

淹水添加有机物料改良退化设施蔬菜地土壤^{*}

朱同彬^{1,2} 孙盼盼¹ 党琦² 张金波¹ 蔡祖聪^{1†}

(1 南京师范大学地理科学学院, 南京 210046)

(2 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)

摘要 设施蔬菜种植易引起土壤酸化和次生盐渍化及土传疾病的发生,严重影响蔬菜生产的可持续发展,亟需发展快速有效改良退化土壤的方法和技术。通过盆栽试验,比较研究了稻草、黑麦草和鸡粪用量分别为 1%、3% 和 7% 时,淹水 15 d 改良退化设施蔬菜地土壤的效果。结果表明,与不淹水不加有机物料处理(CK₀)和淹水不加有机物料处理(CK₁)相比,淹水添加有机物料加速土壤 Eh 的下降,能有效消除土壤积累的硝态氮,降低硫酸根含量,显著提高土壤 pH,其变化幅度随有机物料添加量的增加而增大。退化设施蔬菜地土壤改良后,除稻草和鸡粪添加量为 7% 处理外,各有机物料处理黄瓜长势和产量均高于 CK₀ 和 CK₁ 处理。有机物料对退化土壤的改良效果表现为黑麦草 > 稻草 > 鸡粪,而有有机物料添加量增大,并不显著改善黄瓜长势和提高产量。

关键词 退化设施蔬菜地;土壤改良;有机物料;淹水处理

中图分类号 S153 **文献标识码** A

自 20 世纪 70 年代中期引进设施栽培技术以来,因其受季节影响小、复种指数和经济效益高等优点,设施蔬菜种植面积在我国迅速扩大,已由 1976 年的 333 万 hm² 扩大至 2011 年的 2 427 万 hm²,约占农作物总种植面积的 12.9%^[1]。值得注意的是,设施蔬菜种植过程中菜农往往施用大量化肥,加之不合理轮作,导致土壤出现严重的酸化、盐渍化、硝态氮和硫酸根大量累积、连作障碍和土传疾病发生^[2-5],引起土壤退化,蔬菜大幅度减产,严重影响菜农收入和蔬菜生产的可持续发展。

针对设施蔬菜地土壤退化问题,我国科研工作者已做过大量研究,主要包括:施用石灰等碱性物质减轻土壤酸化;施用有机物质提高土壤有机质含量及增强土壤抗逆性^[6-7];土壤消毒或接种有益微生物杀灭土传病原菌^[8-9];短期淹水、种植填闲作物或轮作水稻等^[10-11]。这些措施对改良退化设施蔬菜地土壤均有一定效果,但多数针对某一特定障碍因素,未能全面改良退化设施蔬菜地土壤。

强还原是快速、有效改良退化设施蔬菜地土壤

的新方法^[12-13],该方法主要通过淹水且添加有机物料创造强还原环境,促进硝态氮和硫酸根等离子还原,消耗 H⁺,减轻盐渍化和酸化,同时增加有机质改善土壤结构,厌氧或产生 H₂S 等物质抑制或杀灭病原微生物,从而全面改良退化设施蔬菜地土壤。实际农业生长中,常用有机物料主要包括绿肥、作物秸秆和畜禽粪便等。各类有机物料因理化性质和降解性不同,淹水后创造的还原强度可能会有较大差异,直接影响土壤硝态氮和硫酸根的去效率、酸化和盐渍化及土传病原菌的数量和活性,进而影响退化设施蔬菜地土壤的改良效果。为此,本研究选取不同种类和用量的有机物料,通过盆栽试验,比较强还原条件下有机物料种类和用量水平改良退化设施蔬菜地土壤的效果。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤于 2011 年 4 月 4 日采自安徽省和县

* 中国博士后科学基金项目(2012M511299)、土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放课题(0812201211)和国家自然科学基金重点项目(40830531, 40921061)资助

† 通讯作者, E-mail: zccai@njnu.edu.cn

作者简介:朱同彬(1983—),男,山东高密人,博士,主要从事土壤氮循环及其环境效应的研究。E-mail: zhutongbin@gmail.com

收稿日期:2013-05-06;收到修改稿日期:2013-06-28

乌江镇驻马店村(31°70' N, 118°37' E)种植 10 年的设施蔬菜地大棚,土壤类型为普通筒育水耕人为土。采样时大棚内种植香瓜(*Cucumis melo* L.),已出现严重的生长障碍,发病率为 60%~70%。采样深度为 0~20 cm,随机设置 8 个 1 m × 1 m 的样方,用铁锹在每个样方内采集土壤样本,剔除石块和植物根系,将新鲜土壤混合均匀后过 5 mm 筛备用。供试土壤 pH 4.0,电导率 0.64 mS cm⁻¹,全碳 15.21 g kg⁻¹,全氮 2.31 g kg⁻¹,铵态氮 280.1 mg kg⁻¹,硝态氮 170.2 mg kg⁻¹,容重 1.31 g cm⁻³,硫酸根 2.64 g kg⁻¹。

