

不同有机物料对设施黄瓜生长及土壤性状的影响

刘传云, 管西林, 邹春琴, 陈新平

引用本文:

刘传云, 管西林, 邹春琴, 等. 不同有机物料对设施黄瓜生长及土壤性状的影响[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(2): 360–368.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2019-0841>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

改良剂对不同性质镉污染土壤中有效镉和小白菜镉吸收的影响

代允超, 吕家珑, 刁展, 刘金, 安伟强, 陈曦

农业环境科学学报. 2015, 34(1): 80–86 <https://doi.org/10.11654/jaes.2015.01.012>

不同改良剂对石灰性镉污染土壤的镉形态和小白菜镉吸收的影响

李丹, 李俊华, 何婷, 蒙佩佩

农业环境科学学报. 2015(9): 1679–1685 <https://doi.org/10.11654/jaes.2015.09.008>

冬闲稻田养鸡结合生物炭施用对双季稻田产量及土壤有机碳、活性碳氮的影响

周玲红, 张浪, 魏甲彬, 成小琳, 肖志祥, 徐华勤, 唐剑武, 唐启源

农业环境科学学报. 2018, 37(9): 1961–1969 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-1389>

四种有机物料对Pb²⁺的吸附特性

邵云, 陈静雯, 王温澎, 崔景明, 李昊烱, 王璐, 马守臣

农业环境科学学报. 2017, 36(9): 1858–1867 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0253>

微生物对暗棕壤添加玉米秸秆腐殖化进程的影响

李艳, 窦森, 刘艳丽, 王帅, 李立波

农业环境科学学报. 2016, 35(5): 931–939 <https://doi.org/10.11654/jaes.2016.05.017>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

刘传云, 管西林, 邹春琴, 等. 不同有机物料对设施黄瓜生长及土壤性状的影响[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(2): 360–368.

LIU Chuan-yun, GUAN Xi-lin, ZOU Chun-qin, et al. Effects of different organic materials on the growth of greenhouse cucumber and soil properties[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(2): 360–368.

不同有机物料对设施黄瓜生长及土壤性状的影响

刘传云¹, 管西林¹, 邹春琴^{1*}, 陈新平²

(1. 中国农业大学资源与环境学院资源环境与粮食安全中心, 教育部土壤-植物相互作用重点实验室, 北京 100193; 2. 西南大学资源与环境学院, 重庆 400715)

摘要:为了减少设施菜田中由于超量施用有机肥导致的N、P累积,通过选取泥炭、腐植酸、菌渣、生物炭4种有机物料及其配施对传统鸡粪进行等C替代,开展了两茬田间试验,研究了有机物料等C替代鸡粪对土壤理化性质和黄瓜产量、品质的影响。连续两茬的试验结果表明,有机物料等C替代鸡粪对黄瓜产量无显著影响;但同鸡粪处理相比,泥炭、腐植酸和生物炭3种有机物料配施可显著提高黄瓜果实中维生素C的含量;除单施生物炭外,施用不同有机物料表层土壤(0~20 cm)的pH值均显著高于施用鸡粪的处理,同时有机物料处理较鸡粪处理降低了表层土壤有效P含量51.6%~62.9%,提高了表层土壤C/N,其中,腐植酸处理土壤有效P的降低幅度最大,且其表层土壤C/N与鸡粪相比显著提高了92.2%,腐植酸处理土壤(0~60 cm)的C储量也最大;各有机物料处理N盈余量均小于鸡粪处理,其中生物炭处理的养分盈余量最小,与鸡粪相比减少了73.1%,各有机物料处理的P盈余量与鸡粪处理相比显著降低了65.3%~92.3%,P削减效果腐植酸>泥炭+腐植酸>泥炭+腐植酸+生物炭>生物炭>泥炭>泥炭+菌渣>菌渣。因此,有机物料等C替代鸡粪后,在保证黄瓜产量的同时可以提升黄瓜果实营养品质,大幅度削减土壤中N、P盈余,其中,腐植酸对提高土壤有机质以及P盈余削减效果较好,泥炭+腐植酸+菌渣配施对改善黄瓜品质的效果较好。

关键词:有机物料;设施黄瓜;产量品质;碳氮磷平衡

中图分类号:S154.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2020)02-0360-09 doi:10.11654/jaes.2019-0841

Effects of different organic materials on the growth of greenhouse cucumber and soil properties

LIU Chuan-yun¹, GUAN Xi-lin¹, ZOU Chun-qin^{1*}, CHEN Xin-ping²

(1. China Key Laboratory of Plant-Soil Interaction, MOE/ Center for Resources, Environment and Food Security, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: To reduce nitrogen and phosphorus accumulation due to excessive organic fertilizer application in the greenhouse vegetables production system, two field experiments were conducted to study the effects of organic materials on soil physical and chemical properties, and yield and quality of cucumber. Four kinds of organic materials, peat, humic acid, mushroom residue, and biochar, were selected as substitutes for traditional chicken manure. The results of the experiments on two consecutive crops showed that the application of organic materials had no significant effect on cucumber yield. However, compared with the treatment of chicken manure, the application of peat, humic acid, and biochar could significantly increase the content of vitamin C in cucumber fruits. In addition to the treatment with biochar, the surface soil (0~20 cm) pH value upon the application of different organic materials was significantly higher than that for the chicken manure treatment. In addition, compared with chicken manure, the organic materials treatment reduced the surface soil Olsen-P content by 51.6%~62.9%, and improved the surface soil C/N ratio. Soil Olsen-P under humic acid treatment showed the highest decrease, and its surface soil C/N ratio increased by 92.2% compared with that of the soil under chicken manure treatment. Meanwhile, soil treatment by humic acid (0~

收稿日期: 2019-07-31 录用日期: 2019-12-16

作者简介: 刘传云(1994—),女,山东高密人,硕士研究生,主要从事蔬菜养分资源综合管理研究。E-mail: 1145527171@qq.com

*通信作者: 邹春琴 E-mail: zcq0206@cau.edu.cn

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0800403)

Project supported: The National Key R&D Program of China(2017YFD0800403)

60 cm) showed the highest carbon reserves. In addition to the treatment by mushroom residue, the surplus nitrogen under the organic material treatment was less than that under the chicken manure treatment and the biochar treatment was the lowest, which decreased by 73.1% compared with that for the soil treated with chicken manure. The surplus phosphorus under the organic material treatment was significantly reduced by 65.3%~92.3% compared with that under the chicken manure treatment. Phosphorus reduction in the soil was in the given order for various treatments: humic acid>peat + humic acid>peat + humic acid + biochar>biochar>peat>peat + mushroom residue>mushroom residue. Therefore, after replacing chicken manure with organic materials, the nutritional quality and the yield of the cucumber fruit was improved. In addition, the surplus nitrogen and phosphorus in soil were greatly reduced. Humic acid was found to have a better effect in improving soil organic matter and reducing surplus phosphorus, while peat + humic acid + bacterial residue had a better effect on improving cucumber quality.

