

基于黄瓜种植的设施菜地土壤硝酸盐型 次生盐渍化的分级研究*

张金锦^{1,2} 段增强^{1†} 李 汛¹

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要 在江苏省泰州市基于黄瓜种植(种植的黄瓜品种为东方明珠)的设施菜地中进行了硝酸盐型土壤次生盐渍化的分级研究。供试土壤经过不同浓度的硝酸盐处理对应形成不同程度的次生盐渍化。用土壤电导率(EC)标示次生盐渍化的等级,经测定,对照及处理的 EC 分别为:对照(CK)0.89 dS m⁻¹,处理1(T1)2.78 dS m⁻¹,处理2(T2)3.65 dS m⁻¹,处理3(T3)4.66 dS m⁻¹,处理4(T4)6.15 dS m⁻¹。统计结果表明,表层土壤(0~10 cm)硝酸盐含量与土壤 EC 之间呈显著正相关关系。表明由硝酸盐引起的不同程度的土壤次生盐渍化即硝酸盐型次生盐渍化的分级可以通过土壤电导率来标示。实验表明,不同程度的硝酸盐型次生盐渍化显著影响黄瓜的株高和产量($p < 0.05$)。根据不同程度的次生盐渍化土壤对黄瓜株高和产量的影响,对长江三角洲地区基于黄瓜种植的设施菜地土壤硝酸盐型次生盐渍化进行了初步分级,即等级I:EC < 2.03 dS m⁻¹,等级II:2.03 dS m⁻¹ < EC < 3.76 dS m⁻¹,等级III:3.76 dS m⁻¹ < EC < 5.32 dS m⁻¹,等级IV:5.32 dS m⁻¹ < EC < 6.15 dS m⁻¹,等级V:EC > 6.15 dS m⁻¹。

关键词 黄瓜;设施菜地;硝酸盐;土壤次生盐渍化;分级

中图分类号 S155.4⁺1 **文献标识码** A

近年来,我国设施蔬菜栽培发展迅速,氮肥在设施农业中的应用比率逐年增加,过量使用氮肥导致设施菜地土壤和蔬菜质量的下降,例如土壤硝态氮和蔬菜硝态氮的积累。氮肥的过量积累已经导致土壤次生盐渍化的发生^[1]。而次生盐渍化也已成为制约保护地农业可持续发展的主要障碍因子^[2]。黄瓜是设施农业栽培中常见的蔬菜之一,对土壤盐分较为敏感^[3-4]。对黄瓜的生长状况、产量、品质对土壤盐分的响应近年来很多学者已做了大量的研究^[5-6]。但是很少针对硝酸盐型土壤次生盐渍化进行分级的研究。

目前为止,针对土壤次生盐渍化的修复措施可以归纳为:(1)灌溉和施肥措施^[7-9]。比如:根据土壤养分状况、肥料种类及蔬菜需肥特性,确定合理的施肥量或施肥方式,做到配方施肥,以施有机肥为主,合理配施氮磷钾肥,化肥做基肥时要深施并与有机肥混合,作追肥要“少量多次”。并避免长期施用同一种肥料,特别是含氮肥料;科学选肥,注意

生理酸性肥料与生理碱性肥料的交替搭配;提倡根外追肥;慎施微肥;水肥同施等。(2)土壤修复和改良措施^[10-12]。比如:客土改良土壤质地;洗盐改良法;种植绿肥、增施有机肥等。(3)建立灵活的栽培种植体系^[13-14]。有计划地轮作换茬,合理安排不同蔬菜,并尽量考虑不同蔬菜的科属类型、根系深浅、吸肥特点及分泌物的酸碱性等。

尽管上述措施能够在一定程度上减轻土壤次生盐渍化的发生,但是很多措施实施起来比较困难,而且也无法完全适用于不同的设施菜地环境及不同类型的土壤次生盐渍化。这就需要我们针对不同的设施菜地环境状况和不同类型的土壤次生盐渍化寻找出与之相配套的治理措施或方法。

本研究的主要目的是制定出一项有关设施菜地土壤次生盐渍化分级的导则,以此来指导设施菜地土壤的有效管理以及设施蔬菜产量和品质的提高。因为硝酸盐是设施菜地中普遍存在的盐离子^[15],硝酸盐型次生盐渍化的分级研究工作在江苏

* 农业科学研究公益项目(200903011)资助

† 通讯作者, E-mail: zqduan@issas.ac.cn

作者简介:张金锦(1985—),女,山东日照人,博士研究生,主要从事设施农业土壤次生盐渍化方面的研究。E-mail: jjzhang@issas.ac.cn

收稿日期:2011-08-17;收到修改稿日期:2012-01-13

省开展,江苏省位于我国东部,是我国设施农业的典型省份^[16]。这项研究将为防治次生盐渍化和优化蔬菜种植提供正确的理论指导和科学支撑,从而有利于设施蔬菜产量和质量提高。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

本试验在江苏省泰州市(32.755°N,119.891°E)

