

生物炭配施有机肥对设施土壤理化性质及不同蔬菜生长的影响

鲁晨妮¹, 徐再萌¹, 朱日清², 孙达³, 陈贵¹

(1. 嘉兴市农业科学研究院 浙江嘉兴 314016; 2. 浙江省嘉兴市秀洲区农业种植业推广总站 浙江嘉兴 314001; 3. 浙江省嘉兴市南湖区农渔技术推广站 浙江嘉兴 314051)

摘要: 为了解不同农业废弃物施用对土壤和蔬菜生长的影响, 以不施肥作为对照, 将牛粪、羊粪、猪粪有机肥与不同质量比的生物炭(10%、25%和 50%)混合施用开展大棚小区试验, 探究其对设施土壤理化性质、白菜和辣椒的生长、品质及养分积累的影响。结果表明, 与 CK 相比, 生物炭配施不同种类有机肥处理均显著提升土壤的 pH 和有机质含量, 部分处理的土壤 EC 值和全氮含量显著升高。与 CK 相比, 不同处理使白菜和辣椒分别增产 1.13%~45.49% 和 5.17%~23.15%, 其中 10%生物炭+90%猪粪有机肥处理(Z10)显著增加了白菜和辣椒的产量。与 CK 相比, 除白菜 Y50 处理硝酸盐含量高于 CK 外, 其他不同处理白菜和辣椒硝酸盐含量分别降低了 0.13%~35.08% 和 2.96%~38.76%, 部分处理达到显著差异水平。25%生物炭+75%猪粪有机肥处理(Z25)的白菜和 10%生物炭+90%牛粪有机肥处理(N10)的辣椒氮、磷、钾积累量均显著高于 CK。综合考虑蔬菜增产和品质提高, 在本试验条件下, 推荐白菜选用 Z10 施肥处理、辣椒选用 N10 施肥处理。

关键词: 蔬菜; 生物炭; 动物粪便; 理化性质; 生长; 品质

中图分类号: S634.3+S641.3 文献标志码: A 文章编号: 1673-2871(2025)06-194-09

Effects of combined application of biochar and organic fertilizer on the physicochemical properties of greenhouse soil and different vegetables growth

LU Cheni¹, XU Zaimeng¹, ZHU Riqing², SUN Da³, CHEN Gui¹

(1. Jiaxing Academy of Agricultural Sciences, Jiaxing 314016, Zhejiang, China; 2. Agricultural Planting Extension Station of Xiuzhou District, Jiaxing 314001, Zhejiang, China; 3. Agricultural and Fishery Technology Extension Station of Nanhu District, Jiaxing 314051, Zhejiang, China)

Abstract: In order to understand the effects of different agricultural waste applications on soil and different vegetable growth, a greenhouse plot experiment was conducted with no fertilizer as the control. Organic fertilizers from cow manure, sheep manure, and swine manure were mixed with different proportions of biochar(10%, 25% and 50%). The study aimed to explore the impact of these treatments on the physicochemical properties of greenhouse soils, as well as the growth, quality, and nutrient accumulation of Chinese cabbage and pepper. The results showed that compared to CK, the application of biochar combined with different organic fertilizers significantly increased soil pH and organic matter content, and the EC value and total nitrogen content of some treatments were significantly increased. Compared with CK, the yield of Chinese cabbage and pepper increased by 1.13%-45.49% and 5.17%-23.15%, respectively. The 10% biochar+90% swine manure treatment(Z10) significantly increased the yield of both Chinese cabbage and pepper. Compared with CK, except for the Y50 treatment of Chinese cabbage, which had a higher nitrate content than CK, the nitrate content in Chinese cabbage and pepper in the other treatments decreased by 0.13%-35.08% and 2.96%-38.76%, respectively, with some treatments showing significant differences. The nitrogen, phosphorus and potassium accumulation in Chinese cabbage under 25% biochar+75% swine manure(Z25) and in pepper under 10% biochar+90% cow manure(N10) were significantly higher than those of their respective controls. Considering the increase of vegetable yield and quality improve-

收稿日期: 2024-09-06; 修回日期: 2024-12-01

基金项目: 嘉兴市科技计划项目(2022AZ10007); 嘉兴市农业科学研究院青年基金

作者简介: 鲁晨妮, 女, 农艺师, 研究方向为土壤肥料和土壤生态。E-mail: LCN2019@163.com

通信作者: 陈贵, 男, 副研究员, 研究方向为水稻氮素营养及生态环境。E-mail: chen Zhao2004@163.com

ment, it is recommended to choose Z10 treatment for Chinese cabbage and N10 treatment for pepper fertilization under the conditions of this experiment.

Key words: Vegetable; Biochar; Animal manure; Physicochemical property; Growth; Quality

随着我国社会经济的发展和城镇化的推进,劳动力不断减少,传统的分散型种植模式逐渐被集约化和规模化种植模式所取代^[1]。近年来,我国农业集约化和规模化发展迅速,在设施蔬菜种植上尤其突出,其主要动力一方面来自国家财政政策的支持^[2],另一方面则由于设施种植高强度属性带来的高产值和高收益^[3]。据估算,我国设施蔬菜利用了3%的耕地,其总产值达到蔬菜总产值的45%和种植业产值的17%,部分省(直辖市、自治区)农民纯收入50%以上来自于设施种植^[3-4]。据调查,设施农业普遍存在着严重的过量施肥现象。黄绍文等^[5]研究表明,设施菜地氮、磷、钾施用总量平均分别是各自推荐量的1.9、5.4和1.6倍。巨大的施肥量导致设施土壤氮素利用率仅为19%,远低于全国氮素平均利用率40%的水平^[6]。同时,过量施肥还会引起土壤质量退化,产生次生障碍,导致作物产量和品质降低等现象^[7]。