Keywords: organic materials; greenhouse cucumber; yield and quality; balance of carbon, nitrogen, and phosphorus

近年来,我国设施蔬菜总面积一直保持稳定增长态势。2016年设施蔬菜面积已达到391.5万 hm^2 ,到2020年预计达到410.5万 hm^2 ,发展面积在不断扩大^[1]。而在实际生产中由于较高的经济效益的驱使,蔬菜种植者为了追求高产,在设施菜田中的肥料投入量普遍偏高,基于根层调控的水肥一体化技术有效解决了根层水肥供应与需求的匹配问题,降低了化肥的用量^[2]。但是,设施蔬菜中有机肥投入过量的问题仍然普遍存在,一方面,有机肥的投入比例较高,据统计,设施菜田有机肥N、P投入量分别占总投入量的36%和46%^[3-4],另一方面,施用的有机肥类型以低C/N和C/P比的鸡粪为主,而土壤中含有大量的易分解的有机碳,所以粪肥施入土壤后由于激发效应,这些有机态的N、P养分迅速矿化分解^[5],容易造成土壤C/N失调、P的大量累积,进而导致环境污染以及蔬菜品质下降等一系列问题。

为了改善土壤的理化性状并保证设施蔬菜优质高产,改变有机肥的种类是解决设施菜田土壤问题的重要途径。有机物料作为土壤腐殖质的重要来源,近年来引发了人们的广泛关注,它不仅可以有效改善土壤结构、提高土壤肥力、补充土壤的中微量元素、均衡土壤养分、吸附重金属,而且在提升作物品质等方面具有独特功能^[6]。有研究表明,施用有机物料能够促进土壤SOC的积累^[7]、提高土壤C/N^[8],降低土壤中的P含量^[9]以及提高土壤pH^[10]。但是,由于不同有机物料的C、N、P等含量及性质大不相同,对土壤及作物的影响也存在较大差异^[11-13]。因此,筛选合适的有机物料,进而研究不同有机物料对土壤有机质的提升及削减土壤N、P盈余的效果是非常必要的。

黄瓜是我国产量最高的果类蔬菜,据原农业部种植业司2014年数据,2013年产量高达5572万t,种植区遍布全国各地,山东省是黄瓜主产区之一,产量占

全国黄瓜产量的12.9%。所以本研究选用黄瓜作为供试作物,通过文献汇总分析,选取C/N、C/P较高的泥炭、腐植酸、菌渣、生物炭4种有机物料及其配施处理,在山东地区进行了两茬设施黄瓜的田间试验,旨在探索有机物料及其配施对设施菜田土壤理化性质及黄瓜产量、品质的影响,以期为设施蔬菜品质提升及菜田土壤改良提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验处理

两茬定位试验于2018年1—12月在山东省临沂市兰陵县鸿强蔬菜产销专业合作社设施大棚内进行。大棚种植年限为两年,前茬轮作为西葫芦-黄瓜。供试土壤为棕壤土,其基本理化性质为pH值7.74,全C 11.5 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全N 1.27 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,C/N 9.81,有效P 23.4 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,交换性K 175 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

通过文献搜索建立了有机物料养分含量数据库,从中筛选出C/N高、P含量低的泥炭、腐植酸、菌渣和生物炭4种有机物料,试验选用的有机物料来源分别为:鸡粪取材于当地市场,泥炭来源于山东寿光盛禾农业科技有限公司,腐植酸来源于江苏盛大生物有限公司,菌渣取材于当地市场,生物炭(原料为稻壳,制备过程中添加木醋液)来源于南京勤丰秸秆科技有限公司,土壤调理剂来源于中材鼎原生态肥业有限公司。各有机物料基本性质见表1。

以低N、P投入为原则设置有机物料单独施用及其配施的8个试验处理,以施用鸡粪作为对照(CK),其余7个处理分别为T1:泥炭;T2:腐植酸;T3:菌渣;T4:生物炭;T5:泥炭+腐植酸;T6:泥炭+菌渣;T7:泥炭+腐植酸+生物炭。鸡粪用量根据前期对当地蔬菜种植者的调研结果确定,其余各处理与鸡粪处理等C量投入,均为每茬9.61 t C· hm^{-2} ,有机物料及总养分

表1 各处理有机物料基本性质

Table 1 Basic properties of the tested organic materials

有机物料 Organic fertilizer	pH值 pH	有机碳 SOC/g·kg ⁻¹	全氮 Total N/g·kg ⁻¹	碳氮比 C/N	全磷 Total P/g·kg ⁻¹	交换性钾 Ac-K/g·kg ⁻¹
鸡粪 Chicken manure	6.94	277	25	11.3	11.7	30.1
泥炭 Peat	4.98	279	17	16.6	0.8	0.19
腐植酸 Humic acid	6.20	530	12	44.8	0.1	0.23
菌渣 Mushroom residues	7.95	378	31	12.1	4.5	15.5
生物炭 Biochar	4.38	524	7	79.9	1.1	5.44
土壤调理剂 Soil conditioner	12.3	—	—	—	—	—

投入量见表2。每个处理4次重复,随机区组排列,小区面积28.8 m²。各处理全生育期化肥施用量相同,均为N 319 kg·hm⁻²、P₂O₅ 130 kg·hm⁻²、K₂O 426 kg·hm⁻²,其中N 40 kg·hm⁻²、P₂O₅ 40 kg·hm⁻²、K₂O 18 kg·hm⁻²以基肥施入,其余为水溶肥,在黄瓜生长期间以滴灌形式分次施入土壤。每个处理每茬黄瓜定植前均加入钙镁钾硅土壤调理剂,用量750 kg·hm⁻²,有机物料与土壤调理剂均作为基肥施入。两茬黄瓜试验的肥料种类以及用量均相同。冬春茬黄瓜于2018年2月27日定植,4月9日开始采收,6月28日拉秧。秋冬茬黄瓜于2018年8月24日定植,9月28日开始采收,12月30日拉秧,试验黄瓜品种为德瑞特,定植密度为5.5株·m⁻²。