温室大棚内进行,从2009年4月至7月。大棚(200 m×25 m)用全透光塑料膜覆盖。试验小区面积15 m²(5 m×3 m),南北走向,共4个小区。供试土壤(0~10 cm)类型为潜育型水稻土,其理化性质如表1所示。每个试验小区包括5个处理行,每两个处理行间用塑料薄膜隔开。塑料膜(5.0 m×0.8 m)埋深0.6 m,以防止各处理间的相互渗漏、侧漏。每个处理行栽植生长状况均一的黄瓜幼苗。

表 1 供试土壤理化性质¹⁾

Table 1 Agrochemical properties of the experimental soil (0~10cm) in the greenhouse

土壤 Soil	pH	电导率 EC (dS m ⁻¹)	有机质 OM (g kg ⁻¹)	全氮 TN (g kg ⁻¹)	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N (mg kg ⁻¹)	速效磷 Available phosphorous (mg kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium (mg kg ⁻¹)	硫酸盐 Sulfate (mg kg ⁻¹)
潜育型水稻土 ^①	6.83	0.89	22.5	2.48	98.92	65.40	117.5	79.33

1)均值,n=4 Means, n=4. ① Gleysols type rice soil

将硝酸镁(Mg(NO₃)₂)和硝酸钙(Ca(NO₃)₂)稀释成不同浓度的水溶液后,少量多次浇施于供试土壤表层(0~10 cm)。使各处理行的土壤盐分初始值在如下范围内:处理1(T1)1.0~3.0 g kg⁻¹;处理2(T2)3.0~4.0 g kg⁻¹;处理3(T3)4.0~5.0 g kg⁻¹;处理4(T4)5.0~6.0 g kg⁻¹。对照行(CK)不添加硝酸镁和硝酸钙的混合溶液。

黄瓜品种选用东方明珠(郑州市蔬菜研究所最新培育成的一代杂交黄瓜新品种,早熟、抗病性强,产量高)。种子在5%的次氯酸钠溶液中浸泡5 min进行杀毒,然后用去离子水冲洗5次后浸泡12 h。浸泡后的种子培养在干净的石英砂中,用自来水浇灌。当第二片子叶长出时,将长势相同的黄瓜幼苗移栽至温室中准备好的处理行中。试验期间,温室内的温度保持在白天25~30℃、夜间18~20℃。试验期间共浇水5次,灌溉水中硝态氮的含量不超过8.0 mg L⁻¹。

1.2 样品采集与分析

试验土壤采样4次,采样时间分别为2009年4月6日(原始土样)、4月14日、6月25日、7月30日。新鲜土样(50 mg)中加入10 ml去离子水,土壤硝酸盐含量采用酚二磺酸比色法测定^[17]。

剩余的土壤风干后过1.0 mm筛,混匀后贮存在塑料袋中,置于室温(20~25℃)下备用。土壤电导率用DDS-320电导仪在25℃下测定(水土比1:5)。土壤速效磷采用碳酸氢钠法测定;速效钾采用乙酸铵提取法测定;有机质采用水合热重铬酸钾

氧化-比色法测定^[17]。土壤有效硫经Ca(H₂PO₄)₂-HOAc提取后比色法测定^[18]。土壤全氮采用改良的凯氏定氮法测定^[19]。土壤pH用pH计在水土比1:2.5下测定。

为了分析不同程度的土壤次生盐渍化对黄瓜营养生长的影响,选择了黄瓜植株高度和茎粗作为测定参数,测定不同时期(移栽后的第7、14、21、28、35天)黄瓜植株的株高以及移栽后第35天时黄瓜植株的茎粗。

收获期,测定黄瓜果实重量,各处理产量,每株产量,每株果实数,单果重,以确定不同程度的土壤次生盐渍化对黄瓜产量的影响。

为评估不同程度的土壤次生盐渍化对黄瓜品质的影响,测定了果实的维生素C、总可溶性糖、总可溶性蛋白质和粗纤维含量^[20-23]。每处理随机抽取6个成熟果实进行测定。

1.3 统计分析

将试验所得的数据资料进行整理,采用SPSS(17.0版本)和数据处理系统中的LSD进行多重比较,利用Origin(8.0版本)软件进行常规图表的制作。

2 结 果

2.1 表层土壤硝态氮含量

不同采样时期,表层(0~10 cm)土壤硝态氮含量如表2所示。分别在硝酸盐处理后7天、幼苗移

栽后 40 天、盛果期及完全收获期后 7 天,测定表层土壤硝态氮含量。处理行土壤初始硝态氮含量均

高于对照行的硝态氮含量。随着试验的进行各处理土壤硝态氮含量均有不同程度的下降。

表 2 不同时期表层(0~10 cm)土壤的硝态氮含量(mg kg⁻¹)¹⁾

Table 2 NO₃⁻ contents(mg kg⁻¹) in the surface soil layer (0~10 cm) at different time periods