生物炭是由农业废弃物高温炭化而来,炭化产物重新施入土壤可以实现固碳减排的目的^[8],作为改良剂其通常呈碱性且具有疏松多孔的结构,可以改变土壤的理化性质,在农业领域得到了广泛的应用^[9]。此外,随着我国畜禽养殖业快速发展,截至2022年底,我国畜禽粪污的综合利用率达到78%,其中肥料化利用是我国畜禽粪污资源化利用的三种主要途径之一^[10]。利用生物炭与动物粪便腐熟而成的有机肥混合施用可以发挥协同作用,促进作物生物量累积^[11],提高肥料利用率^[12]和促进设施土壤水稳性团聚体形成等^[13]。

目前有关生物炭单施^[14]、生物炭配施化肥^[9]、有机肥单施^[15]、有机肥配施化肥减量^[15]等施用方法对蔬菜生长和品质影响的研究多有报道,但较少关注生物炭与不同种类畜禽粪污有机肥配施,以及采用不同配比混合施用对蔬菜生长和品质的影响。笔者以生物炭、牛粪、羊粪和猪粪为原料,以不结球白菜和辣椒为研究对象,通过大棚小区试验,研究生物炭配施不同有机肥,通过添加不同质量比例生物炭(10%、25%和50%),探究其对嘉兴地区两种设施蔬菜生长、品质、养分积累和土壤理化性质的影响。初步评估生物炭配施有机肥对土壤养分供应的改良效果,筛选本试验条件下对设施蔬菜生长综合效果较好的处理,旨在为当地农业废弃物利用和

设施蔬菜施肥提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 研究区概况

试验于2022年11月至2023年7月在浙江省嘉兴市秀洲区王江泾镇新桥生态农场的2个设施温室大棚内进行,2个大棚的前茬作物均为玉米。该地区属于亚热带季风气候,年平均气温15.5℃,年均日照时间1950h。

1.2 材料

原材料:生物炭为嘉兴桐奥环保科技有限公司生产的水稻秸秆生物炭;牛粪来源为嘉兴市王店镇东兴奶牛场;羊粪购自桐乡市众成湖羊专业合作社;猪粪购自嘉兴嘉华牧业有限公司。

供试土壤:2个设施大棚内0~20cm耕层土壤平均背景值为:pH($m_{水}:m_{土}=2.5:1$)5.93,电导率 $559\mu S\cdot cm^{-1}$,有机质含量(w ,下同)为 $54.4g\cdot kg^{-1}$,全氮含量 $3.80g\cdot kg^{-1}$,碱解氮含量 $336.2mg\cdot kg^{-1}$,有效磷含量 $116.1mg\cdot kg^{-1}$,速效钾含量为 $1070mg\cdot kg^{-1}$ 。

供试作物:不结球白菜,品种为嘉兴青,由嘉兴先丰种业有限公司生产;辣椒,品种为早青帅,由淮北市久保田种业有限公司选育。

1.3 试验设计

试验设置有机肥种类含牛粪、羊粪和猪粪共3种,有机肥与生物炭复配质量比设9:1、3:1和1:1共3个水平,并设不施肥对照处理(表1)。每个处理设置3次重复,小区面积为 $12m^2$,不同的小区之间用塑料隔板隔开。不同动物粪便均腐熟约40d后,与生物炭混合,作为底肥施入,施用量为 $30t\cdot hm^{-2}$ 。按照《生物炭基有机肥料》(NY/T 3618-2020)^[16]方法测定混合物料的基本性质,具体试验方案及结果见表1。

白菜和辣椒分别种植于两个独立的温室大棚,两个大棚的小区分布与物料添加量均相同。白菜和辣椒均为移栽,白菜播种时间为2022年11月1日,定植时间为11月28日,移栽密度为 $137500株\cdot hm^{-2}$,白菜收获时间为2023年1月28日;辣椒的播种时间为2023年2月5日,定植时间为3月17日,移栽密度为 $25000株\cdot hm^{-2}$,5月31日开始采收,7月5日拉秧。考虑到试验地土壤速效养分较丰富,白菜种植期间未施用化肥,辣椒于4

表1 各处理施肥方案及物料基本性质
Table 1 Fertilizer treatments and basic properties of materials

处理 Treatment	有机肥 Organic fertilizer	w(有机肥) Organic fertilizer content/%	w(生物炭) Biochar content/%	物料基本性质 Basic properties of materials				
				pH	w(有机质) Organic matter content/%	w(养分) Nutrient content/%		
						N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK								
N10	牛粪	90	10	7.34	55.33	1.23	0.54	0.75
N25	Cow manure	75	25	7.50	45.15	1.23	0.73	1.18
N50		50	50	7.55	39.45	1.27	1.12	1.55
Y10	羊粪	90	10	8.35	38.38	2.48	2.42	2.66
Y25	Sheep manure	75	25	8.33	38.50	2.17	2.21	1.71
Y50		50	50	8.32	35.60	1.90	1.74	1.78
Z10	猪粪	90	10	6.81	44.98	1.79	0.57	0.55
Z25	Swine manure	75	25	6.88	38.91	1.73	0.75	1.06
Z50		50	50	7.08	34.77	1.56	1.11	1.48