供试有机物料分别为黑麦草(*Lolium perenne*

L.)、水稻(*Oryza sativa* L.) 秸秆和腐熟的鸡粪。黑麦草采自江苏省宜兴市周铁镇,水稻秸秆和鸡粪采自安徽省和县乌江镇驻马店村。黑麦草和水稻秸秆风干后,剪碎,长度小于 2 cm。鸡粪晾干后粉碎过 5 mm 筛。黑麦草、水稻秸秆和鸡粪的全碳、全氮含量及 C/N 见表 1。

供试蔬菜为黄瓜(*Cucumis sativus* Linn.),品种为津春 4 号,天津市农业科学院黄瓜研究所育成。供试黄瓜采用穴盘育苗,2011 年 4 月 27 日将黄瓜种子置于灭菌的蛭石上催芽,出芽后喷施营养液,待有两片真叶完全展开时,将黄瓜苗移栽至盆中。

表 1 黑麦草、水稻秸秆和鸡粪的全碳、全氮含量及 C/N

Table 1 Total N, total C content and C/N ratio of ryegrass, rice straw and chick manure

有机物料 Organic material	全碳 Total C (g kg ⁻¹)	全氮 Total N (g kg ⁻¹)	C/N
稻草 RS	450.1	9.64	46.69
黑麦草 RG	431.0	11.41	37.77
鸡粪 CM	338.1	20.12	16.80

RS: Rice straw; RG: Ryegrass; CM: Chicken manure

1.2 试验设计

本试验共设置 11 个处理:不淹水不添加有机物料(CK_d)、淹水不添加有机物料(CK_t)、淹水分别添加水稻秸秆(RS)、黑麦草(RG)和鸡粪(CM),有机物料添用量分别为土重的 1%、3% 和 7%。

盆栽试验于 2011 年 4 月 10 日在温室内进行。称取 4 kg 过 5 mm 筛的土壤于塑料薄膜上,按试验要求加入有机物料,混合均匀后装于塑料桶中(直径 17 cm × 高度 22 cm),每个处理 3 次重复,随机排列。随后,除 CK_d 外,各处理均加自来水浸泡,用塑料膜封住桶口,密闭 15 d。淹水结束后取样,测定土壤 pH、电导率、氧化还原电位、铵态氮、硝态氮和硫酸根含量。取样后,打开塑料桶底部两个直径为 1.5 cm 的排水孔,排除水分,自然落干,再次取样测定上述指标。之后倒出塑料桶内土,捏碎使其松散,再次装于原塑料桶中,移栽形态和长势基本一致的黄瓜 1 株,进行正常的肥水和病虫害防治管理。分别在定植后第 4、9、12、15、18、21、24、29 和 32 天测定黄瓜株高、叶片数和第三片叶长度,黄瓜收获后测定产量。

1.3 测定方法

土壤 pH(水土比 2.5:1)采用 DMP-2 pH 计(Quark Ltd, China)测定,电导率 EC(水土比 5:1)采用电导率仪(KangYi Corp., China)测定, Eh 值采用

DMP-2 mV 计(Quark Ltd, China)直接测定,有机碳采用重铬酸钾容量法测定,全氮采用半微量开氏法测定,SO₄²⁻ 含量(水土比 5:1)采用离子色谱(DI-ONEX DX-500, America)测定, NH₄⁺ - N 和 NO₃⁻ - N 含量采用 San++ 连续流动分析仪(Skalar, Breda, Netherlands)测定。

1.4 数据处理

数据处理采用 SPSS 13.0 软件进行方差分析(one-way ANOVA),采用 Duncan 法进行差异显著性检验。

2 结果

2.1 土壤 Eh、pH 和 EC 的变化

从表 2 可以看出,淹水 15 d 各处理土壤 Eh 明显下降,与 CK_d 处理(381.0 mV)相比,达到显著性差异($p < 0.05$)。仅淹水,不加有机物料的 CK_t 处理 Eh 降至 116.1 mV,显著高于各有机物料处理($p < 0.05$)。除 RS_{1%}(70.2 mV)和 CM_{1%}(85.2 mV) 处理外,其他有机物料处理土壤 Eh 均降至 0 mV 以下,同一添加量条件下,有机物料处理土壤 Eh 呈现出 CM > RS > RG 的趋势,且随有机物料添加量的增加而下降。

表 2 淹水 15 d 后不同处理土壤理化性质

Table 2 Physical and chemical properties of the soils in different treatments after 15 d of flooding