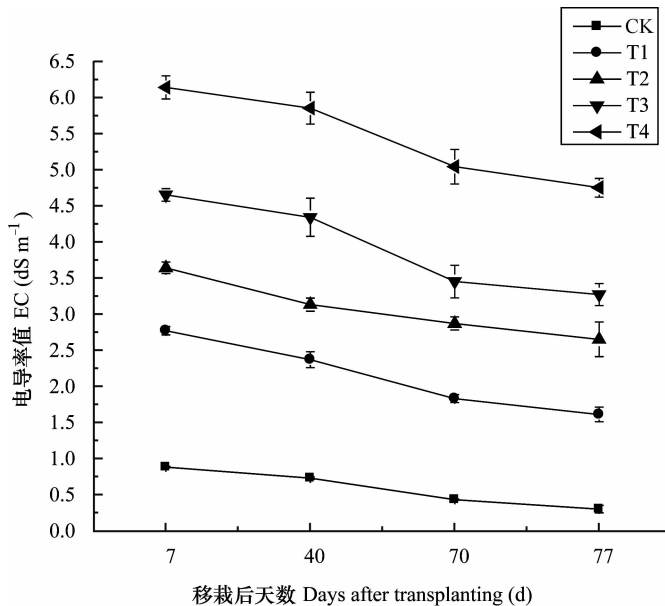
处理 ²⁾ Treatments	移栽后天数 Days after transplanting			
	7d	40d	70d	77d
CK	92.5	85.4	40.2	23.2
T1	325.4	264.2	159.9	111.4
T2	680.2	519.4	294.6	258.3
T3	998.2	848.3	568.5	445.6
T4	1 488	1 407	932.6	843.5

1)均值, $n=4$ Means, $n=4$. 2)CK:对照 Control; T1:1.0~3.0 dS m⁻¹; T2:3.0~4.0 dS m⁻¹; T3:4.0~5.0 dS m⁻¹; T4:5.0~6.0 dS m⁻¹

2.2 表层土壤电导率值

我们测定了不同时期(分别在硝酸盐处理后 7 天、幼苗移栽后 40 天、盛果期及完全收获期后 7 天),对照及各处理的土壤电导率(EC),结果如图 1 所示。初始土壤电导率分别为:CK:0.89 dS m⁻¹, T1:2.78 dS m⁻¹, T2:3.65 dS m⁻¹, T3:4.66 dS m⁻¹, T4:6.15 dS m⁻¹。从图 1 中可以看出,虽然各处理

的初始值不同,但是在黄瓜生长过程中各处理电导率的变化趋势基本相同。完全收获后第 7 天,各处理的电导率下降至最低,分别为:CK:0.31 dS m⁻¹, T1:1.62 dS m⁻¹, T2:2.45 dS m⁻¹, T3:3.28 dS m⁻¹, T4:4.76 dS m⁻¹。相对初始电导率值,下降幅度分别为 CK:61.8%, T1:41.7%, T2:32.9%, T3:29.6%, T4:22.6%。



每个数据是6次重复测量的平均值Each data point is the mean of six measurements \pm SD. CK: 对照 Control; T1: 1.0~3.0 dS m⁻¹; T2: 3.0~4.0 dS m⁻¹; T3: 4.0~5.0 dS m⁻¹; T4: 5.0~6.0 dS m⁻¹

图 1 表层(0~10 cm)土壤电导率在不同时期的动态变化

Fig. 1 Dynamic variation of soil EC (0~10 cm) in the four treatments (T1, T2, T3 and T4) and CK in different periods (soil NO₃⁻ contents after one week of salt treatment, P40ds-40 days after planting, FBA-full bearing stage, and H7ds-7 days after full harvest)

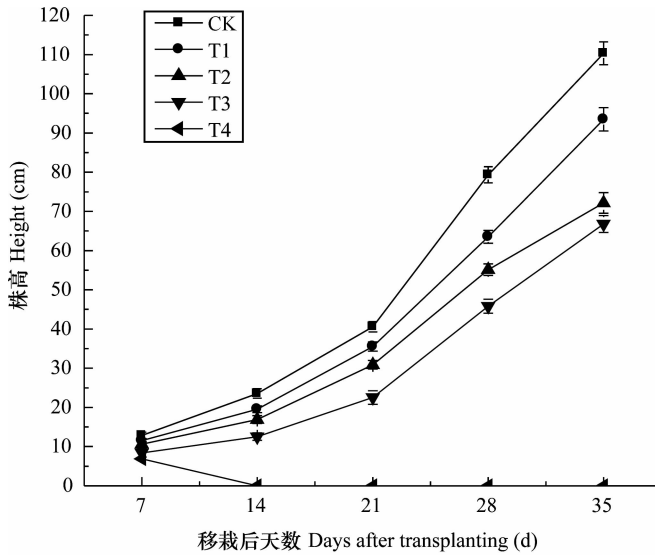
2.3 黄瓜株高和产量

因为处理 4 (T4) 的电导率 (6.15 dS m^{-1}) 已超过黄瓜幼苗的耐受极限, 移栽后的 7 天, T4 行的黄瓜幼苗全部死亡, 所以 T4 的数据在以后的测定结果中缺失。T1、T2、T3 处理行的黄瓜植株株高均低于对照行的植株株高。如表 3 所示, 移栽后第 70 天, 相对于对照行, T1、T2、T3 处理的黄瓜植株株高分别下降 33.5%、56.0%、66.7%。测产结果表明: 单株产量分别下降 12.3%、31.7%、61.9%; 单果重

