

孙雪, 刘琪琪, 郭虎, 等. 猪粪生物质炭对土壤肥效及小白菜生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(9): 1756-1763.

SUN Xue, LIU Qi-qi, GUO Hu, et al. Effects of swine manure biochar on soil fertility and cabbage (*Brassica chinensis*) growth[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(9):1756-1763.

猪粪生物质炭对土壤肥效及小白菜生长的影响

孙雪, 刘琪琪, 郭虎, 付祥峰, 张天舒, 李恋卿*, 潘根兴

(南京农业大学农业资源与生态环境研究所, 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘要:针对我国畜禽养殖业飞速发展, 畜禽粪便产生量迅速增加造成的环境问题及其再利用问题, 以猪粪生物质炭为研究对象, 探究猪粪炭化前后对土壤肥力和小白菜生长的影响, 以为畜禽粪便的农业资源化利用提供新思路新途径。采用盆栽试验, 设置3个猪粪生物质炭施用量梯度0.5%、1%和2%, 并按49.8%的炭化产率折算, 设置风干猪粪炭施用量梯度1%、2%和4%, 比较炭化前后的施用效应。试验结果表明, 猪粪炭化后灰分、有机碳、全磷、全钾和速效钾的含量较猪粪有所提高, 而全氮、碱解氮和速效磷含量有所降低。猪粪生物质炭处理显著增加了土壤有机质、全氮、速效磷和速效钾的含量, 但增加幅度低于对应量的猪粪处理。施用猪粪生物质炭较相应量猪粪处理的小白菜产量提高26.50%~49.98%, 氮素偏生产力提高119.32%~162.81%, 叶面积提高20.84%~21.58%; 与猪粪相比, 猪粪生物质炭可显著提高小白菜可溶性蛋白质和维C含量, 增幅33.11%~42.93%和15.16%~46.06%, 硝酸盐含量显著降低17.80%~22.08%。畜禽粪便热裂解炭化是养殖业废弃物处理和资源化利用的一种有效途径。

关键词:猪粪炭; 猪粪肥; 土壤肥效; 小白菜; 产量; 品质

中图分类号: X713 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2016)09-1756-08 doi:10.11654/jaes.2016-0180

Effects of swine manure biochar on soil fertility and cabbage (*Brassica chinensis*) growth

SUN Xue, LIU Qi-qi, GUO Hu, FU Xiang-feng, ZHANG Tian-shu, LI Lian-qing*, PAN Gen-xing

(Institute of Resource, Ecosystem and Environment of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Reusing animal manure not only reduces environmental pollution caused by livestock and poultry industries, but also promotes agricultural sustainable development. Pyrolyzing manure has been proved to be an effective way to recycle animal waste. However, there is little information available about the effects of manure biochar on vegetable growth and soil fertility. A pot experiment was designed to examine soil fertility and cabbage growth following applications of swine manure biochar at 0.5%, 1% and 2% and swine manure at 1%, 2% and 4%, with chemical fertilizer as control. Compared with swine manure, biochar contained higher ash, organic carbon, total phosphorus, total potassium and available potassium, but lower total nitrogen, available nitrogen and available phosphorus. Soil organic matter, soil TN, available P and K increased significantly in both swine manure biochar and swine manure treatments, with higher values in swine manure than in its biochar, as compared with the control. Relative to the swine manure treatments, biochar applications increased the yield of Chinese cabbage by 26.50%~49.98%, N partial factor productivity by 119.32%~162.81%, leaf area by 20.84%~21.58%, soluble protein by 33.11%~42.93%, and vitamin C by 15.16%~46.06%, but decreased plant nitrate content by 17.80%~22.08%. Therefore, pyrolysis of manure may be a promising and effective way to reduce animal waste pollution and recycle waste.

Keywords: swine manure biochar; swine manure; soil fertility; cabbage; yield; quality

收稿日期: 2016-02-09

基金项目: 江苏省有机固体废物资源化协同创新中心项目; 科技部农业科技成果转化资金项目(2013GB23600666)

作者简介: 孙雪(1988—), 女, 山东莱芜人, 硕士研究生, 主要从事生物质炭绿色农业研究。E-mail: 15150535091@163.com

* 通信作者: 李恋卿 E-mail: lqli@njau.edu.cn

近年来,随着我国居民生活水平的逐步提高和饮食结构的不断改善,畜肉类消费需求的持续攀升推动着畜禽养殖业的高速发展。高度规模化、集约化的畜禽养殖业在取得巨大的经济效益和社会效益的同时,也产生了大量的畜禽废弃物。据统计,我国畜禽粪便产生量已经由1980年的14亿t,增加到2011年的21.21亿t,预计到2020年和2023年将分别达到28.75亿t和37.43亿t^[1]。畜禽粪便产生量日益增加,对生态环境安全构成了严重的威胁。当前,畜禽粪便资源化利用主要包括有机肥化利用、饲料化利用、能源化利用以及栽培食用菌利用等^[2],但仍有大量的畜禽粪便未得到及时有效的处理和利用,已严重制约畜禽养殖业持续高效发展。全国第一次污染源普查数据显示,畜禽粪便已与工业源、生活源成为水污染的三大主要来源^[3]。因此,畜禽粪便资源化利用和无害化处理技术的开发是目前我国亟待解决的问题。