月14日施用108 kg·hm⁻²尿素,开花坐果期和成熟期未施用其他肥料。根据实际水分情况浇水,并进行常规管理。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 土壤样品采集和理化性质测定 土壤样品采集于白菜收获后和辣椒收获后。每个小区土壤样品采用五点取样法,混合均匀后在室内自然风干,除杂并过筛,用于理化性质测定。用pH计(水土质量比2.5:1)测定土壤pH;采用电导率仪测定EC值;采用重铬酸钾容量-外加热法测定有机质含量;采用硫酸-混合催化剂消解,全自动凯氏定氮仪测定全氮含量;采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定有效磷含量;采用乙酸铵浸提-火焰光度法测定速效钾含量^[17]。

1.4.2 白菜和辣椒样品采集和测定 白菜和辣椒分别于收获时采集生长特性一致的10株白菜和10株辣椒测定品质指标:采用水杨酸分光光度法测定硝酸盐含量;采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量;采用考马斯亮蓝G-250法测定可溶性蛋白含量^[18]。白菜于收获前采集每小区生长特性一致的5株用于地上部鲜质量测定,辣椒于第一次采收时取5株辣椒植株,将果实与叶、秆分开,分别称量鲜质量。白菜和辣椒样品在恒温烘箱内105℃杀青30min,然后65℃烘干至恒质量,测定植株干质量。植株采用H₂SO₄-H₂O₂消解,采用凯氏定氮法测定氮含量,采用钼锑抗比色法测定磷含量,采用火焰光度法测定钾含量^[17]。

1.4.3 田间观测与测产 白菜收获时和辣椒第一次采收时,分别对每小区的10株生长特性一致的样品作好标记,分别测定生长指标。开展度和株高采用卷尺测量,茎粗采用游标卡尺测量辣椒根茎部

上方2cm位置直径,采用SPAD仪(SPAD-502, Konica Minolta)测定SPAD值。白菜产量在收获时测定,辣椒产量按小区分批累计测定,共采收4次,每次间隔10d。

1.5 数据处理与分析

采用Excel 2021和SPSS 26.0进行数据整理,运用SPSS 26.0对不同处理的蔬菜产量、蔬菜品质、养分积累和土壤理化性质进行方差分析(one-way ANOVA),并采用Tukey法进行多重比较分析。