分别下降 13.0%、26.7%、47.1%。单株果实数在 ($p < 0.05$) 水平上差异不显著。

2.4 黄瓜果实品质

黄瓜果实品质参数包括维生素 C (VC)、总可溶性糖 (TSS)、总可溶性蛋白质 (TSP) 以及粗纤维 (CF) 含量 (如表 4 所示)。整体而言, 相对于对照行, 处理行黄瓜果实总可溶性糖、总可溶性蛋白质、粗纤维均较对照有所增加, 维生素 C 含量随着土壤电导率的增加有所下降。



每个数据是6次重复测量的平均值 Each data point is the mean of six measurements \pm SD. CK: 对照 Control; T1: $1.0 \sim 3.0 \text{ dS m}^{-1}$; T2: $3.0 \sim 4.0 \text{ dS m}^{-1}$; T3: $4.0 \sim 5.0 \text{ dS m}^{-1}$; T4: $5.0 \sim 6.0 \text{ dS m}^{-1}$

图 2 不同时期对照和处理行黄瓜植株株高

Fig. 2 Heights of tomato plants in 5 treatments at different times

表 3 各处理黄瓜株高、茎粗、处理行产量、单株产量、单株果实数、单果重¹⁾

Table 3 Plant height and stem diameter of cucumber, yield of treated row, fruit yield, number of fruit per plant and weight per fruit in CK and the treatments

处理 ²⁾ Treatments	株高 Height (cm)	茎粗 Diameter (cm)	单果重 Weight per fruit (g)	单株果实数 Number per plant	处理行产量 Yield per row (kg)	单株产量 Yield per plant (kg)
CK	$110.3 \pm 2.9\text{a}^{3)}$	$1.64 \pm 0.04\text{a}$	$220.0 \pm 11.5\text{a}$	8	$24.58 \pm 1.33\text{a}$	$1.76 \pm 0.09\text{a}$
T1	$93.5 \pm 3.1\text{b}$	$1.60 \pm 0.03\text{a}$	$191.3 \pm 13.5\text{b}$	8	$21.36 \pm 1.56\text{b}$	$1.53 \pm 0.11\text{b}$
T2	$72.2 \pm 1.6\text{c}$	$1.58 \pm 0.04\text{a}$	$161.3 \pm 10.3\text{c}$	8	$16.78 \pm 0.94\text{c}$	$1.29 \pm 0.08\text{c}$
T3	$66.8 \pm 3.0\text{d}$	$1.52 \pm 0.10\text{b}$	$116.3 \pm 18.6\text{d}$	8	$9.34 \pm 0.41\text{d}$	$0.93 \pm 0.15\text{d}$

1) 均值 \pm 标准差, $n = 6$ Means \pm SD, $n = 6$. 2) CK: 对照 Control; T1: $1.0 \sim 3.0 \text{ dS m}^{-1}$; T2: $3.0 \sim 4.0 \text{ dS m}^{-1}$; T3: $4.0 \sim 5.0 \text{ dS m}^{-1}$; T4: $5.0 \sim 6.0 \text{ dS m}^{-1}$. 3) 同列数据后面不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 Lowercase letters (a, b, c, d) affixed to the data represent significant difference at the 0.05 level

表 4 黄瓜果实的维生素 C、总可溶性糖、总可溶性蛋白质、粗纤维含量¹⁾

Table 4 Vitamin C (VC), total soluble sugar (TSS), total soluble protein (TSP) and crude fiber (CF) of the cucumbers in the CK and the treatments

处理 ²⁾ Treatments	品质参数 Quality parameters			
	维生素 C VC (mg 100g ⁻¹)	总可溶性糖 TSS (g 100g ⁻¹)	总可溶性蛋白质 TSP (g kg ⁻¹)	粗纤维 CF (g 100g ⁻¹)
CK	3.33 ± 0.30a ³⁾	1.86 ± 0.23a	1.26 ± 0.11a	15.67 ± 1.24a
T1	3.11 ± 0.46ab	1.99 ± 0.40a	1.29 ± 0.14a	16.33 ± 1.00a
T2	2.98 ± 0.41ab	2.15 ± 0.56a	1.31 ± 0.16a	16.94 ± 1.42a
T3	2.83 ± 0.24b	2.36 ± 0.49a	1.35 ± 0.18a	17.56 ± 2.32a

1) 均值 ± 标准差, $n=6$ Means ± SD, $n=6$. 2) CK:对照 Control; T1:1.0~3.0 dS m⁻¹; T2:3.0~4.0 dS m⁻¹; T3:4.0~5.0 dS m⁻¹; T4:5.0~6.0 dS m⁻¹. 3) 同列数据后面不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 Lowercase letters(a,b,c,d) affixed to the data represent significant difference at the 0.05 level.