处理 ¹⁾ Treatment	氧化还原电位 Eh (mV)	pH	电导率 EC (mS cm ⁻¹)	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N (mg kg ⁻¹)	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N (mg kg ⁻¹)	硫酸根 SO ₄ ²⁻ (g kg ⁻¹)
CK _d	381.0 ± 3.8a ²⁾	4.15 ± 0.06g	0.61 ± 0.03a	236.2 ± 13.0bc	197.0 ± 18.9a	2.61 ± 0.18a
CK _f	116.1 ± 3.6b	4.64 ± 0.07f	0.42 ± 0.02cd	157.1 ± 23.1def	83.8 ± 7.2b	1.70 ± 0.15b
RS _{1%}	70.2 ± 28.8c	5.12 ± 0.25e	0.36 ± 0.02d	107.1 ± 41.1f	3.55 ± 0.7c	1.86 ± 0.30ab
RS _{3%}	-63.3 ± 31.7e	5.54 ± 0.16d	0.34 ± 0.05d	144.3 ± 24.9ef	2.61 ± 0.3c	1.89 ± 0.91ab
RS _{7%}	-108.1 ± 14.7f	5.91 ± 0.10c	0.36 ± 0.03d	147.0 ± 66.8ef	2.52 ± 0.3c	1.53 ± 0.60b
RG _{1%}	-60.4 ± 10.1e	5.70 ± 0.20cd	0.41 ± 0.02cd	190.4 ± 39.2cde	2.61 ± 0.3c	1.33 ± 0.35b
RG _{3%}	-138.4 ± 13.5f	6.19 ± 0.09b	0.44 ± 0.03c	212.2 ± 5.8b	2.71 ± 0.2c	1.31 ± 0.60b
RG _{7%}	-149.2 ± 12.8f	6.88 ± 0.05a	0.55 ± 0.02b	257.1 ± 37.4b	2.80 ± 0.0c	1.38 ± 0.19b
CM _{1%}	85.2 ± 19.3c	5.26 ± 0.20e	0.40 ± 0.03cd	213.2 ± 8.4bcd	4.63 ± 2.5c	1.72 ± 0.26b
CM _{3%}	-29.7 ± 6.7d	6.19 ± 0.27b	0.47 ± 0.02bc	259.3 ± 17.4b	2.61 ± 0.3c	1.97 ± 0.08ab
CM _{7%}	-115.1 ± 26.6f	6.95 ± 0.09a	0.51 ± 0.03b	354.0 ± 26.8a	3.55 ± 0.7c	1.53 ± 0.05b

1) CK_d: 不淹水不添加有机物料 No flooding and no organic material application; CK_f: 只淹水不添加有机物料 Flooding only; RS: 稻草 Rice straw; RG: 黑麦草 Ryegrass; CM: 鸡粪 Chicken manure; 1%、3% 和 7% : 有机物料添加量分别为土重的 1%、3% 和 7% Organic material was amended at a rate of 1%、3% and 7% of the soil in pot (in weight). 下同 The same below. 2) 平均值 ± 标准差。同一列中无相同字母表示处理间差异显著 ($p < 0.05$) Means ± standard error. Different letters in the same column indicated significant difference among different treatments at 0.05 level

强还原处理后土壤 pH 显著提高(表 2)。与 CK_d 处理(4.15)相比,CK_f 处理土壤 pH 达到 4.64, 添加有机物料各处理的 pH 均高于 5.0, 其变化幅度随有机物料添加量的增加而增大。同一添加量条件下,土壤 pH 因有机物料种类而有较大差异。有机物料添加量为 1% 时, RG 处理土壤 pH 显著高于 RS 和 CM 处理($p < 0.05$)。有机物料施用量为 3% 和 7% 时, RG 和 CM 处理土壤 pH 无显著差异($p > 0.05$), 但均显著高于 RS 处理($p < 0.05$)。相关分析表明,土壤 pH 与 Eh 呈极显著负相关关系($R^2 = 0.82, p < 0.001$)。土壤落干后,淹水处理土壤 pH 均明显下降,CK_f 处理降至 4.4, 但有机物料处理仍高于 5.0。RS 和 CM 高添加量处理土壤 pH 仍大于低量处理,而 RG 处理无明显变化。

由表 2 可知,淹水处理 15 d 降低土壤 EC, 与 CK_d 处理(0.61 mS cm⁻¹)相比,达到显著性差异($p < 0.05$)。除 RG_{7%} 和 CM_{7%} 处理外,添加有机物料各处理与 CK_f 处理(0.42 mS cm⁻¹)土壤 EC 无显著差异($p > 0.05$)。有机物料添加量由 1% 增至 7%, RS 处理土壤 EC 无明显变化,保持在 0.35 mS cm⁻¹, 而 RG 和 CM 呈升高趋势。土壤排水落干后,CK_f 处理保持不变,而添加有机物料处理土壤 EC 显著升高,表现为 CM > RG > RS (表 3), 且随有机物料添用