生物质炭化技术是指将生物质废弃物在缺氧或无氧状态下经热裂解产生的一种生物学稳定性极高的有机组分^[4],是近年来快速发展起来的一项碳封存技术^[5]。生物质炭含有丰富有机碳,还含有大量钙、钾等矿物质以及无机碳酸盐^[6],同时具有疏松多孔的结构特性和较高的表面吸附性能^[7],这些特性使其具有疏松土壤、改良土壤结构和保水保肥的良好农艺效果^[8-10],能够显著提高低肥力土壤的质量^[11]。随着研究的不断深入,畜禽粪便生物质炭的研究也日益受到关注。畜禽粪便热裂解炭化后,既能通过高温快速杀死病原菌,去除畜禽粪便的恶臭,极大地减少粪肥体积,又能大幅钝化畜禽粪便中铜、锌、砷等重金属的生物有效性^[12],减少对环境的危害,而且畜禽粪便生物炭具有相对较高的pH和养分含量,是理想的土壤调理剂和有机肥生产辅料^[13]。Keri等^[14]研究指出,动物粪便生物质炭含大量稳定芳香族结构及丰富无机矿物质,并浓缩了非挥发的矿物质如P、K等元素。黄婷等^[15]通过田间试验发现,鸡粪炭比棉花秸秆炭、玉米穗轴炭对棉花的增产效果好。当前的研究多集中在畜禽粪便生物质炭的制备及理化性质的分析,而其在农业生产应用中的研究报道还较少。

生物质炭作为土壤改良剂和养分调节剂在蔬菜生产中的应用已有许多的报道。张瑞等^[16]研究表明竹炭具有改良盐渍化土壤、促进小白菜产量增加和品质提高的作用。俞映惊等^[17]研究发现生物质炭的添加对土壤氮素具有“削峰填谷”的调节功能,能够有效促进

氮素的吸收和转化作用,显著增加小白菜的产量及氮素累积量,有利于维持高产。但畜禽粪便生物质炭在蔬菜生长中的应用目前还少见报道。本文以猪粪生物质炭为研究对象,选择肥力较低的土壤,比较猪粪生物质炭和相应量的猪粪厩肥对土壤肥力及小白菜产量与品质的影响,以期为畜禽粪便的炭化处理和高效资源化循环利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试猪粪厩肥采自南京市六合区某集约型养猪场,使用前经自然风干后粉碎过10目筛备用。用小型炭化炉将部分猪粪厩肥在缺氧、450℃高温条件下裂解4h,冷却后取出,过20目筛备用。猪粪厩肥的炭化产率为49.8%。

盆栽试验土壤为砂姜黑土,采自山东省莱芜市郊区,为城市建设用地废弃地改造的蔬菜地。土壤pH 7.56,有机质含量 $6.55\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮含量 $0.47\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷含量 $1.66\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾含量 $118.01\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。供试土壤于室内自然风干,在挑去土壤中残留的植物根系、杂草种子和砂石后,压碎过5mm筛后混匀备用。盆栽试验小白菜品种选用上海青(*B.chinensis* L.),由南京市绿领种业有限公司提供,宜7月下旬至9月下旬作为秋菜栽培种植。

1.2 盆栽试验

试验共设置7个处理,猪粪炭(PMB)设置0.5%、1%和2%三个施用量水平,根据猪粪厩肥(PM)炭化得率49.8%,计算对应的猪粪厩肥施用量梯度1%、2%、4%三个施用量水平,以纯施化肥(CK)为对照,依据小白菜的最佳施肥比例 $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=1:0.35:0.6$ ^[18-19],化肥施用量为 $\text{N }150\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5 52.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $\text{K}_2\text{O }90\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,分别折算为相应量的尿素、过磷酸钙和硫酸钾。CK、猪粪炭和猪粪厩肥各处理均以等量化肥作基肥施入,小白菜生长期不再追肥,每个处理设4次重复。试验选用250mm×180mm(上口径×高)塑料盆,每盆装2kg风干土壤。将称好的土壤、肥料分别与猪粪炭、猪粪厩肥按设定用量混合均匀后,转入底部铺有网纱的塑料花盆中。播种前按田间最大持水量70%浇透水,放置24h后每盆播种20粒。待出苗1周后间苗,每盆保留生长健壮幼苗4株,将盆栽随机排列放置,每天变换盆栽的位置,以确保每盆得到均匀光照。

试验在南京农业大学温室大棚内进行,于2015

年8月20日种植,9月30日收获。温室内温度变化幅度23~30℃,每天进行日常的浇水管理与除虫工作。收获后,取样测定土壤的理化性质和植物的生理生化指标。

1.3 猪粪炭、猪粪厩肥、土壤基本理化性质与小白菜营养品质测定

猪粪炭、猪粪厩肥样品pH值的测定采用水浸提(生物质炭/去离子水=1/10, W/V)pH计法;有机碳含量的测定采用重铬酸钾氧化-外加热法;灰分含量的测定参照农业行业标准NY/T 1881.5—2010^[20];全氮、磷、钾含量的测定采用硫酸-过氧化氢消化法;碱解氮采用碱解扩散法;速效磷含量的测定采用NaHCO₃浸提-钼锑抗比色法;速效钾含量的测定采用乙酸铵浸提-火焰光度计法;猪粪炭及猪粪厩肥的比表面积是以氮气为吸附介质,采用V-Sorb 2800比表面积分析仪进行测定。