1.2 测定项目与方法

土壤采集时间为冬春茬定植前和秋冬茬黄瓜收获后,土壤pH值采用0.01 mol·L⁻¹ CaCl₂溶液浸提,pH计测定(土水比1:2.5)。有效P采用0.5 mol·L⁻¹ 碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定;交换性K采用1 mol·L⁻¹ 乙酸铵浸提-ICP测定;土壤C、N经1:11的盐酸处理后用碳氮分析仪测定。果实维生素C(Vc)含量采用2%草酸浸提-2,6-二氯酚酚滴定法测定^[14]。分别在黄瓜开花期、初果期、盛果期和末果期每小区

随机选取2株代表性植株,将果实与其他部位分开,在105℃下烘30 min进行杀青,70℃烘干至恒质量,然后粉样后进行养分测定,将样品用HNO₃-H₂O₂微波消解仪微波消煮,用ICP-AES测定植株P、K含量;采用浓H₂SO₄-H₂O₂消煮,凯氏定氮仪测定植株N含量^[15]。

1.3 数据分析

试验数据采用Excel 2010、SAS 8.0软件进行处理与统计分析。其中涉及到的主要数量计算如下:

$$SOC \text{ stock} = SOC \times BD \times d$$

$$BD = -0.1229 \ln SOC + 1.2901^{[16]}$$

式中: SOC为碳氮分析仪测定的有机碳值,%; BD为容重,g·cm⁻³; d为当前土层深度,cm。

$$\text{养分吸收量} = \text{养分浓度} \times \text{干物质累积量}$$

$$\text{养分盈余量} = \text{养分投入量 (有机物料+化肥)} - \text{养分吸收量 (冬春茬+秋冬茬)}$$

2 结果与分析

2.1 不同有机物料处理对黄瓜产量的影响

由图1可以看出,冬春茬黄瓜产量显著高于秋冬茬。在所有处理等C量投入的情况下,与对照处理相比,虽然有机物料处理的N、P投入量降低了,但是各

表2 各处理每茬黄瓜N、P、K的投入量

Table 2 The input amount of N, P, and K in each treatment of each season

处理 Treatment	有机物料 Organic fertilizer/t·hm ⁻²	有机物料 Organic fertilizer/kg·hm ⁻²			总养分 Total nutrient/kg·hm ⁻²			有机物料的 C:N:P
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
鸡粪 Chicken manure	33	811	877	772	1130	1007	1198	100:8.44:4.02
泥炭 Peat(P)	33	551	57	88.4	870	187	514	100:5.73:0.26
腐植酸 Humic acid(H)	17	203	2	9.96	522	132	436	100:2.12:0.01
菌渣 Mushroom residues(M)	24	757	250	323	1076	380	749	100:7.87:1.15
生物炭 Biochar(B)	17	114	43	142	433	173	568	100:1.19:0.20
P+H	16:8	377	30	49.2	696	160	475	100:3.92:0.14
P+M	16:12	654	154	206	973	284	632	100:6.81:0.71
P+H+B	11:6:6	289	34	80.1	608	164	506	100:3.01:0.16

茬口各处理间产量差异均不显著。

2.2 不同有机物料处理对黄瓜品质的影响

Vc是评价黄瓜品质优劣的一个重要指标,由图2可知,冬春茬黄瓜果实Vc含量显著高于秋冬茬。其中,冬春茬菌渣、生物炭、泥炭+腐植酸+生物炭处理的黄瓜果实Vc含量显著高于对照处理,分别增加了22.5%、20.7%、23.4%,其他处理黄瓜果实Vc含量与对照处理没有显著差异;秋冬茬泥炭、泥炭+腐植酸+生物炭处理显著高于对照处理,分别提高了12.6%、8.7%,其他处理黄瓜Vc含量与对照处理没有显著差异。因此,综合两茬试验结果,泥炭+腐植酸+生物炭3种有机物料配施处理对黄瓜Vc的提升效果较好。

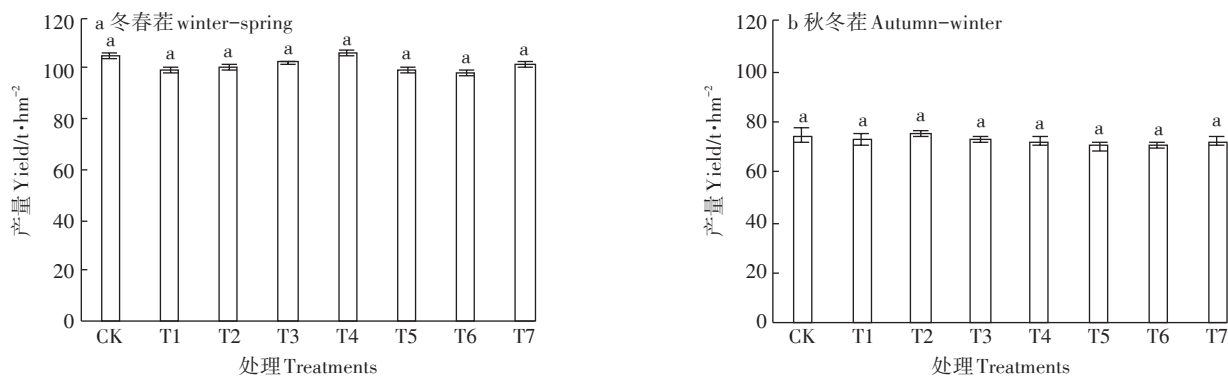
2.3 不同有机物料处理对土壤理化性质的影响

由表3可知,两茬黄瓜拉秧后,所有处理pH值与定植前相比均有所降低。除生物炭处理外,各处理的pH值均显著高于对照处理,说明有机物料替代鸡粪可以缓解表层土壤酸化问题。与对照相比,施用有机物料能够显著提高土壤C含量和C/N,其中,单施腐植酸处理的SOC含量最高,与对照相比

显著提高了95.7%,其次为泥炭+腐植酸、泥炭+腐植酸+生物炭、生物炭、菌渣、泥炭+菌渣、泥炭处理,与对照相比分别显著提高了83.6%、68.1%、63.8%、55.2%、33.6%、28.4%,单施腐植酸处理的C/N与对照相比显著提高了92.2%。菌渣处理的土壤N含量比对照处理显著提高了29.8%,其他处理的N含量与对照相比没有显著性差异。除泥炭、泥炭+菌渣处理外,其他有机物料处理的无机N含量均显著低于对照处理。各处理与对照相比显著降低了有效P含量,降低幅度泥炭+腐植酸>腐植酸>生物炭>泥炭+腐植酸>泥炭+腐植酸+生物炭>泥炭>菌渣,降低量分别为62.9%、62.1%、59.0%、57.6%、57.1%、54.1%、51.6%。对照处理的交换性K含量显著高于其他处理。