表 5 对照及各处理行表层(0~10 cm)土壤电导率与土壤硝态氮含量之间的相关关系

Table 5 Relationship between electrical conductivity (EC) and NO₃⁻ content in the 0~10 cm horizon of the control and the treatments

处理 ¹⁾ Treatments	相关方程 Relative equations	相关系数 Correlation coefficient r	p
CK	EC = 0.008 4 NO ₃ ⁻ + 0.132 31	0.986	0.010
T1	EC = 0.004 7 NO ₃ ⁻ + 1.232 49	0.981	0.020
T2	EC = 0.002 7 NO ₃ ⁻ + 1.983 89	0.997	0.004
T3	EC = 0.002 5 NO ₃ ⁻ + 2.070 91	0.996	0.005
T4	EC = 0.002 7 NO ₃ ⁻ + 2.059 06	0.984	0.020

1) CK:对照 Control; T1:1.0~3.0 dS m⁻¹; T2:3.0~4.0 dS m⁻¹; T3:4.0~5.0 dS m⁻¹; T4:5.0~6.0 dS m⁻¹

3 讨论

3.1 表层土壤硝态氮含量电导率

随着黄瓜植株的生长,对照行和各处理行的土壤硝态氮含量均有所下降。土壤硝态氮含量的下降一部分是被植物作为营养元素吸收利用,一部分被淋溶至深层土壤^[24]。硝酸盐的加入增加了土壤初始硝态氮含量。如表 5 所示,表层土壤的硝态氮含量与电导率之间呈显著正相关关系。此结果与 Albiach 等^[24]以及施卫明等^[25]的研究结果一致。像这类主要由硝酸盐含量的变化引起的土壤次生盐渍化称为硝酸盐型次生盐渍化。

当饱和土壤溶液的电导率达到 4mmhos cm⁻¹ (合 2.56 g L⁻¹溶解盐,约合 3.0 dS m⁻¹)时,该土壤被界定为盐渍土^[26-27]。根据这个临界值,处理 2 (T2)的土壤已经非常接近盐渍化土,而处理 3 (T3)和处理 4 (T4)已经达到盐渍土水平。

3.2 表层土壤电导率与黄瓜株高和产量的关系

试验期间,从整个趋势来看, T1、T2 和 T3 处理行的黄瓜株高相对对照均有所下降,且土壤电导率

越高,株高下降幅度越大。相关性分析表明,黄瓜株高与土壤电导率之间显著相关 ($\text{Height} = -12.23\text{EC} + 122.31, r = -0.975, p = 0.025$)。当黄瓜株高下降 15%、30% 和 60% 时,相应的土壤电导率为 2.33、3.69、6.39 dS m⁻¹。T1、T2 和 T3 处理行的黄瓜植株在移栽后第 35 天时的茎粗相对对照均有所下降,但是只有 T3 处理的植株茎粗与对照之间在 0.05 水平上有明显差异。

黄瓜单株产量与土壤电导率之间呈显著负相关关系,相关方程为: $Y/P = -0.214 \text{EC} + 2.017 (r = -0.964, p = 0.0036)$ 。当单株产量下降 10%、30%、50% 和 70% 时,对应的土壤电导率分别为 2.03、3.67、5.32 和 6.97 dS m⁻¹。各处理行单株果实数没有显著性差异。黄瓜单果重与土壤电导率之间也呈显著负相关关系,相关方程为: $\text{WSF} = -25.099 \text{EC} + 250.02 (r = -0.954, p = 0.046)$ 。当单果重相对对照组下降 10%、30%、50% 和 70% 时,对应的土壤电导率为 2.09、3.83、5.59 和 7.34 dS m⁻¹。

3.3 表层土壤电导率和黄瓜果实品质

土壤盐分对黄瓜果实品质有一定的影响。本研究中,黄瓜果实总可溶性糖、总可溶性蛋白质、粗

纤维含量随着土壤盐分的升高有不同程度的增加 ($TSS = 0.130 EC + 1.702, r = 0.961, p = 0.039$; $TSP = 0.023EC + 1.233, r = 0.972, p = 0.028$; $CF = 0.503 EC + 15.07, r = 0.989, p = 0.011$)。然而果实维生素 C 含量随着土壤盐分的增加有下降趋势,且呈负相关关系 ($VC = -0.132 EC + 3.458, r = -0.998, p = 0.002$)。盐分的增加有利于黄瓜果实总可溶性糖及总可溶性蛋白的增加,一定程度上有利于黄瓜品质的提高;但同时盐分的增加也减少了黄瓜果实中维生素 C 的含量,增加了粗纤维的含量,这些均不利于黄瓜品质的提高。所以盐分的增加对黄瓜品质的影响应该进行综合评估。