土壤全氮含量的测定采用凯氏定氮法;土壤有机质含量的测定采用重铬酸钾氧化-外热法;速效磷含量的测定采用0.5 mol·L⁻¹碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法;速效钾含量的测定采用乙酸铵浸提-火焰光度计法;土壤pH的测定采用2.5:1水土比浸提,pH计电位法。

在小白菜收获前一天测定小白菜的株高和叶面积。小白菜生物量测定采用经典质量法,收获时将小白菜紧贴土壤表层剪下,分别截取地上部植株样和地下部根系,冲洗干净,甩干附着水分后称取鲜重。将每盆随机选取的两株小白菜地上部植株样,和地下部根系一并置于烘箱中,105℃杀青30 min后,60℃烘干至恒重后称重,得到地上部生物量和地下部生物量,并计算其收获指数。收获指数由每盆地上部干重(g)除以地上部和地下部干重总和(g)得到。

小白菜维C测定采用2,6-二氯酚靛酚滴定法;小白菜可溶性糖采用蒽酮比色法;可溶性蛋白质采用考马斯亮蓝G-250比色法;硝酸盐含量采用水杨酸比色法。

氮素偏生产力(PFPN, g·g⁻¹)表示单位施氮量的作物产量,由地上部生物量鲜重(g)除以总施氮量(g)得到。

1.4 数据处理

采用SPSS 18.0统计软件进行方差分析(LSD法),处理之间的显著性分析均为P<0.05水平,平均值比较采用最小显著差异法(LSD)。

2 结果与分析

2.1 猪粪生物质炭的养分含量

猪粪生物质炭和猪粪厩肥的养分含量见表1。猪粪炭化后pH提高了0.5个单位,灰分含量提高了1.38倍,有机碳、全磷、全钾和速效钾含量较猪粪分别提高13.50%、79.6%、90.66%和43.38%,而全氮、碱解氮和速效磷含量降低了17.28%、96.14%和30.19%。

2.2 猪粪生物质炭对土壤养分的影响

施用猪粪炭和猪粪厩肥对土壤养分的影响见表2。与CK相比,施用猪粪炭和猪粪厩肥可明显提高土壤有机质、全氮、速效磷和速效钾含量,且猪粪厩肥比猪粪炭增加的幅度要高。施用1%、2%和4%猪粪厩肥处理的土壤有机质含量比施用相应量的猪粪炭处理分别提高16.19%、16.94%和43.54%,土壤全氮含量较施用相应量的猪粪炭处理显著提高12.70%、27.27%和45.21%,土壤速效钾含量显著提高7.91%、21.37%和15.36%。2%和4%的猪粪厩肥处理土壤速效磷含量较施用相应量猪粪炭处理提高25.93%和17.10%,而施用0.5%猪粪炭和1%猪粪厩肥处理间没

表2 猪粪炭和猪粪厩肥对土壤养分含量的影响

Table 2 Effects of swine manure and its biochar on soil nutrient content

处理	有机质 OM/ g·kg ⁻¹	全氮 TN/ g·kg ⁻¹	速效磷 AP/ mg·kg ⁻¹	速效钾 AK/ mg·kg ⁻¹
CK	7.67±0.15g	0.61±0.03e	3.00±0.38f	133.99±4.52d
0.5%PMB	10.50±0.53f	0.63±0.01de	10.07±0.33e	139.63±4.43d
1%PM	12.20±0.86e	0.71±0.03c	11.52±0.41e	150.68±6.15c
1%PMB	13.64±0.77d	0.66±0.01d	18.24±1.68d	152.91±6.24c
2%PM	15.95±0.25c	0.84±0.03b	22.97±1.61c	185.58±4.58b
2%PMB	20.21±0.47b	0.73±0.04c	46.97±1.89b	190.50±10.86b
4%PM	29.01±0.91a	1.06±0.03a	55.00±3.28a	219.77±6.31a

注:表中数据为平均值±标准差,同列数据后不同小写字母表示处理间差异达显著水平(P<0.05)。下同。

表1 猪粪炭和猪粪厩肥的养分含量

Table 1 Content of nutrients in swine manure and its biochar

材料	pH	有机碳 OC/ g·kg ⁻¹	灰分 Ash/%	比表面积 BET/ m ² ·g ⁻¹	全氮 TN/ g·kg ⁻¹	全磷 TP/ g·kg ⁻¹	全钾 TK/ g·kg ⁻¹	碱解氮 AN/ mg·kg ⁻¹	速效磷 AP/ mg·kg ⁻¹	速效钾 AK/ g·kg ⁻¹
猪粪炭	9.35	425.18	43.50	194.04	17.19	20.58	15.92	133.00	166.40	10.18
猪粪厩肥	8.85	374.62	18.25	38.40	20.78	11.46	8.35	3 441.2	264.94	7.10