2.4 不同有机物料处理对土壤C库的影响

经过两茬试验后,土壤0~60 cm土壤剖面中的有机C储量如图3所示。所有处理有机C总储量为87.2~98.4 t C·hm⁻²,与定植前(图中虚线所示)的85.7 t C·hm⁻²相比增加了1.7%~14.8%,增加幅度大小依次



图中不同小写字母表示同一土壤层次不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同
The different lowercase letters indicate significant differences among treatments ($P<0.05$). The same below

图1 不同处理对冬春茬(a)和秋冬茬(b)黄瓜产量的影响

Figure 1 Effects of different fertilizer treatments on yield of cucumber in winter-spring (a) and autumn-winter (b)

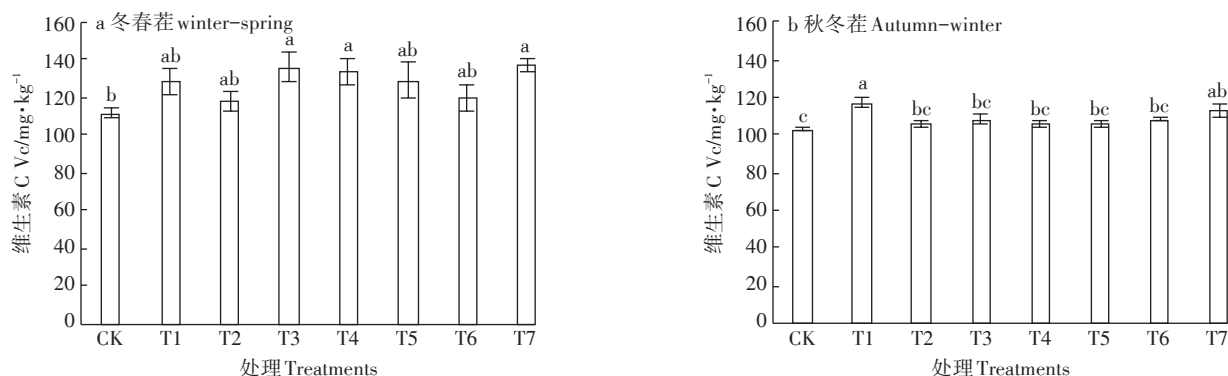


图2 不同处理对冬春茬(a)和秋冬茬(b)黄瓜果实Vc含量的影响

Figure 2 Effects of different fertilizer treatments on Vc content of cucumber in winter-spring (a) and autumn-winter (b)

表3 两茬拉秧后对表层土壤(0~20 cm)理化性质的影响

Table 3 Effects of different fertilizer treatments on soil(0~20 cm) physicochemical properties

处理 Treatment	pH值 Soil pH	有机碳 SOC/ g·kg ⁻¹	全氮 Total N/ g·kg ⁻¹	碳氮比 C/N	无机氮 N-min/ mg·kg ⁻¹	有效磷 Olsen-P/ mg·kg ⁻¹	交换性钾 Ac-K/ mg·kg ⁻¹
鸡粪 Chicken manure	7.34c	11.6e	1.41bc	8.22d	118a	93.8a	333a
泥炭 Peat(P)	7.43ab	14.9d	1.45bc	10.3c	108ab	43.0b	226c
腐植酸 Humic acid(H)	7.44a	22.7a	1.47bc	15.8a	84.8bcd	35.6b	209cd
菌渣 Mushroom residues(M)	7.44a	18.0c	1.83a	9.83cd	78.6cd	45.4b	252b
生物炭 Biochar(B)	7.38bc	19.0bc	1.30c	14.6ab	65.9d	38.5b	213c
P+H	7.40ab	21.3ab	1.53b	14.0ab	77.8cd	34.8b	192d
P+M	7.45a	15.5d	1.59b	9.69cd	100abc	39.8b	228c
P+H+B	7.44a	19.5bc	1.47bc	13.2b	84.8bcd	40.3b	219c

注: 同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: The different lowercase letters in a column indicate significant differences among treatments at $P<0.05$.

为腐植酸>泥炭+腐植酸>生物炭>泥炭+腐植酸+生物炭>菌渣>泥炭>泥炭+菌渣。其中,单施腐植酸、泥炭+腐植酸处理的有机C储量显著高于鸡粪处理,主要是增加了0~20 cm土层的C储量,所有处理0~20 cm有机C总储量为29.5~53.9 t C·hm⁻²,其大小依次为腐植酸>泥炭+腐植酸>泥炭+腐植酸+生物炭>生物炭>菌渣>泥炭+菌渣>泥炭>鸡粪,各有机物料处理显著高于鸡粪处理;所有处理20~40 cm的有机C总储量为21.9~28.5 t C·hm⁻²,40~60 cm的有机C总储量为22.3~29.2 t C·hm⁻²,20~40 cm和40~60 cm两层土壤各处理间C储量差异较小。

2.5 不同有机物料处理对土壤N、P磷平衡的影响

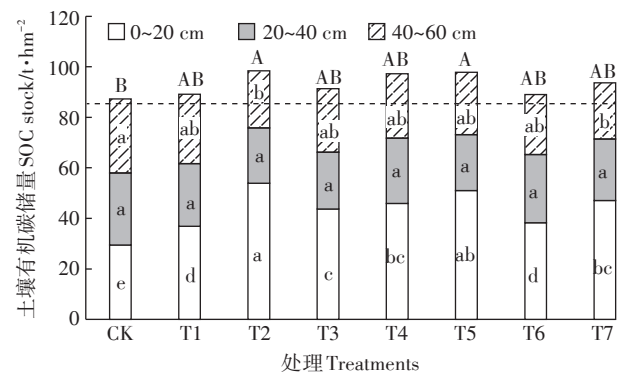
对两茬黄瓜的N、P养分投入,植株N、P吸收进行定量分析(图4)发现,各处理有机物料带入的N含量与对照相比分别减少32.1%、75.0%、6.7%、85.9%、52.5%、19.4%、64.4%。对照处理的N养分盈余量达到1881 kg·hm⁻²,各有机物料处理的N养分盈余量均小于对照。生物炭处理的养分盈余量最小,与对照相比减少了73.1%。各处理有机物料带入的P含量与对照相比分别减少了93.5%、99.7%、71.5%、94.7%、96.6%、82.4%、96.1%。对照处理的P养分盈余量达到816 kg·hm⁻²,各处理的养分盈余量均显著小于对照,与对照相比分别减少了86.8%、92.3%、65.3%、87.5%、88.8%、75.6%、88.8%。各处理冬春茬黄瓜植株N、P的吸收量均大于秋冬茬。