3.4 硝态氮型土壤次生盐渍化分级的建议

实验结果表明,黄瓜株高和收获期单果重及每处理果实产量均随着土壤盐分的升高而下降,这些结果与以前 Adams 和 Ho^[28] 以及 Kareem 和 Taiwo^[29] 的研究结果相符。相对于对照而言,黄瓜植株茎粗随土壤盐分含量的增加有所下降,但没有统计学上的明显相关关系,这样我们就初步设想以黄瓜株高和收获后产量为指标对硝酸盐型土壤次生盐渍化进行分级。

实验分析也表明,盐分的增加对黄瓜果实质量有显著的影响。例如,随着盐分的增加,黄瓜总可溶性糖、总可溶性蛋白质含量均有所增加,这些指标的提高有利于黄瓜果实品质的改善;但是,黄瓜果实的粗纤维含量随着土壤硝酸盐含量的提高而

增加,黄瓜果实的维生素 C 含量随着土壤硝酸盐的增加而降低,这些变化均不利于黄瓜品质的改善^[30]。并且 Maga'n 等在 2008 年曾从经济学的角度做过类似的分析,分析表明可溶性糖和可溶性蛋白质的增加对黄瓜品质的改善不足以补偿果实产量的下降^[31]。再者,就测量难易程度而言,相对于产量指标而言质量参数的测定较为复杂,也容易出错。所以,综合考虑,我们虽然测定了黄瓜果实的质量参数但是未将这些质量参数选作硝酸盐型次生盐渍化分级的指标。

黄瓜果实产量的土壤电导率 (EC) 临界值为 2.03 dS m^{-1} , 此临界值低于 Maga'n 等在 2008 年测定的番茄的 EC 临界值 ($EC = 3.2 \text{ dS m}^{-1}$)^[31]。这可能是由于黄瓜较西红柿对土壤盐分更加敏感的原因。当黄瓜果实产量相对对照下降 10%、30%、50% 和 70% 时,对应的土壤电导率分别为 2.03 、 3.67 、 5.32 和 6.97 dS m^{-1} ; 当黄瓜株高相对对照下降 15%、30% 和 60% 时,对应的土壤电导率分别为 2.33 、 3.69 和 6.39 dS m^{-1} 。但是当土壤电导率达到 6.15 dS m^{-1} (T4) 时,黄瓜幼苗基本全部死亡。所以,我们初步将硝酸盐型土壤次生盐渍化分为 5 级,具体等级划分如表 6 所示,即等级 I: $EC < 2.03 \text{ dS m}^{-1}$, 等级 II: $2.03 \text{ dS m}^{-1} < EC < 3.76 \text{ dS m}^{-1}$, 等级 III: $3.76 \text{ dS m}^{-1} < EC < 5.32 \text{ dS m}^{-1}$, 等级 IV: $5.32 \text{ dS m}^{-1} < EC < 6.15 \text{ dS m}^{-1}$, 等级 V: $EC > 6.15 \text{ dS m}^{-1}$ 。

表 6 长江三角洲地区基于黄瓜生长的设施菜地土壤次生盐渍化分级导则

Table 6 Guidelines for grading of the NO_3^- -SSS of soils under greenhouse dedicated for cucumber cultivation in the Yangtze River Delta, China

次生盐渍化等级 Soil secondary salinity class	电导率 ¹⁾ EC (dS m^{-1})	对黄瓜产量的影响 Effects on cucumbers
I	< 2.03	盐分的影响可以忽略不计或有轻微的增产作用
II	$2.03 \sim 3.76$	植株生长减少 0 ~ 15%, 产量下降 10% ~ 30%
III	$3.76 \sim 5.32$	植株生长减少 15% ~ 30%, 产量下降 30% ~ 50%
IV	$5.32 \sim 6.15$	植株生长减少 30% ~ 60%, 产量下降 50% ~ 70%
V	> 6.15	植株生长减少大于 60%, 产量下降大于 70%

1) 1:5, 25 °C

4 结 语

表层土壤电导率与土壤硝酸盐含量之间的显著相关性表明,由过量硝酸盐引起的土壤次生盐渍化的程度可以用土壤电导率的大小来标示。随着土壤盐分的增加,黄瓜的株高、果实产量和质量均

发生了很大的变化,我们以黄瓜株高和果实产量为指标,将硝酸盐型土壤次生盐渍化划分为 5 个等级,即等级 I: $EC < 2.03 \text{ dS m}^{-1}$, 等级 II: $2.03 \text{ dS m}^{-1} < EC < 3.76 \text{ dS m}^{-1}$, 等级 III: $3.76 \text{ dS m}^{-1} < EC < 5.32 \text{ dS m}^{-1}$, 等级 IV: $5.32 \text{ dS m}^{-1} < EC < 6.15 \text{ dS m}^{-1}$, 等级 V: $EC > 6.15 \text{ dS m}^{-1}$ 。这项研究可以指导我们对设施菜地的硝酸盐型土壤次生盐渍化进行分级,并建立一套基