有显著差异。

2.3 猪粪生物质炭对小白菜生长的影响

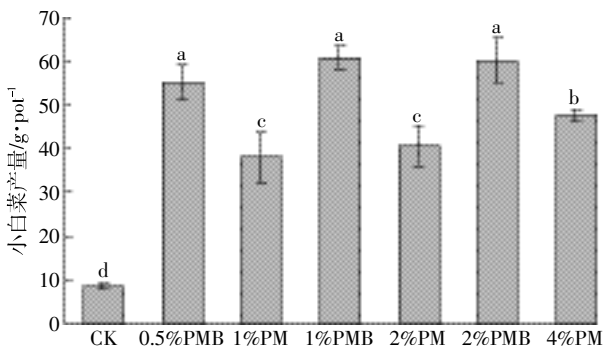
2.3.1 对小白菜产量的影响

如图1所示,不同处理间小白菜的产量具有明显的差异。猪粪炭处理的小白菜产量是化肥处理的5.39~6.06倍。施用0.5%、1%的猪粪炭处理比施用1%、2%的猪粪厩肥处理小白菜产量显著提高了44.63%、49.98%;2%猪粪炭处理比4%猪粪厩肥处理的小白菜增产26.50%。

猪粪炭、猪粪厩肥对小白菜氮素偏生产力的影响见图2。随着猪粪炭、猪粪厩肥施用量的增加,小白菜氮素偏生产力呈现出递减的趋势。与CK处理相比,猪粪炭显著提高了小白菜氮素偏生产力,增幅为112.12%~307.31%,而猪粪厩肥仅在1%的施用水平下显著高于CK处理,增幅达85.24%。猪粪炭处理小白菜氮素偏生产力较相应量的猪粪厩肥处理显著提高119.32%~162.81%。

2.3.2 对小白菜氮磷钾吸收量的影响

猪粪炭、猪粪厩肥对小白菜氮磷钾吸收量的影响



图中不同小写字母表示处理间差异达显著水平($P < 0.05$)。下同

图1 猪粪炭和猪粪厩肥对小白菜产量的影响

Figure 1 Effects of swine manure and its biochar on cabbage yield

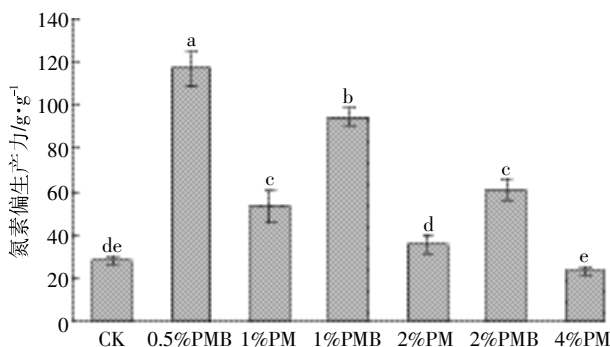


图2 猪粪炭和猪粪厩肥对小白菜氮素偏生产力的影响

Figure 2 Effects of swine manure and its biochar on partial factor productivity of nitrogen

见表3。随着猪粪炭、猪粪厩肥施用量的增加,小白菜氮磷钾吸收量均表现出增加的趋势。与CK相比,猪粪炭和猪粪厩肥处理的小白菜全氮吸收量分别增加396.28%~552.89%和353.76%~390.77%,且1%、2%猪粪炭处理较相应量猪粪厩肥处理(2%、4%)的小白菜全氮吸收量显著提高27.05%、33.03%。猪粪炭和猪粪厩肥处理的小白菜全磷吸收量较CK分别增加707.03%~1408.26%和688.37%~1128.12%,且1%、2%猪粪炭处理较相应量猪粪厩肥处理(2%、4%)的小白菜全磷吸收量显著提高24.77%、22.81%;猪粪炭和猪粪厩肥处理的小白菜全钾吸收量较CK分别增加300.93%~549.69%和235.58%~494.40%。猪粪炭和猪粪厩肥处理的小白菜全钾吸收量间无显著差异。

表3 猪粪炭和猪粪厩肥处理小白菜氮磷钾的吸收量

Table 3 Uptake of nutrients by Chinese cabbage in swine manure and its biochar treatments

处理	全氮吸收量 TN/ mg·pot ⁻¹	全磷吸收量 TP/ mg·pot ⁻¹	全钾吸收量 TK/ mg·pot ⁻¹
CK	26.32±1.59d	3.27±0.22e	9.64±1.60f
0.5%PMB	130.62±12.05c	26.39±1.30d	38.65±2.54de
1%PM	119.43±15.91c	25.78±4.13d	32.35±7.36e
1%PMB	152.28±5.35b	43.93±6.48ab	50.09±4.13bc
2%PM	119.86±13.47c	35.21±4.66c	42.00±2.83cd
2%PMB	171.84±11.55a	49.32±8.76a	62.63±9.97a
4%PM	129.17±1.99c	40.16±1.47bc	57.30±4.91ab

2.3.3 对小白菜农艺性状的影响

不同处理对小白菜农艺性状影响的结果见表4。随着猪粪炭、猪粪厩肥施用量的增加,小白菜叶面积、地上部干重均表现出增加的趋势。与CK相比,猪粪炭和猪粪厩肥处理下小白菜平均株高增加76.51%~78.89%和56.49%~70.56%,且0.5%、1%和2%的猪粪炭处理小白菜平均株高较相应量的猪粪厩肥处理显著提高14.31%、12.38%和3.49%。与CK相比,猪粪炭和猪粪厩肥处理下小白菜叶面积增加幅度为374.13%~450.36%和292.37%~353.21%,且0.5%、1%和2%的猪粪炭处理下小白菜叶面积较相应量的猪粪厩肥处理显著提高了20.84%、21.58%、21.44%。