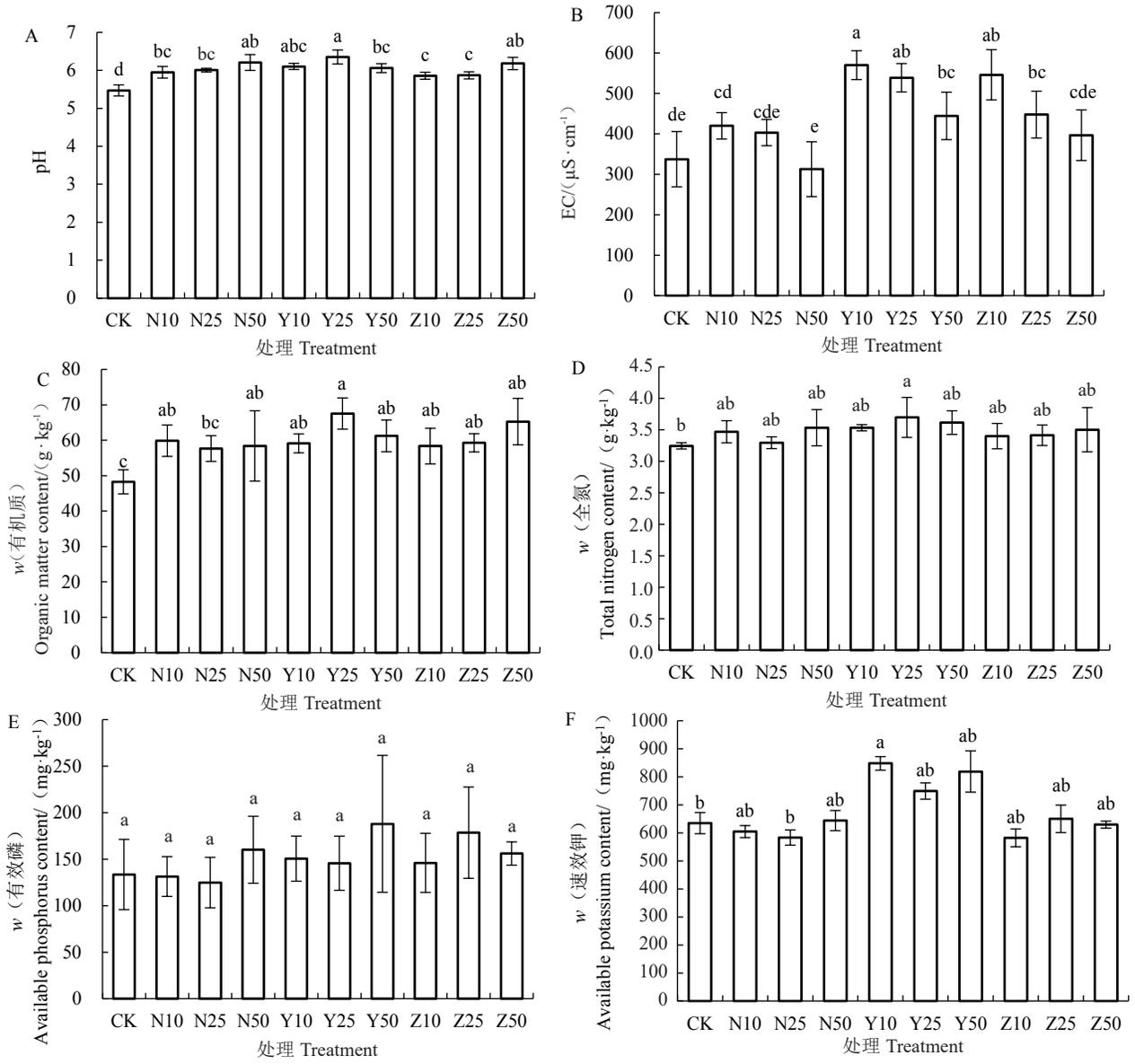
2 结果与分析

2.1 生物炭配施有机肥对土壤理化性质的影响

图1为白菜和辣椒收获后土壤理化性质的测定结果。与CK相比,生物炭与有机肥混合施用显著增加了各处理的pH(图1-A),增幅为7.07%~16.78%,其中Y25处理土壤pH最高。土壤EC值可以表征土壤盐分含量,生物炭配施牛粪、羊粪和猪粪有机肥的EC值比CK分别增加了-7.31%~24.45%、31.75%~68.94%、17.58%~61.88%(图1-B)。土壤有机质含量测定结果显示(图1-C),生物炭与不同种类有机肥的施用(除N25以外)均能显著增加土壤有机质含量,增长幅度为19.48%~39.96%。土壤全氮含量测定结果表明(图1-D),生物炭配施牛粪或猪粪有机肥对土壤的全氮含量均无显著影响,但生物炭配施羊粪有机肥的Y25处理的土壤全氮含量显著高于CK。土壤有效磷含量(图1-E)和速效钾含量(除Y10以外,图1-F)测定结果表明,不同施肥处理与CK之间均无显著差异。

2.2 生物炭配施有机肥对两种蔬菜产量的影响

由图2-A可知,不同施肥条件下白菜产量较



注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level between different treatments. The same below.

图 1 不同处理对土壤理化性质的影响

Fig. 1 Effect of different treatments on soil physicochemical properties

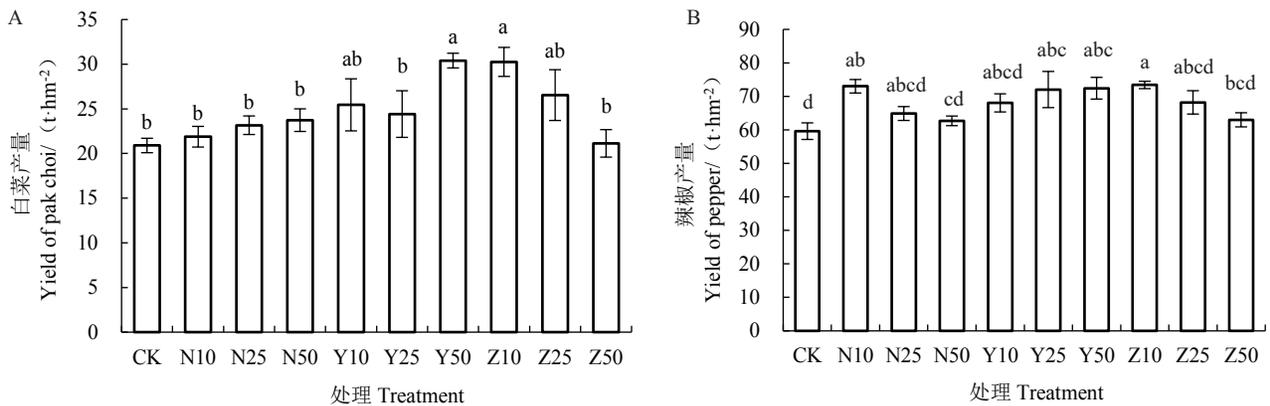


图 2 不同处理下白菜(A)和辣椒(B)的产量

Fig. 2 Yield of pak choi (A) and pepper (B) under different treatments

CK增加了1.13%~45.49%，其中Y50和Z10处理的产量显著高于CK。生物炭与牛粪有机肥配施时，白菜产量随着生物炭比重的增加而增加，而与猪粪有机肥配施时，白菜产量随着生物炭比重的增加而降低。由图2-B可知，各处理辣椒产量较CK增加了5.17%~23.15%，其中N10、Y25、Y50和Z10处理产量与CK相比均达到显著差异水平。生物炭配施牛粪或猪粪有机肥时，辣椒产量与生物炭的添加比例呈负相关，而生物炭配施羊粪有机肥时，辣椒产

量则与生物炭添加比例呈正相关。

2.3 生物炭配施有机肥对两种蔬菜生长的影响

由表2可知，不同处理对白菜生长的影响主要体现在地上部生物量。不同处理下，白菜地上部生物量较CK增加了19.94%~81.37%，其中地上部生物量最大的是Z25处理，其次是Z10处理。生物炭配施有机肥处理的株高和开展度与CK相比差异不显著，而Z25处理的叶片数最多，较CK增加了23.45%，达到显著差异水平。

表2 不同处理对白菜生长的影响

Table 2 Effects of different treatments on pak choi growth

处理 Treatment	地上部生物量 Aboveground biomass/(g·plant ⁻¹)	株高 Plant height/cm	开展度 Width of seedling/cm	叶片数 Leaf number
CK	164.67±10.00 f	16.61±0.26 ab	28.38±1.66 a	14.67±0.88 b
N10	206.17±4.48 def	19.61±1.55 ab	28.59±0.48 a	14.78±0.69 b
N25	252.55±7.17 bc	15.89±2.80 b	28.89±2.18 a	15.22±0.69 b
N50	236.25±6.01 cde	19.51±0.83 ab	30.49±1.83 a	15.33±1.85 ab
Y10	259.92±9.31 abc	18.67±1.45 ab	31.00±1.69 a	15.11±1.17 b
Y25	245.50±19.09 bcd	18.43±0.58 ab	31.82±0.67 a	15.11±0.84 b
Y50	236.61±17.77 cde	16.95±2.60 ab	27.39±1.92 a	15.33±0.88 ab
Z10	281.83±16.98 ab	18.55±0.86 ab	29.11±1.11 a	15.33±0.34 ab
Z25	298.67±1.18 a	20.42±1.22 a	29.57±2.85 a	18.11±1.17 a
Z50	197.50±12.97 ef	18.11±1.14 ab	29.82±1.28 a	15.78±0.39 ab

注：同列数字后不同小写字母表示不同处理在0.05水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at 0.05 level between different treatments. The same below.