量的增加而增大, RG_{7%} 和 CM_{7%} 处理分别高达 0.83 和 0.91 mS cm⁻¹, 显著高于未处理前土壤 EC 值(0.64 mS cm⁻¹)。

2.2 土壤铵态氮、硝态氮和硫酸根的变化

由表 2 可知,与初始铵态氮(280.1 mg kg⁻¹)相比, CK_d 和 CK_f 处理分别降至 236.2 mg kg⁻¹ 和 157.1 mg kg⁻¹。强还原处理 15 d, 土壤铵态氮含量因有机物料种类和用量而有显著差异(表 2)。同一添加量条件下, CM 处理土壤铵态氮含量高于 RG 和 RS, 有机物料添加量越大, 铵态氮含量越高, CM_{7%} 处理高达 354.0 mg kg⁻¹。土壤排水落干后,除 CK_d 处理土壤铵态氮含量略有降低外,其他处理土壤铵态氮含量无明显变化(表 3)。与初始硝态氮含量(170.2 mg kg⁻¹)相比, CK_d 处理土壤硝态氮略有升高, 达到 197.0 mg kg⁻¹, 淹水 15 d 则显著降低土壤硝态氮含量, CK_f 处理降至 83.8 mg kg⁻¹, 添加有机物料的各处理均降至 5.0 mg kg⁻¹ 以下, 土壤硝态氮含量并不因有机物料种类和用量而有显著差异($p > 0.05$)。土壤落干后, CK_d 和 CK_f 处理土壤硝态氮一定程度下降, 分别降至 164.2 mg kg⁻¹ 和 61.9 mg kg⁻¹, 而各有机物料处理土壤硝态氮含量均略有升高, RS、RG 和 CM 处理分别达到 4.96 ~ 9.91 mg kg⁻¹、6.16 ~ 7.09 mg kg⁻¹ 和 10.73 ~ 16.11 mg kg⁻¹, 各有机物料处理之间无显著性差异($P > 0.05$) (表 3)。

表 3 排水落后不同处理土壤理化性质

Table 3 Physical and chemical properties of the soils in different treatments after drainage

处理 Treatment	pH	电导率 EC (mS cm ⁻¹)	铵态氮 NH ₄ ⁺ - N (mg kg ⁻¹)	硝态氮 NO ₃ ⁻ - N (mg kg ⁻¹)	硫酸根 SO ₄ ²⁻ (g kg ⁻¹)
CK _d	4.16 ± 0.06f	0.49 ± 0.04efg	192.1 ± 17.0de	164.2 ± 7.3a	2.26 ± 0.15ab
CK _f	4.40 ± 0.04e	0.42 ± 0.00g	148.2 ± 9.6ef	61.90 ± 7.2b	1.77 ± 0.25bcd
RS _{1%}	5.01 ± 0.05d	0.44 ± 0.01fg	129.2 ± 9.9f	9.91 ± 5.2c	2.04 ± 0.30abcd
RS _{3%}	5.22 ± 0.13cd	0.44 ± 0.02fg	115.0 ± 11.5f	4.96 ± 1.1c	1.98 ± 0.22abc
RS _{7%}	5.34 ± 0.14c	0.55 ± 0.01de	160.0 ± 17.5ef	5.13 ± 0.8c	1.72 ± 0.14cd
RG _{1%}	5.19 ± 0.03cd	0.51 ± 0.08ef	191.1 ± 33.8de	6.35 ± 0.7c	1.74 ± 0.41bcd
RG _{3%}	5.17 ± 0.23cd	0.57 ± 0.05de	238.2 ± 10.4cd	6.16 ± 0.5c	1.67 ± 0.34d
RG _{7%}	5.18 ± 0.12cd	0.83 ± 0.04b	232.4 ± 47.6cd	7.09 ± 1.9c	2.13 ± 0.24abc
CM _{1%}	5.22 ± 0.03cd	0.60 ± 0.05de	219.1 ± 14.2cd	16.11 ± 8.0c	1.85 ± 0.06bcd
CM _{3%}	5.96 ± 0.12b	0.71 ± 0.06c	250.2 ± 50.5c	12.11 ± 4.3c	2.32 ± 0.34ab
CM _{7%}	6.53 ± 0.17a	0.91 ± 0.06a	334.3 ± 12.7b	10.73 ± 2.9c	2.53 ± 0.59a