3 讨论

3.1 不同有机物料处理对黄瓜产量及品质的影响

3.1.1 对黄瓜产量的影响

不同季节设施大棚内黄瓜不同生育期阶段的生



图中不同小写字母表示同一土壤层次不同处理间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示0~60 cm土层的不同处理间差异显著($P<0.05$)

The different lowercase letters indicate significant differences among treatments from the same profile($P<0.05$); The uppercase letters indicate significant differences among treatments from the 0~60 cm stocks($P<0.05$)

图3 不同处理0~60 cm土壤剖面中有机C储量的影响

Figure 3 Effects of different treatments on 0~60 cm soil organic carbon(SOC) stocks

长环境,尤其是结瓜期的光温环境差异很大,对黄瓜的产量影响也较大。本研究中冬春茬黄瓜产量大于秋冬茬,这与高宝岩等^[17]的研究结果一致,主要是因为冬春茬黄瓜初瓜期和盛瓜期生长温度环境较为适宜。前人对有机物料对作物的产量影响也做了大量研究,其中有研究表明施用菌渣能够显著增加香蕉的果穗质量、果实总质量,促进香蕉生长,提高产量^[18];在施用30 t·hm⁻²有机肥的基础上再施用3 t·hm⁻²生物炭能够提高番茄的单株坐果率、降低单株僵果率,提高番茄的产量^[19];当生物炭添加量16 t·hm⁻²时,青菜的产量最高^[20];施用木本泥炭和腐植酸钾能够提高设施黄瓜产量^[8]。本研究施用有机物料等C替代鸡粪对黄瓜产量影响并不显著,两茬黄瓜的产量范围在70~

105 t·hm⁻², 黄瓜植株 N、P、K 的吸收量分别在 163~212、47~89、200~329 kg·hm⁻²。考虑到土壤养分状况以及产量水平, N、P、K 的推荐使用量分别是: 300~350、100~150、300~450 kg·hm⁻²[21]。在本研究中各有机物料处理带入的 N、P、K 均低于农户习惯的鸡粪处理, 但是 N、P、K 施用总量高于相同产量水平的推荐施用量, 因此能够满足黄瓜的生长需求并保证稳产。但是, 在连续多年施肥模式下对黄瓜产量和品质的影响以及经济效益核算还有待进一步研究。

3.1.2 对黄瓜品质的影响

本研究发现, 冬春茬菌渣、生物炭、泥炭+腐植酸+生物炭处理, 秋冬茬泥炭、泥炭+腐植酸+生物炭处理等 C 替代鸡粪处理能够显著提高黄瓜果实 Vc 含量, 主要原因可能与 N 肥用量以及投入的有机物料有关。研究表明, 当 N 肥用量超过 1050 kg·hm⁻² 时会造成黄瓜果实 Vc 含量下降[22], 本研究鸡粪处理 N 肥用量达到了 1130 kg·hm⁻², 所以 Vc 含量较低。综合两茬的结果发现, 泥炭、腐植酸和生物炭 3 种有机物料配施能够显著提高 Vc 含量, 这还可能与 3 种有机物料的自身性质有关, 腐植酸是一种生物活性制剂, 有研究表明腐植酸能提高番茄和草莓的品质[23-24]; 生物炭能通过改善土壤理化性状来影响植物对养分的吸收, 进而影响植株体内碳水化合物的合成与分配, 从而提高作物品质[25-26], 三者的相互作用对 Vc 含量提升的原因还有待进一步研究。

3.2 不同有机物料处理对土壤理化性质的影响

3.2.1 对土壤 pH 的影响

土壤酸化是我国集约化农业系统的一个主要问题, 不同种植年限设施菜田土壤理化参数的变化结果

显示, 土壤 pH 值随种植年限的增加而降低[27]。刘兆辉等[28]对山东省设施蔬菜主要种植区土壤分析结果表明, 由于大量施用有机肥与化肥, 而且鸡粪占有有机肥的 80% 以上, 土壤 pH 有降低的趋势。寿光具有 1 年棚龄的土壤(0~20 cm) pH 平均值为 7.80, 与建棚前的 8.14 相比降低了 0.34 个单位, 种植 7 年后, 降至 6.85 左右。本研究中, 两茬试验结束后, 各处理的 pH 较定植前降低了 0.29~0.4 个单位, 一方面, 这与试验中高量的 N 肥投入(522~1130 kg·hm⁻²) 有关; 另一方面, pH 下降幅度不同与有机物料本身的 pH 有关。鸡粪处理的土壤 pH 由定植前的 7.74 降至 7.34, 除单施生物炭处理外, 各处理的 pH 值均显著高于鸡粪处理。生物炭生产所用原料为稻壳, 经过炭化处理会得到 pH 大于 7 的产物, 但是我们采购的生物炭在后续处理中喷加木醋液, 所以导致生物炭本身 pH 较低, 因此与鸡粪处理相比单独施用生物炭对土壤 pH 影响不显著。有研究表明, 菇渣(pH=6.52)、泥炭(pH=7.14)施用后都可以显著提高土壤的 pH, 主要是由于各土壤调理剂自身理化性质不同引起的[29]。

3.2.2 对土壤有机 C 以及 C 库的影响

本研究中, 施用有机物料显著提高了土壤表层有机 C 含量, 这与 C 投入量较高有很大的关系。已有研究表明通过 3.5 年的玉米-小麦轮作试验, C 投入总量为 16.9 t·hm⁻² 的情况下, 酒渣、秸秆和菌渣处理 0~10 cm 和 10~20 cm 土层土壤有机 C 含量提高了 40.8%~83.1% 和 33.2%~69.5%[7], 与本研究结果类似。本研究连续两茬试验 C 投入高达 19.2 t·hm⁻², 所以各处理土壤 C 库提高了 1.5~12.7 t C·hm⁻², 这与有关畜禽粪便施入土壤后 C 库提升的 meta 分析研究结果 3.9 t C·