由表3可知，不同处理的辣椒地上部生物量与CK相比涨幅为-1.04%~53.15%，其中地上部生物量最大的前3个处理依次是Z10、Z25和Z50处理，但

仅Z10处理显著高于CK。不同处理辣椒的株高和SPAD值与CK相比，差异均不显著。茎粗结果显示，Z50处理的茎粗最大，比CK高21.90%，达到显

表3 不同处理对辣椒生长的影响

Table 3 Effects of different treatments on pepper growth

处理 Treatment	地上部生物量 Aboveground biomass/(g·plant ⁻¹)	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/cm	SPAD值 SPAD value
CK	723.0±38.8 b	86.00±1.73 a	1.37±0.06 b	49.57±0.74 a
N10	850.3±129.7 ab	88.00±6.56 a	1.65±0.05 ab	53.07±0.59 a
N25	716.5±18.3 b	83.60±5.54 a	1.53±0.06 ab	52.73±3.55 a
N50	715.5±10.6 b	84.17±2.75 a	1.63±0.06 ab	50.93±4.36 a
Y10	970.5±37.4 ab	88.00±3.00 a	1.50±0.17 ab	52.20±2.44 a
Y25	830.25±102.1 ab	82.50±4.44 a	1.57±0.15 ab	53.30±2.12 a
Y50	848.5±128.9 ab	83.33±2.08 a	1.63±0.06 ab	53.50±3.80 a
Z10	1 107.2±61.8 a	92.77±0.75 a	1.48±0.03 ab	52.07±5.65 a
Z25	1 008.5±65.0 ab	81.67±3.51 a	1.63±0.06 ab	51.90±1.20 a
Z50	974.5±122.3 ab	86.00±5.41 a	1.67±0.15 a	53.23±1.50 a

著差异水平。

2.4 生物炭配施有机肥对两种蔬菜品质的影响

由表4可知，与CK相比，除Y50处理外，其他处理的白菜硝酸盐与CK相比降低了0.13%~

35.08%，其中N25、Y25、Z10和Z25处理的硝酸盐含量显著低于CK；各处理辣椒的硝酸盐含量较CK降低了2.96%~38.76%，其中N25、Y25和Z50处理的硝酸盐含量显著低于CK。不同处理的白菜和辣

表4 不同处理对蔬菜品质的影响

Table 4 Effects of different treatments on vegetable quality

蔬菜种类 Vegetable	处理 Treatment	w(硝酸盐) Nitrate content/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	w(可溶性糖) Soluble sugar content/%	w(可溶性蛋白) Soluble protein content/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)
白菜	CK	160.82±8.31 ab	7.21±0.16 abc	1.73±0.18 de
Pak choi	N10	160.46±2.51 ab	10.61±0.33 a	1.97±0.16 cde
	N25	119.46±12.3 cd	9.03±0.10 abc	1.95±0.08 cde
	N50	160.62±3.71 ab	9.42±1.41 ab	2.43±0.09 b
	Y10	145.41±15.30 abc	5.13±1.24 bc	1.59±0.09 e
	Y25	104.41±9.00 d	3.76±1.11 c	2.08±0.18 bcd
	Y50	171.48±4.70 a	10.37±2.60 ab	2.85±0.10 a
	Z10	113.58±2.57 d	6.37±1.15 abc	2.08±0.16 bcd
	Z25	117.82±12.30 cd	8.29±1.57 abc	2.05±0.14 bcd
	Z50	132.67±8.80 bcd	8.40±0.29 abc	2.23±0.10 bc
辣椒	CK	106.42±8.19 a	16.60±1.77 abc	1.03±0.04 ab
Pepper	N10	83.00±2.57 abcd	14.41±1.76 bc	1.03±0.02 ab
	N25	65.17±1.03 d	16.25±1.43 abc	1.10±0.04 ab
	N50	84.58±9.05 abcd	13.94±0.79 c	0.88±0.15 b
	Y10	95.99±2.56 abc	13.48±0.25 c	1.09±0.09 ab
	Y25	72.81±1.54 cd	14.88±0.64 bc	1.27±0.12 a
	Y50	101.32±10.50 a	16.11±1.35 abc	0.97±0.11 ab
	Z10	99.75±10.80 ab	20.04±0.63 a	0.96±0.10 ab
	Z25	103.27±7.99 a	18.24±1.31 ab	0.85±0.11 b
	Z50	77.30±5.56 bcd	17.59±1.39 abc	1.13±0.07 ab

椒的可溶性糖含量与 CK 之间差异均不显著,其中生物炭配施牛粪有机肥处理的白菜可溶性糖含量较 CK 增加了 25.24%~47.16%,生物炭配施猪粪有机肥则增加了辣椒可溶性糖含量,较 CK 增幅为 5.96%~20.72%。与 CK 相比,除 Y10 处理外,其他生物炭配施牛粪、羊粪和猪粪有机肥均增加了白菜可溶性蛋白含量,其中生物炭添加量为 50% 的 3 个处理(N50、Y50 和 Z50)的白菜可溶性蛋白含量均显著高于 CK。各处理的辣椒可溶性蛋白含量与 CK 之间差异不显著。

