导率已超出蔬菜正常生长范围临界值 (600  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), 需要引起格外重视。粮田土壤电导率是高邑县最高 (375.6  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), 各县区差异不显著。

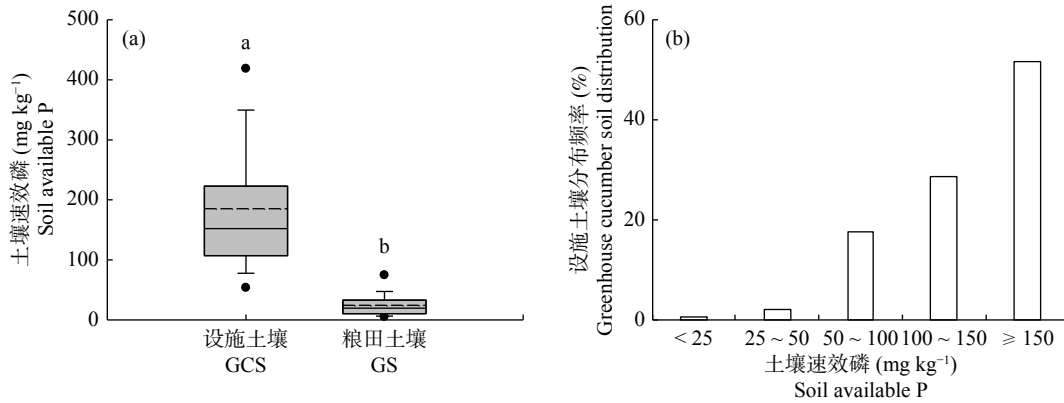


图 5 种植黄瓜设施土壤速效磷含量水平及其样本分布特征

Fig.5 The content and distribution characteristic of soil available P in cucumber-planted greenhouse

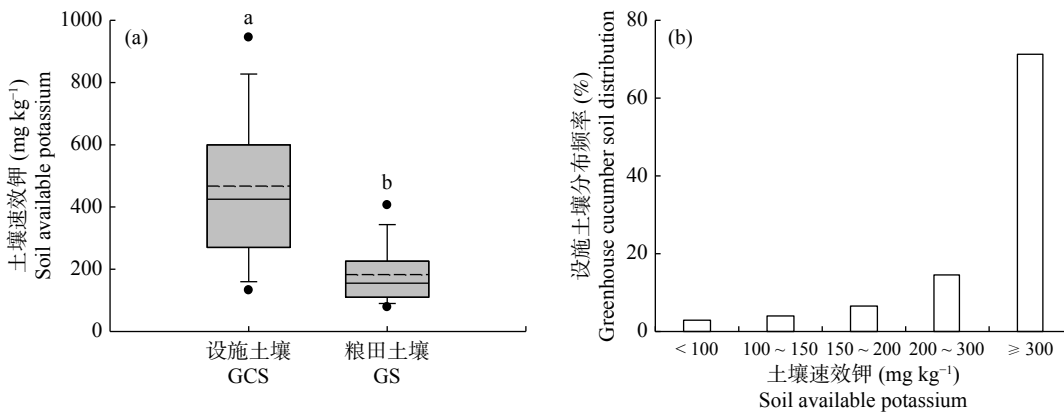


图 6 种植黄瓜设施土壤速效钾含量水平及其样本分布特征

Fig.6 The content and distribution characteristic of soil available potassium in cucumber-planted greenhouse

表 4 不同区域种植黄瓜设施土壤(0~20 cm)EC、pH 和养分含量的均值  
Table 4 Regional differences of soil salinity, pH and nutrients in cucumber-planted greenhouse