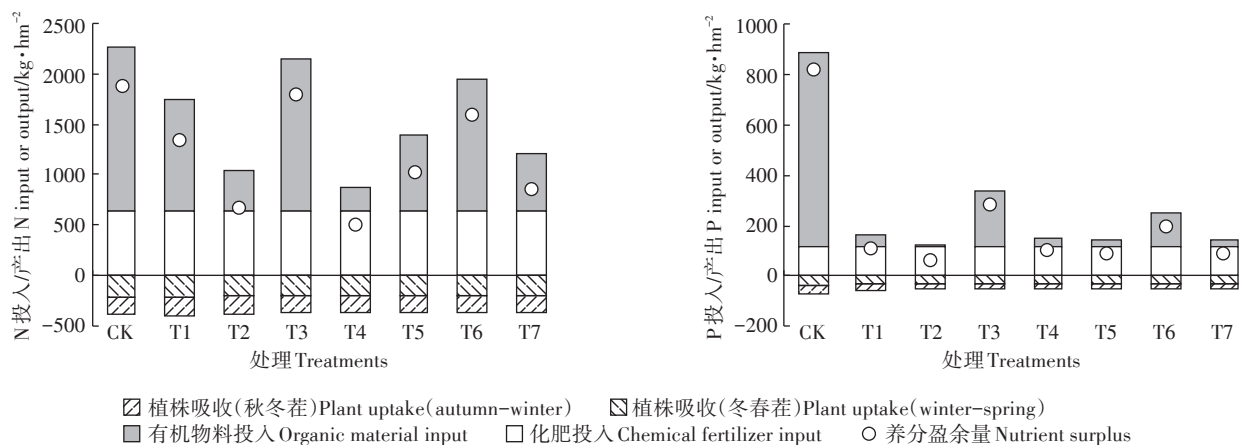


图4 不同处理 N、P 投入产出及养分盈余量

Figure 4 Different treatments of nitrogen and phosphorus input-output and nutrient surplus

hm^{-2} 以及多年定位试验结果 $6.6 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2}$ 有所差异,差异原因主要是C投入量、栽培体系及年限、物料种类及性质不同^[30-31]。各处理C库之间的差异主要来源于0~20 cm土层,各有机物料处理0~20 cm土壤C库显著高于鸡粪处理,其中腐植酸和生物炭及其配施处理与鸡粪处理相比差异最大。原因主要是C源不同,C的固持效率不同,本研究中鸡粪处理C的固持效率为8.0%,而腐植酸、生物炭及其配施处理C的固持效率为41.5%~66.0%,有数据整合分析的研究表明,施用粪肥后C在土壤中的固持效率约为12.0%^[30]。而生物炭中的有机C以不易降解芳香结构为主^[32],在8.5年的时间里只有大约6%被矿化^[33],腐植酸自身含有酚羟基、醇羟基、羧基等多种官能团的大分子芳香化合物,其施入土壤后引入了外源大分子有机物质的含量,进而增加了土壤有机质的含量^[34]。另外,鸡粪中矿质养分含量较高,所以能够迅速提高土壤肥力,但是与鸡粪相比,有机物料在腐解过程中可以形成更多的小分子化合物,这些小分子化合物易络合,对土壤中颗粒有机C有保护作用,且颗粒有机碳是土壤有机C的重要组成部分(占30%~60%),所以与施用鸡粪相比,施用有机物料更利于土壤固C^[35]。

3.2.3 对土壤有效P的影响

有效P是植物体吸收P的直接来源,土壤有效P水平是评价土壤P素供应水平的重要指标,它的动态变化除了受土壤自身的理化性质和自然因素等影响以外,更是与施肥量和作物吸P量有很大关系。研究表明,高量有机肥可进一步提高土壤有效P含量从而提高土壤P淋失的风险^[36]。Heckrath等^[37]研究指出土壤P素淋溶的有效P“突变点”为 $60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。本研究中两茬试验结束后,施用鸡粪处理的有效P含量达到了 $93.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,显著高于其他处理,有淋溶的风险。施用有机物料处理的有效P含量在 $34.8 \sim 45.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,与施用鸡粪相比减少了P在土壤中的累积,降低了淋溶风险。除鸡粪处理外,其他处理较低的P累积除与较低的P投入有关外,可能与物料本身的性质有一定的关系。例如,研究表明泥炭对植株根区附近P的吸附作用,可能与其具有较大的比表面积及较强的吸附性有关^[38]。

3.3 不同有机物料处理N、P的养分投入与产出状况

本研究中冬春茬黄瓜植株的养分吸收量大于秋冬茬,这主要受设施大棚内光温环境的影响,冬春茬光温环境更适宜黄瓜生长发育,而秋冬茬黄瓜生长基本处于弱光、低温的环境。在生长过程中,冬春茬

黄瓜根系生长速率、根系活力均比秋冬茬高,更利于黄瓜根系发育和对N、P、K的吸收分配^[39-40]。大棚黄瓜吸收的养分占化肥和有机肥投入养分的很少一部分,投入量过大是造成蔬菜大棚养分高量累积的主要原因^[41]。这也致使传统种植模式下的设施菜田肥料利用率较低,同时,养分在土壤中的累积量逐年增大也导致了养分的流失。研究表明,在蔬菜体系中,除作物吸收的N,有80%的N发生了淋洗^[42],而P在土壤表层的大量累积会导致P向下层土壤的运移^[4],加剧了水体富营养化的风险。本研究中,鸡粪处理的N、P养分盈余量分别高达 1881 、 $816 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,N、P盈余量与投入量呈正相关,而有机物料替代鸡粪能够在降低肥料用量的同时显著降低N、P盈余,从而减少养分淋失并降低一定的环境风险,对设施蔬菜生产体系持续高效生产有着重要意义。所以在设施蔬菜种植体系中,应该适当采用高C有机物料替代传统粪肥,降低N的淋洗损失和P的土壤累积,在满足作物需求的同时最大限度地降低N、P盈余。

4 结论

(1)有机物料等C替代鸡粪后能在保证黄瓜稳产的情况下,提升黄瓜果实Vc含量从而改善黄瓜品质,其中泥炭+腐植酸+菌渣配施对果实品质的提升效果较好。

(2)施用不同有机物料不仅能够增加土壤的有机C库,使有机质含量显著提高,而且降低有效P含量到环境风险以内,其中,腐植酸对有机质的提高效果显著。

(3)生物炭处理的N盈余量最小,与鸡粪相比减少了73.1%,各有机物料处理的P盈余量与鸡粪处理相比显著降低了65.3%~92.3%,其中,腐植酸对P的削减效果最好。

(4)在设施黄瓜生产体系中,选用腐植酸、生物炭及其配施等C替代鸡粪在稳产提质的情况下,可以提升土壤C库,显著降低N、P盈余。

参考文献:

- [1] 张真和, 马兆红. 我国设施蔬菜产业概况与“十三五”发展重点: 中国蔬菜协会副会长张真和访谈录[J]. 中国蔬菜, 2017(5): 1-5.
ZHANG Zhen-he, MA Zhao-hong. Overview of China's protected vegetable industry and key points of development during the 13th five-year plan: Interview with Zhang Zhenhe, vice president of China vegetable association[J]. Chinese Vegetables, 2017(5): 1-5.
- [2] 陈清, 卢树昌, 等. 果蔬蔬菜养分管理[M]. 北京: 中国农业出版社

- 版社, 2015.
- CHEN Qing, LU Shu-chang, et al. Nutrient management of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2015.
- [3] Ti C P, Luo Y X, Yan X Y. Characteristics of nitrogen balance in open-air and greenhouse vegetable cropping systems of China[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, 22(23): 18508-18518.
- [4] Yan Z J, Liu P, Li Y, et al. Phosphorus in China's intensive vegetable production systems: Overfertilization, soil enrichment, and environmental implications[J]. *Journal of Environment Quality*, 2013, 42(4): 982-989.
- [5] Fontaine S, Mariotti A, Abbadie L. The priming effect of organic matter: A question of microbial competition?[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35(6): 837-843.
- [6] 尹万伟, 黄本波, 汪凤玲, 等. 土壤调理剂的研究现状与进展[J]. 磷肥与复肥, 2019, 34(2): 19-23.
- YIN Wan-wei, HUANG Ben-bo, WANG Feng-ling, et al. Research status and progress of soil conditioner[J]. *Phosphate Fertilizer and Compound Fertilizer*, 2019, 34(2): 19-23.
- [7] 龙攀, 隋鹏, 高旺盛, 等. 不同有机物料还田对农田土壤有机碳以及微生物量碳的影响[J]. 中国农业大学学报, 2015(3): 153-160.
- LONG Pan, SUI Peng, GAO Wang-sheng, et al. Effects of agricultural organic wastes incorporation on soil organic carbon and microbial carbon[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2015(3): 153-160.
- [8] 王凯, 孙碧恺, 姚颖, 等. 土壤调理剂对设施菜田土壤理化性状的影响及环境效应[J]. 天津农业科学, 2015(6): 58-61.
- WANG Kai, SUN Bi-kai, YAO Ying, et al. Influence of soil conditioner on growth and yield and quality properties of cucumber in greenhouse[J]. *Tianjin Agricultural Science*, 2015(6): 58-61.
- [9] Topoliantz S, Ponge J O, Ballof S. Manioc peel and charcoal: A potential organic amendment for sustainable soil fertility in the tropics[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2005, 41(1): 15-21.
- [10] 金睿. 生物炭及其复合调理剂对菜地土壤Cd的钝化效果研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- JIN Rui. The effect of biochar and its complex on the passivation of Cd in the contaminated soil[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016.
- [11] 郝佳丽, 卜玉山, 贾峥嵘, 等. 不同有机物料与外源锌对土壤锌形态及生物有效性的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2015(3): 263-268.
- HAO Jia-li, BU Yu-shan, JIA Zheng-rong, et al. Effects of different organic materials and exogenous Zn on Zn distribution in soil[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2015(3): 263-268.
- [12] 姚桂华, 徐海舟, 朱林刚, 等. 不同有机物料对东南景天修复重金属污染土壤效率的影响[J]. 环境科学, 2015(11): 4268-4276.
- YAO Gui-hua, XU Hai-zhou, ZHU Lin-gang, et al. Effects of different kinds of organic materials on soil heavy metal phytoremediation efficiency by *Sedum alfredii* Hance[J]. *Environmental Science*, 2015(11): 4268-4276.
- [13] 杨子仪. 不同类型有机物料对黑土中Cu、Zn分布特征的影响及作用机理研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2015.
- YANG Zi-yi. Effects of different organic materials on distribution of Cu and Zn in black soil and mechanism study[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2015.
- [14] 崔建宇, 陈范俊, 朱洪群. 土壤、植物与环境分析实验[M]. 北京: 中国农业大学自编教材, 2007.
- CUI Jian-yu, CHEN Fan-jun, ZHU Hong-qun. Experiments on soil, plant and environment analysis[M]. Beijing: Textbook Compiled by China Agricultural University, 2007.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- BAO Shi-dan. Soil agrochemical analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [16] Wu H, Guo Z, Peng C. Land use induced changes of organic carbon storage in soils of China[J]. *Global Change Biology*, 2003, 9(3): 305-315.
- [17] 高宝岩, 高伟, 李明悦, 等. 不同施肥处理和茬口对设施黄瓜产量及养分累积的影响[J]. 北方园艺, 2015(13): 52-56.
- GAO Bao-yan, GAO Wei, LI Ming-yue, et al. Effects of different fertilization treatments and growing seasons on yield and nutrient accumulation under greenhouse condition[J]. *Northern Horticulture*, 2015(13): 52-56.
- [18] 刘志平, 黄勤楼, 冯德庆, 等. 蘑菇渣对香蕉生长和土壤肥力的影响[J]. 江西农业学报, 2011, 23(7): 102-104.
- LIU Zhi-ping, HUANG Qin-lou, FENG De-qing, et al. Effects of mushroom dreg on banana growth and soil fertility[J]. *Jiangxi Agricultural Journal*, 2011, 23(7): 102-104.
- [19] 沈盟, 蒋芳玲, 王珊, 等. 生物质炭施用量对土壤性状和番茄产质量的影响[J]. 土壤, 2017(3): 534-542.
- SHEN Meng, JIANG Fang-ling, WANG Shan, et al. Effects of biochar application on soil characteristics, yield and fruit properties of tomato[J]. *Soil*, 2017(3): 534-542.
- [20] 李双喜, 张兆辉, 郑宪清, 等. 秸秆生物质炭对菜田土壤微生物、理化性质及青菜生长的影响[J]. 上海农业学报, 2017(4): 48-54.
- LI Shuang-xi, ZHANG Zhao-hui, ZHENG Xian-qing, et al. Effects of straw biochar on soil microbes and physicochemical properties and pak-choi growth of greenhouse[J]. *Shanghai Journal of Agriculture*, 2017(4): 48-54.
- [21] 张福锁, 陈新平, 陈清, 等. 中国主要作物施肥指南[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009: 122-124.
- ZHANG Fu-suo, CHEN Xin-ping, CHEN Qing, et al. Guidelines for fertilization of major crops in China[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2009: 122-124.
- [22] 王立河, 孙新政, 赵喜茹, 等. 有机肥与氮肥配施对日光温室黄瓜产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(11): 237-242.
- WANG Li-he, SUN Xin-zheng, ZHAO Xi-ru, et al. Effect of the co-application of organic fertilizer and nitrogen fertilizer on the yield and quality of cucumber in greenhouse[J]. *China Agricultural Bulletin*, 2006, 22(11): 237-242.
- [23] 刘继培, 刘唯一, 周婕, 等. 施用腐植酸和生物肥对草莓品质、产量及土壤农化性状的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2015, 32(1): 54-59.
- LIU Ji-pei, LIU Wei-yi, ZHOU Jie, et al. Effects of applying humic acids and bio-fertilizer on the qualities on the yields of strawberry