于不同蔬菜种类的次生盐渍化的分级标准。以期更好地减轻和控制土壤次生盐渍化的发生。以建立的标准为指导,我们建议农户尽量将设施菜地的电导率维持在第三级次生盐渍化以下。并且尽量选择耐盐性强的蔬菜种类和品种。例如,当设施菜地的次生盐渍化程度超过黄瓜耐盐性时,农户可以考虑种植番茄或者耐盐性更强一些的蔬菜如:菠菜、芹菜、茄子等。对当地设施菜地的土壤盐分进行测定,以当地次生盐渍化分级标准为参考,选择合适的蔬菜种类和品种进行种植,将大大减轻和控制次生盐渍化的发生,有利于当地设施菜地经济效益和环境效益的提高。

因为本研究中次生盐渍化分级指导的提出只是基于一季黄瓜实验数据,所以还需要更多的实验来证明和进一步细化分级,以期建立一整套适用于不同地区、不同类型,基于不同蔬菜种植的设施菜地土壤次生盐渍化分级标准。

参 考 文 献

- [1] Kitamura Y, Yano T, Honna T, et al. Causes of farmland salinization and remedial measures in the Aral Sea basin—Research on water management to prevent secondary salinization in rice-based cropping system in arid land. *Agric Water Manage*, 2006, 85: 1—14
- [2] 余海英, 李廷轩, 周健民. 设施土壤次生盐渍化及其对土壤性质的影响. *土壤*, 2005, 37(6): 581—586. Yu H Y, Li T X, Zhou J M. Secondary salinization of greenhouse soil and its effects on soil properties (In Chinese). *Soils*, 2005, 37(6): 581—586
- [3] Ayers R S, Westcot D W. Water quality for agriculture. Rome FAO; Irrigation and Drainage Paper 29, 1985
- [4] Dorota Z. Irrigating with high salinity water. Bulletin 322 Agricultural and Biological Engineering Dep, Florida Cooperative Extension Service Institute of Food and Agriculture Sciences, University of Florida, 1997
- [5] Yang X Y, Wang X F, Wei M, et al. Changes of nitrate reductase activity in cucumber seedlings in response to nitrate stress. *Agri Sci in China*, 2010, 9: 216—222
- [6] Kotsiras A, Olympios C M, Drosopoulos J, et al. Effects of nitrogen form and concentration on the distribution of ions within cucumber fruits. *Sci Hort*, 2002, 95: 175—183
- [7] Mustafa U, Riza K, Ulas S, et al. Trickle and sprinkler irrigation of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the Middle Anatolian Region in Turkey. *Agric Water Manage*, 2006, 79: 43—71
- [8] Roupchal Y, Cardarelli M, Rea E, et al. Comparison of the sub-irrigation and drip-irrigation systems for greenhouse zucchini squash production using saline and non-saline nutrient solutions. *Agric Water Manage*, 2006, 82: 99—117
- [9] Yuan B Z, Sun J, Nishiyama S. Effect of drip irrigation on strawberry growth and yield inside a plastic greenhouse. *Biosyst Eng*, 2004, 87: 237—245
- [10] Sui Y Y, Liu X B, Jin J, et al. Differentiating the early impacts of topsoil removal and soil amendments on crop performance/productivity of corn and soybean in eroded farmland of Chinese Mollisols. *Field Crops Res*, 2009, 111: 276—283
- [11] Liang Y C, Si J, Miroslav N, et al. Organic manure stimulates biological activity and barley growth in soil subject to secondary salinization. *Soil Biol Biochem*, 2005, 37: 185—195
- [12] Conde E, Cardenas M C, Ponce-Mendoza A, et al. The impacts of inorganic nitrogen application on mineralization of ¹⁴C-labelled maize and glucose, and on priming effect in saline alkaline soil. *Soil Biol Biochem*, 2005, 37: 681—691
- [13] Darwish T, Atallah T, Moujabber E L, et al. Salinity evolution and crop response to secondary soil salinity in two agro-climatic zones in Lebanon. *Agric Water Manage*, 2005, 78: 152—164
- [14] 陈志凡, 段海静, 张义东. 稻麦轮作模式对引黄灌区盐渍化潮土脱盐效果分析. *气象与环境科学*, 2008, 31(4): 29—31. Chen Z F, Duan H J, Zhang Y D. Desalination effects of rice-wheat rotation cultivation on salinized Fluvo-aquic soil in Kaifeng Irrigation Area of the Yellow River (In Chinese). *Meteorological and Environmental Sciences*, 2008, 31(4): 29—31
- [15] Ge T D, Nie S A, Hong Y, et al. Soluble organic nitrogen pools in greenhouse and open field horticultural soils under organic and conventional management: A case study. *European J Soil Biol*, 2010, 46: 371—374
- [16] 郁恒福. 次生盐渍化温室土壤调控与可持续利用研究——以江苏宜兴为例. 南京: 中国科学院南京土壤研究所, 2007: 38—41. Huan H F. Research on the control and sustainable use of the secondarily salinized greenhouse soil—A case study of Yixing City, Jiangsu Province (In Chinese). Nanjing: Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, 2007: 38—41
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. Lu R K. Analytical methods for soil and agro-chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [18] Zhao F J, Lehmann J, Solomon D, et al. Sulphur speciation and turnover in soils: Evidence from sulphur K-edge XANES spectroscopy and isotope dilution studies. *Soil Biol Biochem*, 2006, 38: 1000—1007
- [19] Bu X L, Wang L M, Ma W B, et al. Spectroscopic characterization of hot-water extractable organic matter from soils under four different vegetation types along an elevation gradient in the Wuyi Mountains. *Geoderma*, 2010, 159: 139—146
- [20] Domene X, Colón J, Uras M V, et al. Role of soil properties in sewage sludge toxicity to soil collembolans. *Soil Biol Biochem*, 2010, 42(11): 1982—1990
- [21] Nagao M, Minami A, Arakawa K, et al. Rapid degradation of starch in chloroplasts and concomitant accumulation of soluble sugars associated with ABA-induced freezing tolerance in the moss *Physcomitrella patens*. *J Plant Physiol*, 2005, 162: 169—180
- [22] Massot C, Génarda M, Stevens R, et al. Fluctuations in sugar content are not determinant in explaining variations in vitamin C