项目 Item	栽培方式 Cultivation method	藁城 Gao cheng	永清 Yong qing	高邑 Gao yi	青县 Qing xian	馆陶 Guan tao	武邑 Wuyi
电导率 ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	设施土壤	271.6 d	631.6 a	443.8 bc	586.7 a	412.9 c	558.2 ab
	粮田土壤	248.2 a	247.3 a	375.6 a	249.1 a	301.5 a	66.9 a
pH	设施土壤	7.91 a	7.56 c	7.20 d	7.93 a	7.55 c	7.76 b
	粮田土壤	7.86 b	8.07 ab	7.86 b	8.27 a	8.35 a	8.26 a
有机质 ( $\text{g kg}^{-1}$ )	设施土壤	16.2 d	25.7 bc	27.6 b	17.9 d	21.1 cd	36.4 a
	粮田土壤	21.7 a	17.3 ab	16.7 ab	13.5 b	17.4 ab	17.8 ab
硝态氮 ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	设施土壤	52.9 c	205.9 a	110.0 b	109.6 b	105.8 b	110.0 b
	粮田土壤	37.3 a	53.2 a	48.0 a	45.1 a	48.7 a	41.6 a
速效磷 ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	设施土壤	107.5 d	315.6 a	218.0 b	130.6 cd	139.1 cd	159.5 c
	粮田土壤	39.8 a	27.5 ab	25.5 ab	16.1 b	32.8 ab	21.9 ab
速效钾 ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	设施土壤	188.9 c	708.8 a	380.3 b	427.0 b	377.5 b	757.9 a
	粮田土壤	217.2 ab	250.0 a	153.3 ab	167.5 ab	139.1 b	215.8 ab

注: 该表数据来源全部调研表层(0~20 cm)土壤样品, 藁城、永清、高邑、青县、馆陶和武邑设施土壤样品数分别为 33、37、33、29、24 和 21 个, 而粮田土壤样品数分别为 13、10、9、8、9 和 6 个。不同字母表示同一栽培方式下不同区域土层间差异在  $P < 0.05$  水平显著。

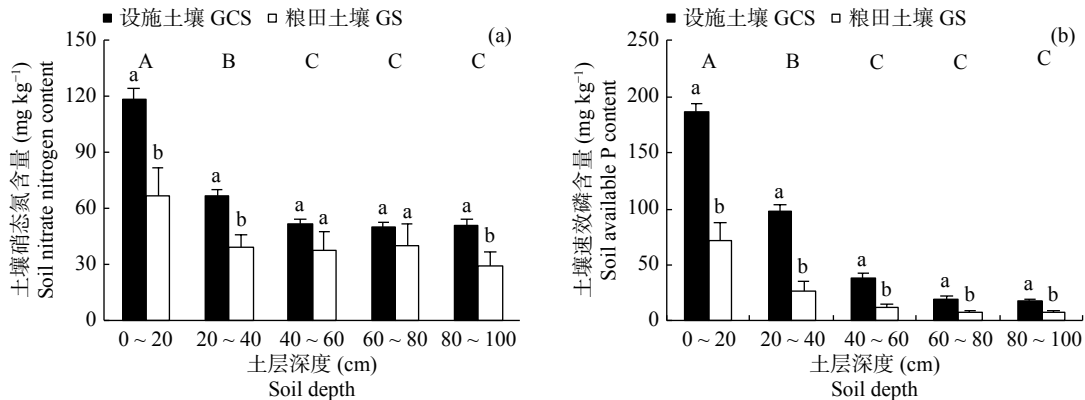
**2.2.2 土壤 pH** 由表 4 可看出, 设施土壤 pH 值以青县和藁城最高 (分别为 7.93 和 7.91), 显著高于其他县区, 其次为武邑 (7.76), 永清、馆陶和高邑土壤 pH 最低 (分别为 7.56、7.55 和 7.20)。相对于对应的粮田土壤 pH 值, 设施土壤 pH 值除藁城外均有所下降, 其中馆陶设施土壤 pH 值平均下降 0.8 个单位, 设施土壤 pH 下降趋势程度最为严重。