- and soil agrochemical characters[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2015, 32(1):54-59.
- [24] 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.
- ZHANG Ji-zhou, YUAN Lei, MA Xian-fa. Effects of humic acid on soil nutrients and salts, and on yield and quality in greenhouse[J]. *Humic Acid*, 2008(3):19-22.
- [25] 张瑞花, 兰超杰, 刘雯, 等. 生物炭对反季节露地樱桃番茄生长及产量品质的影响[J]. 分子植物育种, 2019, 17(14):4831-4839.
- ZHANG Rui-hua, LAN Chao-jie, LIU Wen, et al. Effects of biochar on growth, yield and quality of open field cherry tomatoes in counter season[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2019, 17(14):4831-4839.
- [26] 马嘉伟, 胡杨勇, 叶正钱, 等. 竹炭对红壤改良及青菜养分吸收、产量和品质的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2013, 30(5):655-661.
- MA Jia-wei, HU Yang-yong, YE Zheng-qian, et al. Bamboo char for soil fertility improvement and nutrient uptake, yield, and quality in *Brassica chinensis*[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural and Forestry University*, 2013, 30(5):655-661.
- [27] Li J, Wan X, Liu X, et al. Changes in soil physical and chemical characteristics in intensively cultivated greenhouse vegetable fields in North China[J]. *Soil and Tillage Research*, 2019, 195:104366.
- [28] 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, 45(2):296-303.
- LIU Zhao-hui, JIANG Li-hua, ZHANG Wen-jun, et al. Evolution of fertilization rate and variation of soil nutrient contents in greenhouse vegetable in Shandong[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(2):296-303.
- [29] 魏岚, 杨少海, 邹献中, 等. 不同土壤调理剂对酸性土壤的改良效果[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2010(1):77-81.
- WEI Lan, YANG Shao-hai, ZOU Xian-zhong, et al. Effects of different modifiers on improvement of acid soils[J]. *Journal of Hunan Agricultural University(Natural Science Edition)*, 2010(1):77-81.
- [30] Maillard E, Angers D A. Animal manure application and soil organic carbon stocks: A meta-analysis[J]. *Global Change Biology*, 2014, 20(2):666-679.
- [31] Mandal B, Majumder B, Bandyopadhyay P K, et al. The potential of cropping systems and soil amendments for carbon sequestration in soils under long-term experiments in subtropical India[J]. *Global Change Biology*, 2007, 13(2):357-369.
- [32] Schmidt M W I, Noack A G. Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications, and current challenges[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2000, 14(3):777-793.
- [33] Kuzyakov Y, Bogomolova I, Glaser B. Biochar stability in soil: Decomposition during eight years and transformation as assessed by compound-specific ^{14}C analysis[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, 70:229-236.
- [34] 陈士更, 张民, 丁方军, 等. 腐植酸土壤调理剂对酸化果园土壤理化性状及苹果产量和品质的影响[J]. 土壤, 2019, 51(1):83-89.
- CHEN Shi-geng, ZHANG Min, DING Fang-jun, et al. Humic acid soil conditioner improved soil physicochemical properties, apple yield and quality in acidified orchard soil[J]. *Soil*, 2019, 51(1):83-89.
- [35] 曲晓晶, 吴景贵, 李建明, 等. 外源有机碳对黑土有机碳及颗粒有机碳的影响[J]. 水土保持学报, 2017(5):278-286.
- QU Xiao-jing, WU Jing-gui, LI Jian-ming, et al. Effects of exogenous organic carbon on soil organic carbon and particulate organic carbon in black soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2017(5):278-286.
- [36] 王婷婷, 王俊, 赵牧秋, 等. 有机肥对设施菜地土壤磷素累积及有效性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(1):95-100.
- WANG Ting-ting, WANG Jun, ZHAO Mu-qiu, et al. Effects of organic manure on phosphorus accumulating and its availability in a greenhouse soil in Shenyang suburb[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(1):95-100.
- [37] Heckrath G, Brookes P C, Poulton P R, et al. Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk experiment[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1995, 24(5):904-910.
- [38] 曾鸿鹄, 张爱莉, 佟小微, 等. 泥炭对磷吸附特性的试验研究[J]. 桂林理工大学学报, 2008, 28(1):102-108.
- ZENG Hong-hu, ZHANG Ai-li, TONG Xiao-wei, et al. Experiment of the phosphate adsorption characteristics by peat[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2008, 28(1):102-108.
- [39] 裴孝伯, 张福漫, 高丽红, 等. 不同季节日光温室黄瓜氮磷钾吸收规律的研究[J]. 安徽农业大学学报(自然科学版), 2002, 29(1):68-73.
- PEI Xiao-bo, ZHANG Fu-man, GAO Li-hong, et al. Study on uptake of NPK of solar greenhouse cucumber in different seasons[J]. *Journal of Anhui Agricultural University(Natural Science Edition)*, 2002, 29(1):68-73.
- [40] 裴孝伯, 张福漫, 王柳. 不同光温环境对日光温室黄瓜氮磷钾吸收分配的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(12):1510-1513.
- PEI Xiao-bo, ZHANG Fu-man, WANG Liu. Effect of light and temperature on uptake and distribution of nitrogen, phosphorus and potassium of solar greenhouse cucumber[J]. *Agricultural Science of China*, 2002, 35(12):1510-1513.
- [41] 马文奇, 毛达如, 张福锁. 山东省蔬菜大棚养分积累状况[J]. 磷肥与复肥, 2000, 15(3):65-67.
- MA Wen-qi, MAO Da-ru, ZHANG Fu-suo. Nutrients accumulation within vegetable awning(green house) in Shandong Province[J]. *Phosphate Fertilizer and Compound Fertilizer*, 2000, 15(3):65-67.
- [42] Min J, Shi W. Nitrogen discharge pathways in vegetable production as non-point sources of pollution and measures to control it[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 613-614:123.