与初始硫酸根(2.80 g kg⁻¹)相比,除 CK_d 处理(2.61 g kg⁻¹)外,淹水处理 15 d 土壤硫酸根含量均显著下降,低于 2.0 g kg⁻¹(表 2)。与硝态氮含量变化不同的是,淹水添加有机物料处理和 CK_f 处理土壤硫酸根含量无显著差异($p > 0.05$)。由于重复之间差异较大,方差分析表明,有机物料种类和用量对硫酸根含量无显著影响($p > 0.05$),但以 RG 处理最低(1.31 ~ 1.38 g kg⁻¹),其次为 RS (1.53 ~ 1.89 g kg⁻¹)和 CM (1.53 ~ 1.97 g kg⁻¹)处理。土壤排水落后,CK_d 处理土壤硫酸根含量继续下降,CK_f 处理相对稳定,而有机物料处理显著升高。与淹水 15 d 后相比,RS、RG 和 CM 处理土壤硫酸根含量分别提高了 4.8% ~ 12.4%、27.5% ~ 54.3% 和 7.6% ~ 65.4% (表 3)。

2.3 黄瓜长势及产量

从黄瓜整个长势(株高、叶片数和第三片叶长度)和产量来看(图 1 和表 4),CK_d 处理土壤种植的黄瓜生长状况很差,产量极低(5.54 g pot⁻¹)。CK_f 处理黄瓜株高、叶片数和第三片叶长度略高于 CK_d 处理,但黄瓜品相仍然很差,产量也仅为 33.61 g pot⁻¹。

与 CK_d 处理相比,经淹水添加有机物料处理后黄瓜长势和产量因有机物料种类和用量而有显著差异(图 1 和表 4)。淹水处理后,除 RS_{7%} 和 CM_{7%} 处理外,各有机物料处理黄瓜长势和产量均高于 CK_d 和 CK_f 处理,RG 处理表现好于 RS 和 CM 处理,其中以 RG_{1%} 和 RG_{3%} 处理黄瓜产量最高(分别达到

172.2 和 202.3 g pot⁻¹),两者间无显著差异($p > 0.05$),其次为 RS_{1%} 处理(143.3 g pot⁻¹)、CM_{3%} 处理(125.2 g pot⁻¹)和 RG_{7%} 处理(125.2 g pot⁻¹)。稻草和鸡粪添加量为 7% 时,并不促进黄瓜长势和产量的提高,RS_{7%} 和 CM_{7%} 处理黄瓜产量仅为 15.51 g pot⁻¹和 23.03 g pot⁻¹。

表 4 不同处理黄瓜产量

Table 4 Yields of cucumber in different treatments

处理 Treatment	黄瓜产量 Cucumber yield (g pot ⁻¹)
CK _d	5.5 ± 9.6e
CK _f	33.6 ± 32.1de
RS _{1%}	143.3 ± 30.5b
RS _{3%}	81.8 ± 24.9cd
RS _{7%}	15.5 ± 18.9e
RG _{1%}	172.2 ± 32.7ab
RG _{3%}	202.3 ± 32.8a
RG _{7%}	126.4 ± 18.4bc
CM _{1%}	125.2 ± 21.4bc
CM _{3%}	59.1 ± 34.7de
CM _{7%}	23.0 ± 16.3e