- in tomato fruit. *Plant Physiol Bioch*, 2010, 48: 751—757
- [23] Tewari J C, Dixit V, Cho B K, et al. Determination of origin and sugars of citrus fruits using genetic algorithm, correspondence analysis and partial least square combined with fiber optic NIR spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2008, 71: 1 119—1 127
- [24] Albiach R, Caneta C, Pomaresa F, et al. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. *Bioresource Techno*, 2000, 75: 43—48
- [25] Shi W M, Yao J, Yan F. Vegetable cultivation under greenhouse conditions leads to rapid accumulation of nutrients, acidification and salinity of soils and groundwater contamination in South-Eastern China. *Nutr Cycl Agroecosys*, 2009, 83: 73—84
- [26] Maas E V, Hoffman G J. Crop salt tolerance: Current assessment. *J Irrig Drain Div ASCE*, 1977, 103: 115—134
- [27] Nele V, Adrian C G, Carina M, et al. Conservation agriculture for wheat-based cropping systems under gravity irrigation: increasing resilience through improved soil quality. *Plant Soil*, 2010, 340: 467—479
- [28] Adams P, Ho L C. Effect of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes. *J Hort Sci*, 1989, 64: 725—732
- [29] Kareem K T, Taiwo M A. Interactions of viruses in Cowpea: Effects on growth and yield parameters. *Biomed Life Sci*, 2007, 4: 1—7
- [30] Eltez R Z, Tuzel Y, Gul A, et al. Effects of different EC levels of nutrient solution on greenhouse tomato growing. *Acta Hortic*, 2002(573): 443—448
- [31] Maga'n J J, Gallardo M, Thompson R B, et al. Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soil-less culture in greenhouses in Mediterranean climatic conditions. *Agric Water Manage*, 2008, 95: 1 041—1 055

THE CLASSIFICATION STUDY ON NO_3^- -SOIL SECONDARY SALINIZATION IN CUCUMBER-BASED GREENHOUSE

Zhang Jinjin^{1,2} Duan Zengqiang^{1*} Li Xun¹

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract In China, nitrogen fertilizer application rates in intensive agricultural systems have increased dramatically in recent years, especially in protected vegetable production systems. This excessive use of nitrogen fertilizer has resulted in soil secondary salinization (SSS), which has become a significant environmental stress for crops such as cucumber, in the protected farmland of China. So it is necessary to propose some guidelines to direct the management of SSS in facility agricultural areas. In this study, the NO_3^- -SSS classification was studied in greenhouses planted with cucumber (*Cucumis sativus* L. cv. Dongfangmingzhu) in Taizhou, Jiangsu Province, East China. After the soils in these greenhouses were treated by different concentrations of nitrate, the SSS levels expressed by electrical conductivity (EC) were studied at 0.89 dS m⁻¹ for control, 2.78 dS m⁻¹ for treatment 1 (T1), 3.65 dS m⁻¹ for treatment 2 (T2), 4.66 dS m⁻¹ for treatment 3 (T3) and 6.15 dS m⁻¹ for treatment 4 (T4). The results showed that there were significant relationships between NO_3^- contents and soil EC in the surface soils, implying that the change in soil quality resulted from the difference of nitrate contents could be expressed by the level of the NO_3^- -SSS. The level of the NO_3^- -SSS was significantly related with the cucumber height and yield ($p < 0.05$). Then, the classification for NO_3^- -SSS in cucumber-based greenhouse in Yangtze River Delta was identified as five levels according to the effects of SSS on the cucumber height and yield (level I: EC < 2.03 dS m⁻¹, level II: 2.03 dS m⁻¹ < EC < 3.76 dS m⁻¹, level III: 3.76 dS m⁻¹ < EC < 5.32 dS m⁻¹, level IV: 5.32 dS m⁻¹ < EC < 6.15 dS m⁻¹, level V: EC > 6.15 dS m⁻¹).

Key words Classification; Greenhouse; NO_3^- ; Soil secondary salinization (SSS); Cucumber (*Cucumis sativus* L.)