**2.2.3 土壤养分** 不同区域之间设施土壤养分含量 (有机质、硝态氮、速效磷、速效钾) 差异较大 (表 4), 其中设施土壤有机质含量介于 16.2~36.4 g kg<sup>-1</sup>, 而藁城与青县土壤有机质含量处于低水平 (10~20 g kg<sup>-1</sup>), 其余区域处于中等水平 (≥20 g kg<sup>-1</sup>) 及以上水平。设施土壤硝态氮、速效磷、速效钾含量分别介于 52.9~205.9 mg kg<sup>-1</sup>、107.5~315.6 mg kg<sup>-1</sup>、188.9~757.9 mg kg<sup>-1</sup>, 均处于中等水平 (分别为 ≥50 mg kg<sup>-1</sup>、≥50 mg kg<sup>-1</sup>、≥150 mg kg<sup>-1</sup>) 及以上, 其中有些地区土壤速效氮、磷、钾含量过高, 如永清设施土壤硝态氮、速效磷、速效钾含量分别为

205.9、315.6、708.8 mg kg<sup>-1</sup>, 均处于高水平。可见, 不同区域设施土壤养分含量差异较大, 应根据各地区实际土壤肥力状况合理施肥。

### 2.3 种植黄瓜设施土壤(0~100 cm)氮、磷剖面垂直分布特征

设施土壤 0~100 cm 不同土层硝态氮含量均高于同层粮田土壤 (图 7-a), 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm 和 80~100 cm 土层分别高出 77.9%、69.2%、38.6%、25.1% 和 73.6%, 其中 0~20 cm、20~40 cm 和 80~100 cm 土层硝态氮含量达显著性差异。设施土壤硝态氮在 0~20 cm 土层中大量积累, 平均含量为 118.0 mg kg<sup>-1</sup>, 显著高于 20~100 cm 土层; 20~40 cm 土层硝态氮平均含量为 66.7 mg kg<sup>-1</sup>, 显著高于 40~100 cm 土层, 而 40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 土层硝态氮含量水平处于临界值 (50 mg kg<sup>-1</sup>) 附近, 其平均含量分别为 51.4、49.5、51.0 mg kg<sup>-1</sup>, 表明设施土壤硝态氮含量较高导致向下层土壤淋洗、迁移进而损失。



注:该图数据来源于全部调研土壤样品。柱上不同小写字母表示设施土壤与粮田土壤同一土层间差异在  $P < 0.05$  水平显著; 不同大写字母表示设施土壤不同土层间差异在  $P < 0.05$  水平显著。

图 7 种植黄瓜设施土壤种植粮食土壤 0~100 cm 不同土层硝态氮、速效磷含量

Fig.7 Contents of nitrate nitrogen and available phosphorus in different soil layers of 0-100 cm in cucumber-planted greenhouse and grain-planted field

设施土壤 0~100 cm 不同土层速效磷含量均显著高于同层粮田土壤 (图 7-b), 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm 和 80~100 cm 土层增幅分别为 161.3%、261.8%、224.7%、135.3% 和 120.4%。设施土壤速效磷在 0~20 cm 土层中大量积累, 其平均含量高达 186.1 mg kg<sup>-1</sup>, 显著高于 20~100 cm 土层; 20~40 cm 土层速效磷平均含量为 98.5 mg kg<sup>-1</sup>, 显著高于 40~100 cm 土层。随着土层的加深, 设施土壤速效磷含量逐渐降低, 在 80~100 cm 土层中平均含量仅为 17.6 mg kg<sup>-1</sup>。

## 3 讨论

### 3.1 种植黄瓜设施土壤质量退化及原因分析

由于设施菜田种植方式、生产环境、气候条件不同且经济效益高与露地粮田, 设施菜田的施肥量普遍远高于露地粮田, 且肥料的投入也超过了蔬菜生长所需要的量, 致使土壤中盐分含量富集, 土壤电导率上升<sup>[11-12]</sup>。同时, 土壤中的盐分含量还随着种植年限的增加而不断累积增加, 严重影响蔬菜产量与品质<sup>[12-13]</sup>。张彦才等<sup>[14]</sup>在 2003 年对河北省设施大