3 讨论

实际农业生产中,设施蔬菜出现生长障碍时,

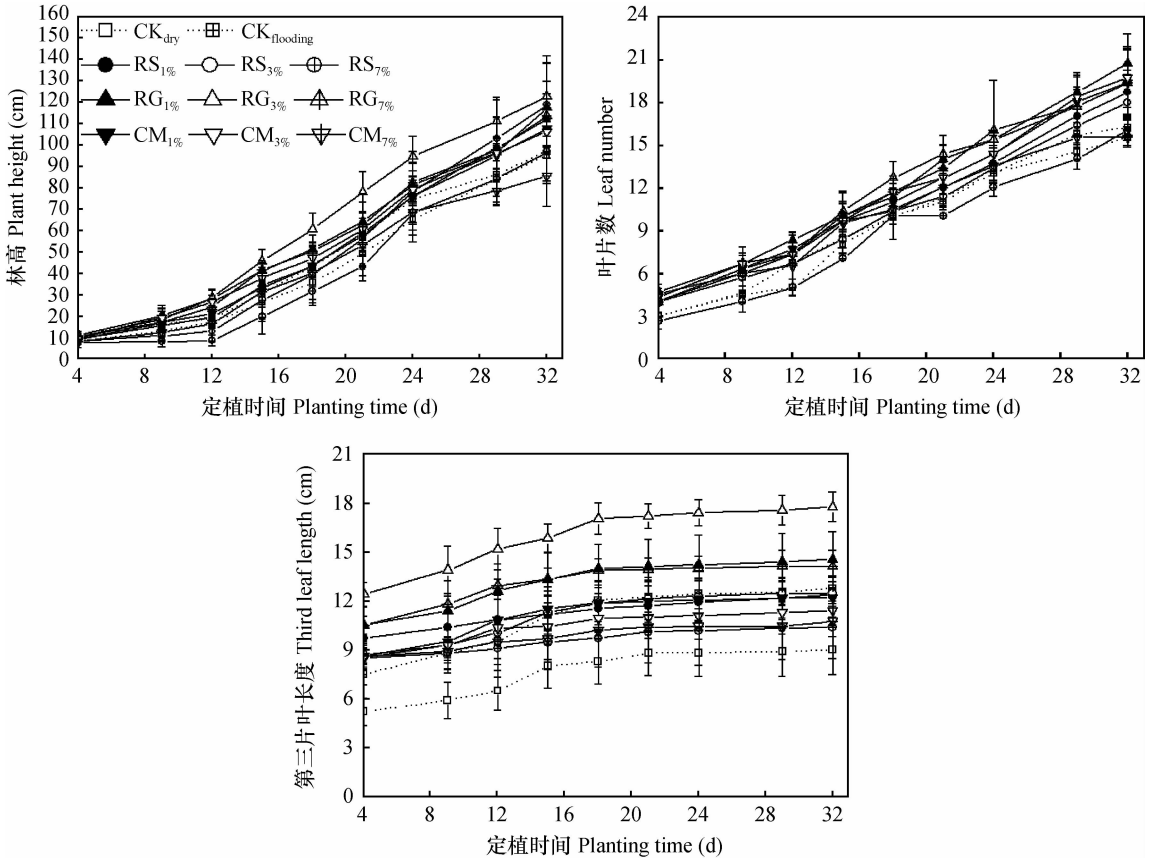


图1 不同处理黄瓜株高、叶片数和第三片叶长度

Fig. 1 Plant height, leaf number and the third leaf length of cucumber in different treatments

农民常采用短期淹水或轮作水稻的方法,但是前者土壤得不到根本改善,后者费时费工且大幅度降低经济收入。本研究中,只淹水 15 d,土壤中硝态氮含量仍高达 83.8 mg kg^{-1} ,且 pH 低于 4.5 (表 2),进一步证实只淹水短期内不能有效去除设施蔬菜地土壤积累硝态氮,减轻酸化程度^[13]。退化设施蔬菜地经淹水添加有机物料处理 15 d 后,土壤硝态氮含量低于 5.0 mg kg^{-1} ,pH 均大于 5.0,同时硫酸根含量和 EC 值也显著降低,这一结果与我们室内培养试验相一致^[13]。从黄瓜的整个生长阶段来看,淹水添加有机物料(除稻草和鸡粪添加量为 7% 的处理)黄瓜长势和产量均好于不淹水不加有机物料处理和只淹水不加有机物料处理。由此可见,采用淹水添加有机物料创造的强还原方法可有效改良退化设施蔬菜地土壤。

淹水条件下土壤硝态氮和硫酸根等离子的还原,可直接减轻土壤盐渍化和酸化程度,同时处理过程产生的 H_2S 等物质也会影响土壤病原菌的数量和活性^[14-15]。因此,创造强还原环境是本方法的关键。本研究中,有机物料种类和用量显著影响土

壤的还原程度(表 2)。相对于鸡粪和稻草,黑麦草更易分解,施入土壤后能够快速矿化,易产生较多的水溶性有机碳^[5],淹水条件下创造更强的还原环境(表 2)。虽然淹水 15 d 后,添加有机物料的处理土壤硝态氮含量无显著性差异(均低于 5.0 mg kg^{-1}),但硫酸根的去除率和 pH 的提高程度均以黑麦草处理最高(表 2)。从黄瓜长势和产量来看,黑麦草处理表现好于稻草和鸡粪处理,黑麦草添加量为 1% ~ 3% 时黄瓜产量最高($172.2 \sim 202.3 \text{ g pot}^{-1}$)。因此,采用强还原方法改良退化设施蔬菜地土壤,黑麦草更有效。但在实际农业操作中,采用强还原方法改良退化设施蔬菜地土壤时也要充分考虑有机物料的获取成本。由于气候和土壤条件等因素,黑麦草等绿肥在我国种植面积较小,作为改良材料相对不易获取,而农作物秸秆和畜禽粪便,因种类多、分布广和产量大,获取方便,更有利于就地取材。添加鸡粪淹水虽然能够去除土壤积累的硝态氮,提高土壤 pH,但土壤 EC 和硫酸根含量反而升高(表 3),且黄瓜长势较差,产量较低(图 1 和表 4)。鸡粪除本身带有较多的盐基离子外,还含有各种抗生素和砷铜