2.5 生物炭配施有机肥对两种蔬菜养分积累的影响

由图 3 可知,各处理的白菜氮和磷积累量较 CK 分别增加了 20.42%~95.00% 和 12.33%~95.21%,其中 Z25 处理积累氮和磷最多,且均显著高于 CK,其他处理的氮和磷积累量与 CK 相比差异不显著(图 3-A~B)。在生物炭配施有机肥的不同配比中,当生物炭添加量为 25% 时,白菜钾积累量最高,即 N25、Y25 和 Z25 处理的白菜钾积累量分别比 CK 高 70.04%、46.04% 和 112.78%,其中 Z10 和 Z25 处理与 CK 差异显著(图 3-C)。图 3-D~F 显示的是不同处理的单株辣椒地上部秸秆和

果实积累的养分含量。与 CK 相比,不同处理辣椒氮积累量增长了 12.70%~45.28%,其中 N10、Y50 和 Z10 处理的氮积累量显著高于 CK(图 3-D)。辣椒磷积累量最大的处理为 Z10,与 CK 相比积累量达到显著差异水平的处理为 N10、Y25、Y50 和 Z10 处理(图 3-E)。不同处理辣椒钾素积累较 CK 增长了 6.02%~47.55%,其中仅 N10 处理的钾积累量显著高于 CK(图 3-F)。

3 讨论与结论

3.1 生物炭配施有机肥对土壤理化性质的影响

本研究结果表明,生物炭配施有机肥显著提高了设施土壤的 pH 和有机质含量,主要原因是炭基有机肥本身具有较高的 pH 和有机质含量,施用后能改善土壤结构,提升土壤养分含量,这与燕金锐等^[12]的研究结果一致。与 CK 相比,生物炭配施适量的羊粪有机肥或猪粪有机肥显著增大土壤的 EC 值,即导致土壤盐分增加,这与动物粪肥本身的特性有关。黄绍文等^[19]研究也表明,有机肥废弃物中的 EC 值平均值为羊粪>猪粪>牛粪。此外,生物炭也含有大量的盐基离子^[20],因此盐分含量较高的设施土壤应优先考虑施用生物炭配施牛粪。土壤氮、