棚进行土壤调研,土壤电导率平均仅为  $214.3 \mu\text{S cm}^{-1}$ 。本研究中冀中南区域种植黄瓜设施土壤电导率平均为  $484.1 \mu\text{S cm}^{-1}$ ,较十余年前增加了 125.9%,而高于蔬菜正常生长的土壤电导率临界值 ( $600 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) 的样本比例达到了 22.2%,可见,冀中南区域设施黄瓜出现土壤盐渍化问题,还随着种植年限的增长而增加。如果不及时采取有效措施,冀中南种植黄瓜设施土壤盐渍化必将进一步加重,制约蔬菜的高产稳产。

目前的大量研究表明<sup>[3,15]</sup>,设施土壤酸化普遍严重。土壤的酸化过程如果在没有人类干扰的自然条件下,是需要几百年甚至上百万年的时间<sup>[16-17]</sup>。在设施栽培条件下,农户为了追求蔬菜高产,连续种植且肥料投入量大,致使土壤中残留着大量  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  等强酸离子,是设施土壤 pH 下降的主要原因<sup>[3,12,18-19]</sup>。张彦才等<sup>[14]</sup>研究表明,在 2003 年河北省设施土壤 pH 较露地土壤已呈下降趋势,降幅范围为 0.2~0.4 个单位。本研究中设施土壤 pH 平均值为 7.64,较粮田土壤显著下降了 0.54 个单位,表明冀中南种植黄瓜设施土壤酸化程度随着种植年限的增长而加重。

冀中南种植黄瓜设施土壤养分较粮田土壤显著提高,但存在养分失衡问题。设施土壤有机质平均含量为  $23.8 \text{ g kg}^{-1}$ ,显著高于露地土壤,且较十余年前 ( $19.8 \text{ g kg}^{-1}$ )<sup>[14]</sup>增加了 20.2%。然而理想的菜田土壤有机质含量应该在  $30 \text{ g kg}^{-1}$  以上<sup>[9,20]</sup>,而有机质高于  $30 \text{ g kg}^{-1}$  的样本数仅占 24.9%,土壤有机质含量整体还处于中低水平,土壤“肥而不沃”,需要增加投入高有机质含量的有机物料以培肥地力。冀中南种植黄瓜设施土壤硝态氮平均含量为  $118.6 \text{ mg kg}^{-1}$ ,处于较高水平,且  $\text{NO}_3^-$  开始向下淋洗迁移,致使地下水硝酸盐污染风险增加。除此之外,土壤中硝态氮含量过高时,可使蔬菜中富集硝酸盐,而人体摄入的硝酸盐约有 81% 来自于蔬菜<sup>[21-22]</sup>。因此,土壤中残留硝态氮会降低蔬菜产量和品质,制约蔬菜绿色生产。当前冀中南种植黄瓜设施土壤速效磷平均含量为  $185.2 \text{ mg kg}^{-1}$ ,处于高含量水平。研究表明,土壤中磷素累积可以增加土壤的供磷能力,但磷超过农学阈值和环境阈值会导致土壤固定或径流损失<sup>[9]</sup>。在保障环境安全且兼顾蔬菜高产的基础上,菜田土壤有效磷含量水体污染临界值为  $80 \text{ mg kg}^{-1}$ ,超过该临界值,不仅会造成水体污染,还会影响土壤其它

养分的有效性<sup>[23-25]</sup>。而冀中南种植黄瓜设施 0~20 cm、20~40 cm 土壤磷富集问题严重,养分管理应严格控制磷素投入。冀中南种植黄瓜设施土壤速效钾平均含量为  $467.4 \text{ mg kg}^{-1}$ ,处于高含量水平。蔬菜虽是喜钾作物且钾素可提高作物的品质和抗逆性,但土壤钾素积累会因离子拮抗作用而影响作物对其它养分离子的吸收,破坏养分平衡,从而出现缺素症,降低蔬菜的产量与品质。