等重金属^[16],其施用可能会加大土壤抗生素和重金属污染的风险,影响蔬菜品质。作为修复退化设施蔬菜地土壤的改良材料,鸡粪不推荐施用。与黑麦草处理相比,稻草添加量为1%的处理黄瓜产量虽有降低,但也达到143 g 盆⁻¹,显著高于对照处理,因此,稻草等作物秸秆作为改良材料也可以应用于退化设施蔬菜地土壤的改良,通过一定农业措施,加速作物秸秆淹水条件下的降解,达到与黑麦草等绿肥一样的改良效果,实现作物秸秆的资源化利用,值得进一步研究。

本研究中,有机物料添加量增大,淹水条件下土壤的 Eh 值越低(表2),还原程度增高,土壤的理化性质和生物学性质得到更好的改善。但从黄瓜长势和产量来看,有机物料添加量增大并不明显促进黄瓜生长,提高产量。有机物料添加量为7%时,黄瓜产量显著下降,稻草和鸡粪处理黄瓜长势和产量甚至差于只淹水处理(图1和表4)。高量鸡粪施用带来的一些外源盐基离子和重金属可能抑制黄瓜生长,而黑麦草和稻草长度虽低于2 cm,但淹水15 d并不能完全腐解,大量施用时不利于黄瓜根系的固定^[17]。此外,因大量有机物料的施用,土壤中活性有机碳含量增多,微生物活性提高,吸收养分的能力增加,与作物根系产生竞争作用也可能影响黄瓜生长^[18-19]。因而,实际农业操作中,淹水添加有机物料,选择适宜的还田方式和施用量,有利于退化设施蔬菜地土壤的改良,且不影响蔬菜的生长。

值得注意的是,即使淹水添加有机物料也并不能有效去除设施蔬菜地土壤积累的 SO_4^{2-} ,淹水15 d后,各有机物料处理 SO_4^{2-} 仍大于1.3 g kg⁻¹(表2),并且土壤排水晾干后硫酸根含量又有显著提高,且pH降低(表3)。分析原因可能在于还原条件下硫酸根生成的 S^{2-} 与土壤中的 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} 等金属离子生成金属硫化物,在好气条件下金属硫化物氧化,再次产生硫酸根^[20]。由于酸性且硫素积累的土壤适合致病菌的生长^[21],如何彻底去除掉蔬菜地土壤积累的硫酸根,防止硫酸根再次生成,持久维持改良效果,也需要深入研究。

4 结 论

本试验结果表明,单单淹水并不能有效去除蔬菜地土壤积累的硝态氮,减轻酸化程度,而淹水添加有机物料创造强还原环境能够完全去除硝态氮,

提高土壤pH,有效改良退化设施蔬菜地土壤。从处理后土壤理化性质变化、黄瓜长势和产量来看,3种有机物料以黑麦草改良效果最好,稻草次之,鸡粪最差。有机物料添加量增大,并不显著促进黄瓜长势和提高产量,添加高量稻草和鸡粪反而降低其产量。

参 考 文 献

- [1] Food and Agriculture Organization (FAO). United Nations: FAO statistical databases, 2013
- [2] Cao Z H, Huang J F, Zhang C S, et al. Soil quality evolution after land use change from paddy soil to vegetable land. *Environmental Geochemistry and Health*, 2004, 26(2): 97—103
- [3] 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. *土壤学报*, 2006, 43(5): 843—850. Zhang T L, Li Z P, Wang X X. Soil degradation and its eco-environmental impact under highly-intensified agriculture (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(5): 843—850
- [4] Shi W M, Yao J, Yan F. Vegetable plantation under greenhouse conditions leads to rapid accumulation of nutrients, acidification and salinity of soils and groundwater contamination in South-Eastern China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2009, 83(1): 73—84
- [5] Zhu T B, Zhang J B, Cai Z C. Effects of organic material amendment and soil water content on NO , N_2O and N_2 emissions in a nitrate accumulated vegetable soil. *Biology and Fertility of Soils*, 2013, 49(2): 153—163
- [6] 于占东, 宋述尧. 稻草配施生物菌剂对大棚连作土壤的改良作用. *农业工程学报*, 2003, 19(1): 177—179. Yu Z D, Song S Y. Effects of straw mixed with biopreparate on improvement of soil in greenhouse (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2003, 19(1): 177—179
- [7] 王晓辉, 郭光霞, 郑瑞伦, 等. 生物炭对设施退化土壤氮相关功能微生物群落丰度的影响. *土壤学报*, 2013, 50(3): 624—631. Wang X H, Guo G X, Zheng R L, et al. Effect of biochar on abundance of N-related functional microbial communities in degraded greenhouse soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50(3): 624—631
- [8] Zhan Q Y, Shen Q R, Ran W, et al. Inoculation of soil by *Bacillus subtilis* Y-IV1 improves plant growth and colonization of the rhizosphere and interior tissues of muskmelon (*Cucumis melo* L.). *Biology and Fertility of Soils*, 2011, 47(5): 507—514
- [9] Qiu M H, Zhang R F, Xue C, et al. Application of bio-organic fertilizer can control Fusarium wilt of cucumber plants by regulating microbial community of rhizosphere soil. *Biology and Fertility of Soils*, 2012, 48(7): 807—816
- [10] 解开治, 徐培智, 李康活, 等. 三种不同种植模式对土壤细菌群落结构多样性的影响. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(5): 1107—1113. Xie K Z, Xu P Z, Li K H et al. Effects of three different cropping system on diversity of soil bacterial community (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15