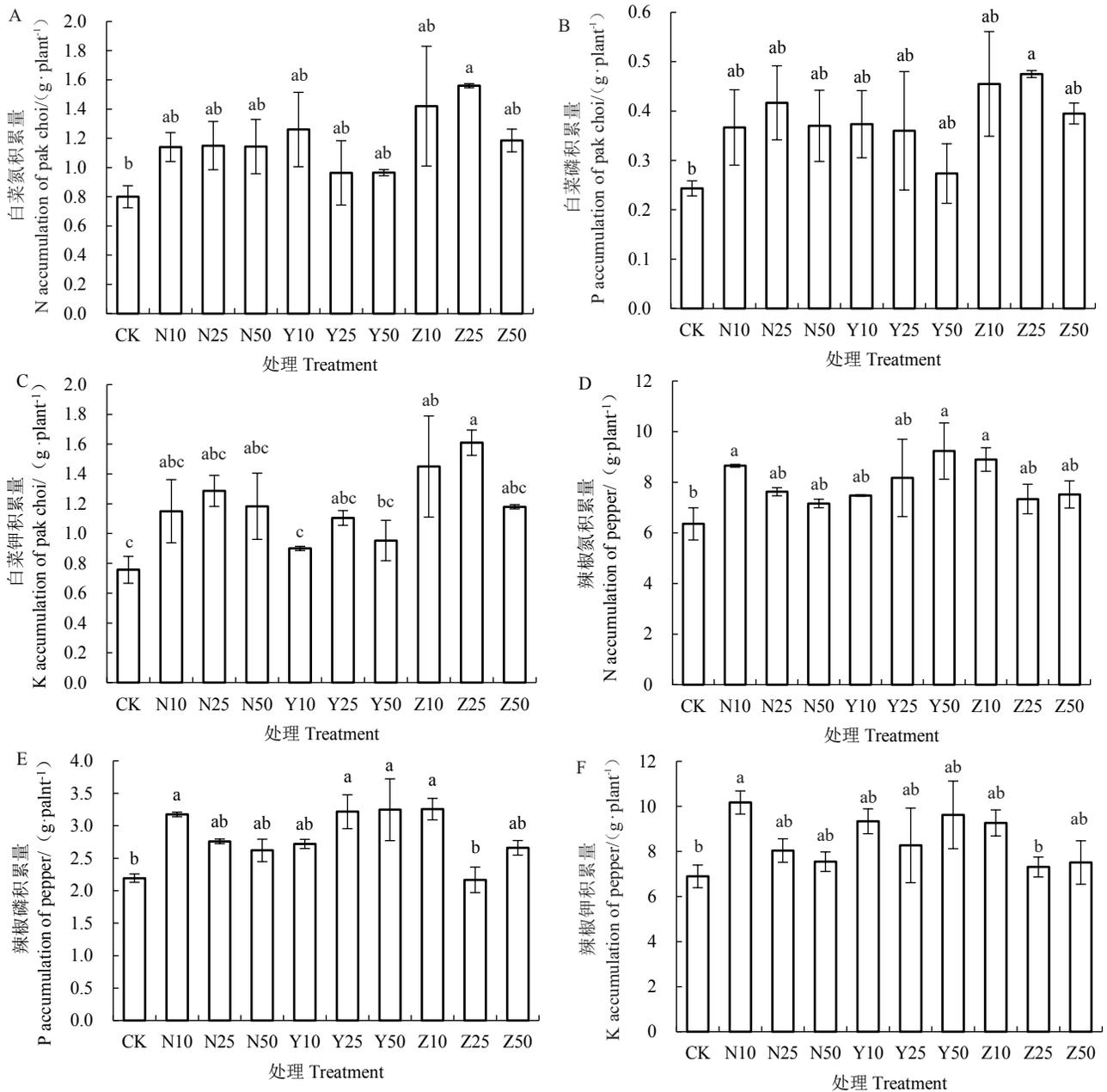


图3 不同处理下白菜氮(A)、磷(B)、钾(C)和辣椒氮(D)、磷(E)、钾(F)积累量

Fig. 3 Nitrogen (A), phosphorus (B) and potassium (C) accumulation of pak choi and nitrogen (D), phosphorus (E) and potassium (F) accumulation of pepper under different treatments

磷、钾养分含量测定结果显示,仅 Y10 和 Y50 处理的全氮含量显著高于 CK,这主要是因为养分含量同时包括白菜和辣椒收获后的土壤,虽然种植前土壤背景值接近,但由于白菜和辣椒生育期及生物量差别较大,因此吸收的养分水平不同(辣椒>白菜),导致白菜和辣椒收获后土壤全氮、有效磷和速效钾水平不同。

3.2 生物炭配施有机肥对两种蔬菜产量和生长的影响

炭基有机肥的施用可以促进植株生长,并使得

作物增产^[21]。在本试验中,生物炭配施猪粪有机肥表现为白菜和辣椒的产量随着生物炭比重的增加而降低,且各处理白菜和辣椒产量均高于 CK,这是由于本试验不同处理相当于投入了不等量的氮、磷、钾养分,有机肥比重大的处理养分投入更多。生物炭具有吸附作用,可以减缓投入有机肥的养分淋失^[22],两者相互作用有利于蔬菜产量的增加。生物炭配施羊粪有机肥随着生物炭比重的升高,辣椒产量增加,这可能是因为 Y50 处理添加物料中的氮、磷、钾含量均高于 N10 和 Z10 的含量。此外,

Y10 和 Y25 处理中较高的羊粪投入量导致土壤的 EC 值更高,可能抑制了蔬菜产量的增长。除 N10 处理的辣椒外,其他配施牛粪有机肥处理的白菜和辣椒产量与 CK 相比差异均不显著,可能是因为牛粪纤维多,是兼具微生物肥效的迟效性有机肥料^[22],白菜生育期相对辣椒更短,生物炭配施牛粪有机肥养分缓释可能更符合辣椒中、后期生长需肥较多的养分需求^[23]。

3.3 生物炭配施有机肥对两种蔬菜品质的影响

硝酸盐含量是反映蔬菜食用安全性的指标,可溶性糖和可溶性蛋白含量是检测蔬菜品质的重要指标^[24]。本研究结果表明,与 CK 相比,生物炭添加量为 25% 的各处理具有显著降低白菜或辣椒硝酸盐累积的效果。文慧宝等^[25]研究表明,单施低浓度生物炭对白菜叶片积累硝酸盐有一定的抑制作用,本研究中生物炭占比为 25% 时,其与有机肥共同作用下对固持土壤硝态氮、减少植物积累硝酸盐发挥了最大的效果。25% 以下生物炭配施有机肥不同处理的可溶性糖和可溶性蛋白含量与 CK 之间的差异均不显著,可能是因为对于可溶性糖含量的积累,本试验的处理添加量较小,这与刘宇等^[26]的研究结果一致。当生物炭添加量为 50% 的时候,白菜的可溶性蛋白含量均显著高于 CK,这可能是因为该混合比例下养分的缓释作用减缓了白菜碳氮代谢和生长,提高了白菜的营养品质^[25],同时其为微生物活动提供了适宜的环境,促进了土壤碳氮的转化,利于白菜品质改善^[27]。

3.4 生物炭配施有机肥对两种蔬菜养分累积的影响

本研究中除 Z25 辣椒磷积累量略低于 CK 外,其他不同处理的白菜和辣椒氮、磷、钾积累量较 CK 均有不同程度的增加,这是由于生物炭和有机肥的添加中投入了不等量的养分。本研究结果表明,生物炭与牛粪有机肥配施在辣椒上表现为有机肥比重高的处理氮、磷、钾积累量更高,这可能是因为生物炭比重高的处理养分投入更少,且生物炭的吸附作用使得养分释放更缓慢^[21]。而生物炭与羊粪有机肥的混合施用在白菜和辣椒的氮、磷、钾养分积累上表现出相反的趋势,这可能是因为羊粪有机肥的 pH 和养分总量最高,同时也有着最高的含盐量,对白菜氮磷累积产生了一定的抑制作用。而对于辣椒而言,生物炭配施羊粪处理中生物炭的比重最高的处理,辣椒氮、磷、钾积累量均为最高,这可能是因为投入了较多钾素促进了辣椒的生长和养分积

累。有研究表明,钾素因子显著影响辣椒的产量^[28]。生物炭和有机肥的添加也直接影响土壤微生物的多样性及其群落结构^[29],间接影响参与土壤氮磷钾转化的微生物丰度和活性以及植物对养分的吸收和利用^[30]。