### 3.2 冀中南种植黄瓜设施高产、稳产、可持续绿色发展的生产管理模式

作物的高产、稳产和可持续绿色发展是农业生产追求的目标,然而当前温室大棚养分投入量极其不合理。研究表明,由于设施蔬菜不合理的施肥,导致土壤出现一系列盐渍化、酸化及养分不均衡的问题<sup>[10,26]</sup>。长期平衡施肥和施用有机肥不仅可以维持、提高土壤养分肥力,还可提高作物的产量与品质<sup>[27-29]</sup>。同时,化肥和有机肥合理配施还可明显降低硝酸盐的累积,并且减少作物种植期间土壤硝态氮和水溶性磷的淋洗损失<sup>[26,30]</sup>。冀中南区域种植黄瓜设施土壤肥力水平表现为有机质含量普遍水平较低、硝态氮含量同时存在过高和偏低、速效磷与速效钾含量水平平均过高。应加大有机肥的投入,尤其是增施作物秸秆、牛马粪等碳和纤维素含量高的有机物料,以协调土壤养分与能量间的平衡,从而提升土壤肥力;根据不同地区实际土壤速效养分水平,适当增施或减施氮肥,减少磷、钾肥的投入,从而达到平衡土壤养分、提高养分利用效率、维持土壤健康的目的。

由于设施蔬菜经济效益较高,菜农不仅会大量投入养分,而且种植模式连续且单一。而蔬菜连作会导致土壤盐渍化、破坏土壤结构、土传病害加重、蔬菜产量降低、品质变劣等问题,严重制约了设施蔬菜的可持续发展<sup>[31-33]</sup>。同样,冀中南种植黄瓜设施生产中也存在连作栽培模式,因连作引发的障碍问题也日益突显。研究表明,合理轮作换茬以及施加改良剂是解决蔬菜连作障碍、改良土壤的有效方法<sup>[34-36]</sup>。根据不同蔬菜作物生长习性,选择合适蔬菜品种进行轮作,通过不同蔬菜吸收利用的养分离子不同,从而达到控盐、降盐以及提高土壤水分、养分的利用效率的目的。施用腐殖酸钾、沸石等改良剂可有效降低土壤中盐分含量并提高土壤 pH<sup>[36]</sup>。因此,冀中南设施蔬菜区域应改变目前种植黄瓜单一的模式,采用合理的轮作方式并施用相应的土壤改

良剂以改善蔬菜连作引起的生产障碍问题。

## 4 结论

(1) 与露地粮田相比,冀中南种植黄瓜设施土壤盐分、有机质、硝态氮、速效磷、速效钾含量均显著增加,而土壤 pH 值显著下降,且区域之间差异明显。

(2) 冀中南种植黄瓜设施土壤养分丰缺不平衡,有机质、硝态氮含量过高和偏低土壤并存,速效磷与速效钾含量水平均很高。

(3) 根据区域内设施土壤理化性质及养分含量分异特征,研发针对性强、适用范围广的肥水精准管理技术,通过“增碳、减氮、控磷、调钾、降盐”,实现设施蔬菜栽培高产优质、土壤养分平衡和质量提升,促进当地设施农业绿色发展。