猪粪炭、猪粪厩肥处理下小白菜地上部干重较CK处理增加了3.94~5.02倍和2.74~3.20倍,且0.5%、1%和2%的猪粪炭处理下小白菜地上部干重较相应量的猪粪厩肥处理显著提高了32.18%、43.80%、43.17%。猪粪炭、猪粪厩肥处理下小白菜地下部干重比化肥处

表4 猪粪炭和猪粪厩肥对小白菜植株农艺性状的影响

Table 4 Effects of swine manure and its biochar on plant agronomic properties of Chinese cabbage

处理	株高/cm	叶面积/cm ² ·pot ⁻¹	地上部干重/g·pot ⁻¹	地下部干重/g·pot ⁻¹	收获指数
CK	10.09±0.67c	139.11±16.51e	0.54±0.02d	0.03±0.01d	0.94±0.01a
0.5%PMB	18.05±0.67a	659.56±55.81bc	2.67±0.27b	0.14±0.01a	0.95±0.00a
1%PM	15.79±1.20b	545.82±83.80d	2.02±0.15c	0.08±0.02c	0.96±0.01a
1%PMB	17.98±0.48a	743.85±78.37ab	3.02±0.12a	0.13±0.03a	0.96±0.01a
2%PM	15.83±0.88b	583.36±18.67cd	2.10±0.15c	0.09±0.01c	0.96±0.00a
2%PMB	17.81±0.58a	765.60±86.64a	3.25±0.15a	0.11±0.01ab	0.96±0.00a
4%PM	17.21±0.71a	630.46±50.66cd	2.27±0.09c	0.11±0.01bc	0.96±0.00a

理增加了 2.67~3.67 倍和 1.67~2.67 倍,0.5%和 1%的猪粪炭处理小白菜地下部干重较相应量的猪粪厩肥处理显著提高了 75.00%和 44.44%。

2.3.4 对小白菜品质的影响

不同处理对小白菜品质指标的影响如表 5 所示。与 CK 和猪粪厩肥处理相比,施用相应量的猪粪炭可使小白菜可溶性蛋白质含量显著增加,增加幅度分别为 57.58%~88.87%和 33.11%~42.93%,而猪粪厩肥仅在 4%的施用水平下显著高于化肥处理,增幅达 41.65%。施用相应量的猪粪炭可显著提高小白菜维 C 含量,比化肥和猪粪厩肥处理分别提高 50.93%~71.33%和 15.16%~46.06%,而猪粪厩肥仅在 2%的施用水平下显著高于化肥处理,增幅达 48.78%。施加 0.5%和 2%猪粪炭显著降低了小白菜硝酸盐含量,与化肥和猪粪厩肥处理相比,分别降低 20.67%~22.08%和 17.80%~22.08%。0.5%的猪粪炭可使小白菜可溶性糖含量较化肥处理显著增加 30.56%,而施加 4%的猪粪厩肥使小白菜可溶性糖含量降低 17.36%,其他处理间没有显著差异。

3 讨论

猪粪炭和猪粪厩肥的养分含量不同(表 1),按照

表 5 猪粪炭和猪粪厩肥对小白菜品质的影响

Table 5 Effects of swine manure and its biochar on quality of

Chinese cabbage

处理	可溶性蛋白质/ g·kg ⁻¹	可溶性糖/ g·kg ⁻¹	维 C/ mg·100g ⁻¹	硝酸盐/ mg·kg ⁻¹
CK	5.21±0.35d	1.44±0.16bc	40.53±3.16b	147.19±2.80ab
0.5%PMB	8.12±0.55ab	1.88±0.30a	61.17±9.94a	115.65±11.00c
1%PM	6.10±1.55cd	1.65±0.14ab	49.15±8.42b	140.70±17.70b
1%PMB	8.79±1.87ab	1.73±0.23ab	69.44±7.81a	131.08±6.13bc
2%PM	6.15±0.68cd	1.60±0.25ab	60.3±4.88a	165.90±2.56a
2%PMB	9.84±1.37a	1.67±0.14ab	64.12±9.41a	116.77±19.04c
4%PM	7.38±0.85bc	1.19±0.24c	43.90±5.68b	149.86±13.12ab

猪粪厩肥的得炭率 49.8%来计算,猪粪厩肥所带入土壤中的磷、钾含量与相应量的猪粪炭基本接近,而 1%、2%、4%猪粪厩肥带入土壤的有机碳比对应量猪粪炭(0.5%、1%、2%)平均提高 76.22%,带入的氮量是对应量猪粪炭(0.5%、1%、2%)的 2.42 倍。而研究结果显示,猪粪炭对小白菜产量的提高幅度显著高于猪粪厩肥,并且小白菜的地下部生物量、株高和叶面积均高于猪粪厩肥。生物质炭可提高作物的产量已有许多研究报道^[21-23]。生物质炭对大田粮食作物和蔬菜作物均有不同幅度的增产效应。张万杰等^[24]发现生物质炭与氮肥配施可提高菠菜产量 6.6%~57.3%。这一方面可能与生物质炭的有机物质组成有关,Lou 等^[25]研究表明,喷施生物质炭热水浸提液能显著提高小白菜的产量和品质,可能是因为生物质炭中的可溶性有机碳 90%以上为亲水性有机碳,主要包含腐殖质、小分子中性物质及小分子酸等物质,其中腐殖质含量组分最高,约占 60%,对作物的生长有显著的促进效应。另一方面可能是由于生物质炭中富含多种矿物质,为作物生长提供了丰富的矿质养分。Bird 等^[26]研究表明,在 300~500 °C 下制备的海藻炭具有灰分、N 及可提取的 P、K、Ca、Mg 等无机养分。Major 等^[27]研究表明,在哥伦比亚热带草原氧化土中施用生物质炭,除第 1 年外,后 3 年玉米产量连续提高,且玉米增产与玉米吸收的钙、镁含量呈显著正相关关系。猪粪被炭化后灰分含量相对较高,施入土壤后,可提供相当量的盐基离子如钾、钙、钠、镁、硅等离子以满足作物生长的需要^[28],从而进一步提高作物产量。