生物炭配施有机肥可以促进土壤氮、磷、钾养分的输入,并显著提高土壤的 pH 和有机质含量,有利于促进白菜和辣椒增产和氮、磷、钾养分的积累,同时可以一定程度上提高两种蔬菜的品质。在本试验条件下,综合考虑蔬菜增产和品质提高,建议白菜选用生物炭 10%+猪粪有机肥 90%处理(Z10)、辣椒选用生物炭 10%+牛粪有机肥 90%处理(N10),在生产应用过程中注意结合种植的蔬菜品种,选择合适的施用量和使用频率,过量施用可能会增加土壤盐分。

参考文献

- [1] 丁亚会,张云鹤,孙宁,等.我国设施农业发展的国际经验与启示[J].江苏农业科学,2023,51(16):1-8.
- [2] 韩沛华,闵炬,诸海焘,等.长三角地区设施蔬菜施肥现状及土壤性状研究[J].土壤,2020,52(5):994-1000.
- [3] 蔡祖聪.浅谈“十四五”土壤肥力与土壤养分循环分支学科发展战略[J].土壤学报,2020,57(5):1128-1136.
- [4] 李天来.设施蔬菜产业发展(一)我国设施蔬菜产业发展现状及展望[J].中国蔬菜,2023(9):1-6.
- [5] 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.
- [6] 丁武汉,雷豪杰,徐驰,等.我国设施菜地观氮平衡分析及其空间分布特征[J].农业资源与环境学报,2020,37(3):353-360.
- [7] 董金龙,徐焯红,全智,等.中国设施种植土壤可持续利用的难点与应对策略[J].土壤学报,2024,61(6):1467-1480.
- [8] 黄兆琴,周强,胡林潮,等.生物炭添加对土壤腐殖物质组成的影响[J].江苏农业科学,2019,47(24):285-288.
- [9] 吴立东,刘亚婷,林淑婷,等.生物炭与化肥配施对辣椒产量、品质及肥料利用率的影响[J].中国土壤与肥料,2023(8):144-151.
- [10] 周璇,杜森,徐洋,等.我国三大粮食作物粪肥还田推广应用路径探索[J/OL].中国农业资源与区划.1-10[2024-07-17].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20240716.1043.002>.
- [11] 吴瑕,周浩楠,刘德阳,等.有机肥与生物炭对小白菜光合作用及硝酸盐积累的影响[J].沈阳农业大学学报,2023,54(4):403-412.
- [12] 燕金锐,律其鑫,高增平,等.有机肥与生物炭对沙化土壤理化性质的影响[J].江苏农业科学,2019,47(9):303-307.
- [13] 王彤,雍继芳,林启美,等.生物炭与有机肥料配施可以促进设施菜地土壤水稳性团聚体形成[J].华北农学报,2019,34(增刊1):176-182.
- [14] 周冉冉,马司光,张文晶,等.生物炭与生物基质对设施黄瓜连作土壤改良效果研究[J].江西农业大学学报,2021,43(3):537-546.

- [15] 张俊峰, 颀建明, 张玉鑫, 等. 生物有机肥部分替代化肥对日光温室黄瓜产量、品质及肥料利用率的影响[J]. 中国蔬菜, 2020(6): 58-63.
- [16] 中华人民共和国农业农村部. 生物炭基有机肥料: NY/T 3618—2020[S]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [18] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [19] 黄绍文, 唐继伟, 李春花. 我国商品有机肥和有机废弃物中重金属、养分和盐分状况[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(1): 162-173.
- [20] 张继东, 张亚雄, 程伟, 等. 生物质炭和有机肥配施对苹果重茬育苗地土壤理化性质和微生物群落特征的影响[J]. 中国农业科技导报, 2024, 26(8): 213-222.
- [21] 李夏, 汪玉瑛, 吕豪豪, 等. 炭基有机肥对设施番茄生长及其土壤性质的影响[J]. 农业环境科学学报, 2023, 42(3): 568-577.
- [22] 周思怡, 李晓佳, 张恂, 等. 不同物料对海滨沙性盐碱地改良效果研究[J]. 土壤, 2023, 55(2): 356-362.
- [23] 汤宏, 张杨珠, 侯金权, 等. 不同施肥条件下夏季辣椒的生长发育与养分吸收规律研究[J]. 土壤通报, 2012, 43(4): 890-895.
- [24] 宋晓慧, 王晓, 张霞, 等. 氨基酸态氮部分代替无机氮对辣椒生长和品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(12): 168-175.
- [25] 文慧宝, 杜双江, 程贵庆, 等. 生物炭与有机肥配施对白菜生长品质、土壤养分及酶活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(20): 224-230.
- [26] 刘宇, 吴云成, 赵家印, 等. 施用猪粪有机肥对土壤特性及有机蔬菜品质的影响[J]. 江西农业学报, 2023, 35(3): 76-83.
- [27] 殷武平, 袁祖华, 彭莹, 等. 生物炭有机肥部分替代化肥对苋菜生长、产量、品质和氮素利用率的影响[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(6): 77-83.
- [28] 李洋洋, 张可慧, 鲁若楠, 等. 不同施钾量对朝天椒品质及产量的影响[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(7): 104-110.
- [29] 胡坤, 张红雪, 郭力铭, 等. 烟秆炭基肥对薏苡土壤有机碳组分及微生物群落结构和丰度的影响[J]. 中国生态农业学报, 2021, 29(9): 1592-1603.
- [30] 侯建伟, 邢存芳, 杨莉琳, 等. 生物炭与有机肥等碳量投入土壤肥力与细菌群落结构差异及关系[J]. 环境科学, 2024, 45(7): 4218-4227.