### 参考文献:

- [1] 吕晓男,孟赐福,麻万诸,等.土壤质量及其演变[J].浙江农业学报,200,4(2):55-59.
- [2] 农业部办公厅关于印发《全国设施蔬菜重点区域发展规划(2015—2020年)》的通知[J].中华人民共和国农业部公报,201,5(3):33-46.
- [3] 范庆锋,张玉龙,陈重.保护地蔬菜栽培对土壤盐分积累及pH值的影响[J].水土保持学报,2009,23(1):103-106.
- [4] 武雪萍,李银坤.温室蔬菜水肥增效机制与管理研究[J].中国农业科学,2019,52(20):3605-3610.
- [5] 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,(4):642-650.
- [6] 段宏凯,高利娟,刘东生,等.长期连作下不同栽培措施对设施蔬菜土壤理化性状的影响[J].江苏农业科学,2018,46(13):276-280.
- [7] 高伟,朱静华,高宝岩,等.天津市设施蔬菜不同种植年限土壤及地下水养分特征[J].华北农学报,2010,25(2):206-211.
- [8] 黄绍文,王玉军,金继运,等.我国主要菜区土壤盐分、酸碱性和肥力状况[J].植物营养与肥料学报,2011,17(4):906-918.
- [9] 王倩姿,王书聪,张书贵,等.潮土区菜田土壤肥力现状评价[J].农业资源与环境学报,2020,37(5):645-653.
- [10] 高峻岭,宋朝玉,王玉军,等.施肥对青岛市设施蔬菜产量、净产值及土壤环境的影响[J].中国生态农业学报,2011,19(6):1261-1267.
- [11] 姜佰文,孙玲,王春宏,等.蔬菜连作对保护地土壤养分变化的影响[J].东北农业大学学报,2014,45(3):85-90.
- [12] 黄绍文,高伟,唐继伟,等.我国主要菜区耕层土壤盐分总量及离子组成[J].植物营养与肥料学报,2016,22(4):965-977.
- [13] 朱国鹏,王玉彦,刘士哲,等.蔬菜设施栽培土壤的盐分累积及其调控[J].热带农业科学,2002,(3):57-61+69.
- [14] 张彦才,李巧云,翟彩霞,等.河北省大棚蔬菜施肥状况分析与评价[J].河北农业科学,2005,(3):61-67.
- [15] 刘兆辉,江丽华,张文君,等.山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律[J].土壤学报,2008,(2):296-303.
- [16] 曹文超,张运龙,严正娟,等.种植年限对设施菜田土壤pH及养分积累的影响[J].中国蔬菜,2012,(18):134-141.
- [17] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327(5968): 1008-1010.
- [18] 陈碧华,杨和连,李亚灵,等.不同种植年限大棚菜田土壤水溶性盐分的变化特征[J].水土保持学报,2012,26(1):241-245.
- [19] 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.
- [20] 陈伦寿,陆景陵.蔬菜营养与施肥[M].北京:中国农业出版社,2002.
- [21] 邱孝煊,黄东风,蔡顺香,等.施肥对蔬菜硝酸盐累积的影响研究[J].中国生态农业学报,2004,(2):116-119.
- [22] 黄绍文,唐继伟,李春花,等.我国蔬菜化肥减施潜力与科学施用对策[J].植物营养与肥料学报,2017,23(6):1480-1493.
- [23] 曾招兵,李盟军,姚建武,等.习惯施肥对菜地氮磷径流流失的影响[J].水土保持学报,2012,26(5):34-38+43.
- [24] 伊田,梁东丽,王松山,等.不同种植年限对设施栽培土壤养分累积及其环境的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(7):111-117.
- [25] Zhang Y C, Li R N, Wang L Y, et al. Threshold of soil olsen-P in greenhouses for tomatoes and cucumbers[J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 2010, 41(20): 2383-2402.
- [26] 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.
- [27] 林治安,赵秉强,袁亮,等.长期定位施肥对土壤养分与作物产量的影响[J].中国农业科学,2009,42(8):2809-2819.
- [28] 张国荣,李菊梅,徐明岗,等.长期不同施肥对水稻产量及土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2009,42(2):543-551.
- [29] 林葆,林继雄,李家康.长期施肥的作物产量和土壤肥力变化[J].植物营养与肥料学报,1994,(1):6-18.
- [30] 黄东风,王果,李卫华,等.不同施肥模式对蔬菜生长、氮肥利用及菜地氮流失的影响[J].应用生态学报,2009,20(3):631-638.
- [31] Yang L, Huang B, Mao M, et al. Sustainability assessment of greenhouse vegetable farming practices from environmental, economic, and socio-institutional perspectives in China[J]. Environmental Science & Pollution Research International, 2016, 23(17): 17287-17297.
- [32] 徐强,程智慧,孟焕文,等.玉米—线辣椒套作系统中土壤养分与根际土壤微生物、酶活性的关系[J].应用生态学报,2007,(12):2747-2754.
- [33] 刘素慧,刘世琦,张自坤,等.大蒜连作对其根际土壤微生物和酶活性的影响[J].中国农业科学,2010,43(5):1000-1006.
- [34] 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.
- [35] 吴凤芝,赵凤艳,刘元英.设施蔬菜连作障碍原因综合分析防治措施[J].东北农业大学学报,2000,(3):241-247.
- [36] 李杰,姬景红,李玉影,等.不同改良措施对保护地土壤盐分累积及离子组成的影响[J].北方园艺,2012,(7):159-164.