此外,本研究结果表明,猪粪生物质炭促进小白菜地下部的生长,可能也是提高小白菜产量的又一重要因素。生物质炭可改善土壤物理性状,促进作物根系生长。李玉梅等^[29]通过桶柱和盆栽试验发现施加生物质炭可降低土壤容重、调节土壤孔隙特性,为作物根系生长提供了良好的伸展空间,从而促进生物量

的增加。邓丛静等^[30]通过小青菜研究试验发现,施用生物质炭可降低土壤容重,增加土壤毛细管孔隙度、总孔隙度、土壤最大持水量、田间持水量和有效水含量。生物质炭表面还带有羟基、酚羟基、羧基等丰富的官能团^[31],既可提高土壤对水分和养分的固持能力,也可提高土壤供给养分的能力^[32]。本研究表明,猪粪炭较猪粪厩肥显著提高了小白菜氮素偏生产力。这可能是由于猪粪被炭化后拥有更大的比表面积和孔隙度,提高了对土壤中氮素的吸持,而被吸持的氮素又可被缓慢释放出来^[33],在作物的生长过程中可持续提供养分,从而提高作物的氮素利用率和产量。

猪粪炭与猪粪厩肥相比,可显著降低小白菜可食用部分硝酸盐含量。一方面因为植物体内硝酸盐含量的变化与土壤硝态氮、铵态氮含量有关。张登晓等^[19]研究表明植物体内硝酸盐含量与土壤硝态氮和铵态氮含量呈正相关关系,添加生物质炭与对照相比降低土壤中铵态氮和硝态氮含量分别达60%和77%以上。一般情况下,植物在氮素供应过剩时以超过自身需要的速度吸收硝态氮,并造成硝态氮的积累^[34]。而猪粪炭本身含有较大的孔隙结构和较多的表面官能团,能够吸附土壤中的氮素,较好地协调土壤氮素的保蓄和供给,减少土壤氮素对小白菜植株的奢侈供应,从而减少了由过多的速效氮肥引起小白菜植株中硝酸盐的累积。另一方面植物体内硝酸盐含量的变化还可能与土壤C/N有关。刘玉学等^[35]研究发现施用 $40\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 竹炭和秸秆炭可使小青菜硝酸盐含量分别降低15.0%和16.4%,可能与生物炭的添加提高了土壤C/N,导致土壤中有效性氮素含量降低,进而引起小青菜硝酸盐含量降低有关。小白菜可食用部分维C、可溶性蛋白和可溶性糖含量均为蔬菜品质的重要指标,施用猪粪炭可显著提高小白菜维C和可溶性蛋白质含量。马嘉伟等^[36]研究结果表明,竹炭显著改善青菜作物的营养状况,增加青菜作物产量,同时植株维生素C质量分数得到显著提高。维生素C的形成可能与钾肥的施用有关,钾作为酶的激活剂,显著影响氮的代谢^[37],适宜的钾、氮配施能有效提高蔬菜维生素C含量^[38]。虽然本研究结果也表明猪粪炭和猪粪厩肥中氮素和钾素的含量存在一定的差异,但生物质炭对小白菜维C、可溶性蛋白和可溶性糖含量影响的机理还有待进一步深入研究。

4 结论

猪粪热裂解炭化后灰分、有机碳、全磷、全钾和速

效钾的含量有所提高,而全氮、碱解氮和速效磷含量有所降低。施用猪粪生物质炭显著增加了土壤有机质、全氮、速效磷和速效钾的含量,但增加幅度低于对应量的猪粪厩肥处理。猪粪炭较相应量的猪粪厩肥显著增加小白菜产量、叶面积、地下部生物量和氮素偏生产力。猪粪炭可提高小白菜可溶性蛋白质含量和维C含量,显著降低小白菜硝酸盐含量,在一定程度上改善了小白菜品质。

因此,将畜禽粪便热裂解制成生物质炭用于农业生产是养殖业废弃物处理和资源化利用的有效途径之一。

参考文献:

- [1] 朱宁,马骥. 中国畜禽粪便产生量的变动特征及未来发展展望[J]. 农业生产展望, 2014, 10(1):46-48.
ZHU Ning, MA Ji. Changes and outlook about production amount of livestock and poultry manure in China[J]. *Agricultural Production Prospect*, 2014, 10(1):46-48.
- [2] 张振都,吴景贵. 畜禽粪便的资源化利用研究进展[J]. 广东农业科学, 2010, 37(1):135-138.
ZHANG Zhen-du, WU Jing-gui. Progress of the researches on resource utilization of livestock and poultry manure[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2010, 37(1):135-138.
- [3] 朱凤连,马友华,周静,等. 我国畜禽粪便污染和利用现状分析[J]. 安徽农学通报, 2008, 14(13):48-50.
ZHU Feng-lian, MA You-hua, ZHOU Jing, et al. Analysis on present situation of pollution and utilization of animal excrement in China[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2008, 14(13):48-50.
- [4] Lehmann J. A handful of carbon[J]. *Nature*, 2007, 447(7141):143-144.
- [5] Ennis C J, Evans A G, Islam M, et al. Biochar: Carbon sequestration, land remediation, and impacts on soil microbiology[J]. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2012, 42(22):2311-2364.
- [6] 王立华,林琦. 热解温度对畜禽粪便制备的生物质炭性质的影响[J]. 浙江大学学报, 2014, 41(2):185-190.
WANG Li-hua, LIN Qi. Characterization on of poultry and swine manure-derived biochar as affected by pyrolysis temperature[J]. *Journal of Zhejiang University*, 2014, 41(2):185-190.
- [7] Joseph S D, Camps A M, Lin Y, et al. An investigation into the reactions of biochar in soil[J]. *Soil Research*, 2010, 48(7):501-515.
- [8] Steiner C, Das K C, Melear N, et al. Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2010, 39(4):1236-1242.
- [9] Liang B, Lehmann J, Solomon D, et al. Black carbon increases cation exchange capacity in soils[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 70(5):1719-1730.
- [10] Anderson C R, Condon L M, Clough T J, et al. Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus[J]. *Pedobiologia*, 2011, 54(5):309-320.

- [11] 王 典. 生物炭对不同土壤上油/棉作物生长及养分效率的影响[D]. 长沙: 华中农业大学, 2011.
WANG Dian. Effect of biochar on rape and cotton growth and nutrient efficiency on different soils[D]. Changsha: Huazhong Agriculture University, 2011.
- [12] 王维锦, 李 彬, 李恋卿, 等. 低温热裂解处理对猪粪中重金属的钝化效应[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(5): 994-1000.
WANG Wei-jin, LI Bin, LI Lian-qing, et al. Influence of low-temperature pyrolysis treatment on bioavailability of heavy metals in pig manure[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2015, 34(5): 994-1000.
- [13] Amir H, Javier M G, Isabel M, et al. Chicken manure biochar as liming and nutrient source for acid Appalachian soil[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2012, 41(4): 1096-1106.
- [14] Keri B C, Patrick G H, Minor U, et al. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar[J]. *Bioresour Technol*, 2012, 107(2): 419-428.
- [15] 黄 婷, 倪杰强, 许文霞, 等. 三种生物炭对北疆棉田土壤氮素平衡及棉花产量的影响[J]. 棉花学报, 2015, 27(6): 595-600.
HUNG Ting, NI Jie-qiang, XU Wen-xia, et al. Effects of addition of three types of biochar on the soil nitrogen balance and cotton yield[J]. *Cotton Science*, 2015, 27(6): 595-600.
- [16] 张 瑞, 杨 昊, 张芙蓉, 等. 生物竹炭改良崇明滩涂盐渍化土壤的试验研究[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(12): 2404-2411.
ZHANG Rui, YANG Hao, ZHANG Fu-rong, et al. Effects of bamboo biochar on coastal saline soils of Chongming island, Shanghai[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(12): 2404-2411.
- [17] 俞映惊, 薛利红, 杨林章, 等. 生物炭添加对酸化土壤中小白菜氮素利用的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(4): 759-767.
YU Ying-liang, XUE Li-hong, YANG Lin-zhang, et al. Effect of biochar application on pakchoi (*Brassica chinensis* L.) utilizing nitrogen in acid soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52(4): 759-767.
- [18] 刘德友. 小白菜氮肥总量控制试验[J]. 现代农业科技, 2013, 15: 84-86.
LIU De-you. Effect of different nitrogen fertilizers on Chinese cabbage[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2013, 15: 84-86.
- [19] 张登晓, 周惠民, 潘根兴, 等. 城市园林废弃物生物炭对小白菜生长、硝酸盐含量及氮素利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6): 1569-1576.
ZHANG Deng-xiao, ZHOU Hui-min, PAN Gen-xing, et al. Effect of municipal green waste biochar addition on the growth, nitrate content and nitrogen use efficiency of greenhouse pakchoi[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20(6): 1569-1576.
- [20] 中华人民共和国农业部. NY/T1881. 5—2010 生物质固体成型燃料试验方法第5部分: 灰分[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
Ministry of Agriculture of PRC. NY/T 1881. 5—2010 Densified biofuel-test methods Part 5: Ash content[S]. Beijing: China Standards Press, 2010.
- [21] Glaser B, Balashov E, Haumai L, et al. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region[J]. *Organic Geochemistry*, 2000, 31(7/8): 669-678.
- [22] 黄 超, 刘丽君, 章明奎. 生物炭对红壤性质和黑麦草生长的影响[J]. 浙江大学学报, 2011, 37(4): 439-445.
HUANG Chao, LIU Li-jun, ZHANG Ming-kui. Effects of biochar on properties of red soil and ryegrass growth[J]. *Journal of Zhejiang University*, 2011, 37(4): 439-445.
- [23] 李 冬, 陈 蕾, 夏 阳, 等. 生物炭改良剂对小白菜生长及低质土壤氮磷利用的影响[J]. 环境科学学报, 2014, 34(9): 2384-2391.
LI Dong, CHEN Lei, XIA Yang, et al. The effects of biochar on growth and uptake of nitrogen and phosphorus for Chinese cabbage in poor quality soil in Ningxia[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2014, 34(9): 2384-2391.
- [24] 张万杰, 李志芳, 张庆忠, 等. 生物质炭和氮肥配施对菠菜产量和硝酸盐含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(10): 1946-1952.
ZHANG Wan-jie, LI Zhi-fang, ZHANG Qing-zhong, et al. Impacts of biochar and nitrogen fertilizer on spinach yield and tissue nitrate content from a pot experiment[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(10): 1946-1952.
- [25] Lou Y M, Joseph S, Pan G X, et al. Water extract from straw biochar used for plant growth promotion: An initial test[J]. *Bioresources*, 2016, 11(1): 249-266.
- [26] Bird M I, Wurster C M, Silva P H, et al. Algal biochar production and properties[J]. *Bioresour Technol*, 2010, 102(2): 1186-1191.
- [27] Major J, Rondon M, Molina D, et al. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol[J]. *Plant and Soil*, 2010, 333(1/2): 117-128.
- [28] Asai H, Samson B K, Stephan H M, et al. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos[J]. *Field Crops Research*, 2009, 111(1): 81-84.
- [29] 李玉梅, 王根林, 李欣洁, 等. 生物炭对土壤物理性状及异噁草松消减的影响[J]. 生态学杂志, 2014, 33(3): 729-734.
LI Yu-mei, WANG Gen-lin, LI Xin-jie, et al. Effects of biochar on soil physical properties and clomazone degradation[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(3): 729-734.
- [30] 邓从静, 邹积微, 张齐生, 等. 新型改良剂对土壤性质及小白菜生长的影响[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(4): 167-1815.
DENG Cong-jing, ZOU Ji-wei, ZHANG Qi-sheng, et al. Influence of new conditioner on soil physical and chemical properties and growth of Chinese cabbage[J]. *Science Technology and Engineering*, 2015, 15(4): 1671-1815.
- [31] 罗 煜, 赵立欣, 孟海波, 等. 不同温度下热裂解芒草生物炭的理化特征分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(13): 208-216.
LUO Yu, ZHAO Li-xin, MENG Hai-bo, et al. Physico-chemical characterization of biochars pyrolyzed from miscanthus under two different temperatures[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(13): 208-217.
- [32] 刘世杰, 窦 森. 黑碳对玉米生长和土壤养分吸收与淋失的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(1): 79-82.
LIU Shi-jie, DOU Sen. The effects of black carbon on growth of maize and the absorption and leaching of nutrients[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(1): 79-82.
- [33] 陈 琳, 乔志刚, 李恋卿, 等. 施用生物炭基肥对水稻产量及氮素利用的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29(5): 671-675.