- (5):1107—1113
- [11] 陆扣萍, 闵炬, 施卫明, 等. 填闲作物甜玉米对太湖地区设施蔬菜地土壤硝态氮残留及淋失的影响. 土壤学报, 2013, 50(2):331—339. Lu K P, Min J, Shi W M, et al. Effect of sweet corn as a catch crop on residual and leaching loss of soil nitrate in protected vegetable soil in Taihu Lake region (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50(2):331—339
- [12] Runia W T, Molendijk L P G. Physical methods for soil disinfection in intensive agriculture: Old methods and new approaches. *Acta Horticulturae*, 2010, 883(2):249—258
- [13] 朱同彬, 张金波, 蔡祖聪. 淹水条件下添加有机物料对蔬菜地土壤硝态氮及氮素气体排放的影响. 应用生态学报, 2012, 23(1):109—114. Zhu T B, Zhang J B, Cai Z C. Effects of organic material amendment on vegetable soil nitrate content and nitrogenous gases emission under flooding condition (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(1):109—114
- [14] Agrios G N. *Plant pathology*. 5th ed. London, UK: Elsevier Academic Press, 2005
- [15] Choudhury S R, Ghosh M, Mandal A, et al. Surface-modified sulfur nanoparticles: An effective antifungal agent against *Aspergillus niger* and *Fusarium oxysporum*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2011, 90(2):733—743
- [16] Zhu Y G, Johnson T A, Su J Q, et al. Diverse and abundant antibiotic resistance genes in Chinese swine farms. *PANS*, 2013, 110(9):3435—3440
- [17] 王如芳, 张吉旺, 董树亭, 等. 我国玉米主产区秸秆资源利用现状及其效果. 应用生态学报, 2011, 22(6):1504—1510. Wang R F, Zhang J W, Dong S T, et al. Present situation of maize straw resource utilization and its effect in main maize production regions of China (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(6):1504—1510
- [18] van der Heijden M G A, Bardgett R D, van Straalen N M. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 2008, 11(3):296—310
- [19] Bardgett R D, Streeter T C, Bol R. Soil microbes compete effectively with plants for organic-nitrogen inputs to temperate grasslands. *Ecology*, 2003, 84(5):1277—1287
- [20] Al-Zuhair S, El-Naas M H, Al-Hassani H. Sulfate inhibition effect on sulfate reducing bacteria. *Journal of Biochemical Technology*, 2008, 1(2):39—44
- [21] Koike S T, Subbarao K V, Davis R M, et al. Vegetable diseases caused by soil borne pathogens. Davis, CA, Publication 8099 UC Davis, 2003

IMPROVEMENT OF DEGRADED GREENHOUSE VEGETABLE SOIL BY FLOODING AND/OR AMENDING ORGANIC MATERIALS

Zhu Tongbin^{1,2} Sun Panpan¹ Dang Qi² Zhang Jinbo¹ Cai Zucong^{1*}

(1 College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

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

Abstract Consecutive vegetable cultivation in greenhouse easily induces soil acidification or salinization and serious soil-borne diseases, which considerably affects sustainable development of the vegetable production. It is of great urgency to develop some effective techniques and methods to improve degraded vegetable soils. A pot experiment was conducted for comparative study on effects of the application of rice straw (RS), ryegrass (RG) and chicken manure (CM) at different rates (1%, 3% and 7%, of the soil in pot) coupled with or without flooding for 15 days on degraded vegetable soil. Compared to CK_a (no manure and no flooding) and CK_f (flooding only), the practices accelerated decline of soil Eh effectively eliminate accumulated NO₃⁻, lowered the content of SO₄²⁻ and increased soil pH. The effect became more significant with the increasing application rate of organic manure. In the ameliorated soils, except for soils applied with 7% of RS or CM, cucumber was better in growth and yield than in CK_a and CK_f. In terms of soil ameliorating effect, the organic manures show a decreasing order of RG > RS > CM. However, more organic manure does not necessarily improve cucumber in growth or yield.

Key words Degraded greenhouse vegetable field; Soil improvement; Organic material; Flooding treatment

(责任编辑: 卢萍)