## Analysis of Salinity, pH and Nutrient Status in Cucumber-Planted Greenhouse in Central and Southern Hebei Province

JIANG Long-gang<sup>1,2</sup>, WANG Li-ying<sup>1,2</sup>, LI Ruo-nan<sup>1,2</sup>, GUO Li<sup>1,2</sup>, REN Yan-li<sup>1,2</sup>,  
SHI Jian-shuo<sup>1,2\*</sup>, WANG Ping<sup>3</sup>, LI Jian-bo<sup>4</sup>

(1. Institute of Agriculture Resources and Environment, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China; 2. Hebei Fertilizer Technology Innovation Center, Shijiazhuang 050051, China; 3. Hebei Agricultural Technology Promotion General Station, Shijiazhuang 050000, China; 4. Gaocheng Soil Fertilizer Workstation, Gaocheng, 052160, China)

**Abstract:** [Objective] Clarifying the soil salinity, acidity, alkalinity and nutrients of the greenhouse cucumber will provide an effective basis for improving soil quality and green development of the greenhouse cucumber in central and southern Hebei Province. [Method] six main production areas of facility in central and Southern Hebe were selected as the research object in 2015, the soil samples with 1 m soil layer in cucumber-planted greenhouse and its adjacent or nearby open grain-planted field were collected in 5 layers with a thickness of 20 cm. These soil samples were used to determine the salinity, acid-base and nutrient status and analyze the physical and chemical properties and nutrient changes in this area. [Result] The results showed that: (1) Compared with the grain-planted soil, the surface soil (0-20 cm) salt, organic matter, nitrate nitrogen, available phosphorus and available potassium in cucumber-planted greenhouse in central and southern Hebei were significantly increased, and the average contents were 1.78, 1.43, 2.56, 7.59 and 2.56 times of the grain-planted soil, respectively. Soil pH decreased significantly by 0.54 units. (2) There were great differences in soil salinity, acidity, alkalinity and nutrients in cucumber-planted greenhouse in different sampling sites. The soil electrical conductivity ranged from 271.57 to 631.6  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , and the soil pH ranged from 7.20 to 7.93. Soil organic matter, nitrate nitrogen, available phosphorus and available potassium ranged from 16.2 to 36.4  $\text{g kg}^{-1}$ , 52.9 to 205.9  $\text{mg kg}^{-1}$ , 107.5 to 315.6  $\text{mg kg}^{-1}$  and 188.9 to 757.9  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectively. (3) The contents of nitrate nitrogen and available phosphorus in different 0-100 cm soil layers in cucumber-planted greenhouse were higher than those in grain-planted soil. In 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm, 80-100 cm soil layers, the increase rates of nitrate nitrogen and available phosphorus were 77.9%, 69.2%, 38.6%, 25.1%, 73.6% and 161.3%, 261.85%, 224.7%, 135.3%, 120.4% respectively. Except that the nitrate nitrogen in 40-60 cm and 60-80 cm soil layers was not significant, the others were significantly higher than that in grain field soil. [Conclusion] Comparison between the cucumber-planted greenhouse and grain-planted soil in central and Southern Hebei Province, the soil salt content increased seriously and pH decreased significantly, and the soil nutrient content was significantly improved, but the proportion of different nutrients was not balanced. In order to provide technical support for high and stable yield and green development of vegetables, it is necessary to increase soil organic matter, to control nutrient input and the proportion of different nutrients, to prevent soil secondary salinization and to alleviate the downward trend of pH, and to improve soil quality.

**Key words:** Cucumber-planted greenhouse; Soil quality; Salt; Salinity and acidity; Nutrient

[责任编辑: 张玉玲]