- CHEN Lin, QIAO Zhi-gang, LI Lian-qing, et al. Effects of biochar-based fertilizers on rice yield and nitrogen use efficiency[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2013, 29(5):671-675.
- [34] 许学宏, 王红慧. 再论施肥对农产品品质影响研究[J]. 耕作与栽培, 2003, 2:55-55.
- XU Xue-hong, WANG Hong-hui. Effect of different fertilization on quality of agricultural products[J]. *Cultivation and Growth*, 2003, 2:55-55.
- [35] 刘玉学, 王耀锋, 吕豪豪, 等. 不同稻秆炭和竹炭施用水平对小菜产量、品质以及土壤理化性质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(6):1438-1444.
- LIU Yu-xue, WANG Yao-feng, LÜ Hao-hao, et al. Effect of different application rates of rice straw biochar and bamboo biochar on yield and quality of greengrocery and soil properties (*Brassica chinensis*) [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2013, 19(6):1438-1444.
- [36] 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 A&F University*, 2013, 30(5):655-661.
- [37] 王凤婷, 艾希珍. 钾与蔬菜品质的相关性研究进展[J]. 西北农业学报, 2004, 13(4):183-186.
- WANG Feng-ting, AI Xi-zhen. Research progress on relationship between potassium and vegetable quality[J]. *Acta Agric Bor-Occid Sin*, 2004, 13(4):183-186.
- [38] 李录久, 金继运, 陈防, 等. 钾、氮配施对生姜产量和品质及钾素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(3):643-648.
- LI Lu-jiu, JIN Ji-yun, CHEN Fang, et al. Effect of combined K and N application on yield, qualities and K uptake of ginger[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(3):643-648.



中国生态系统保育与生态建设

李文华 等 编著

我国自然环境复杂,生态系统类型多样,在经济高速发展和社会变化剧烈的背景下,出现了极其复杂的经济生态社会复合关系,如何妥善地处理这一关系,从而有效地实现我国的可持续发展,是我们面临的重大课题。

本书基于生态系统保育的相关理论,对我国重要的陆地生态系统的保育与建设、相关生态建设实践的总结和生态产业发展等重要问题进行了全面深入的探讨,这对我国的生态文明建设和生态产业发展都将具有一定的实践指导价值。

※书号:9787122253941

※定 价:268.0 元

※开本:16

※出版日期:2016年9月

如需更多图书信息,请登录 www.cip.com.cn 服务电话:010-64518888,64518800(销售中心)

网上购书可登录化学工业出版社天猫旗舰店:<http://hxgyebs.tmall.com>

邮购地址:(100011)北京市东城区青年湖南街13号化学工业出版社 如要出版新著,请与编辑联系,联系电话:010-64519525。