

# Effect of Biochar on Physicochemical Properties of Heavy Metal Contaminated Soil and Spinach Growth

Yan Xu<sup>1,2,3,4</sup>, Yangjie Lu<sup>1,2,3,4</sup>, Yangyang Liu<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, The Ministry of Land and Resources of China, Xi'an Shaanxi

<sup>2</sup>ShaanXi Provincial Land Engineering Construction Group, Xi'an Shaanxi

<sup>3</sup>Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group, Xi'an Shaanxi

<sup>4</sup>Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi  
Email: 1213349323@qq.com

Received: Jan. 2<sup>nd</sup>, 2019; accepted: Jan. 21<sup>st</sup>, 2019; published: Jan. 28<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

In this paper, the pot experiment was conducted to study the effect of fruit biochar and swine biochar on the physicochemical properties of heavy metal contaminated soil and spinach growth in mining areas at the biochar concentration of 0, 5% and 10% (in terms of dry soil). The results showed that after adding the fruit biochar and swine biochar to the soil, the pH of G5, G10, Z5, and Z10 treatments increased by 0.02, 0.05, 0.04, and 0.08 units respectively, compared with the CK group. The available potassium content of soil and the potassium absorbed by spinach increased with the increase of the two biochar applications, while the available phosphorus content of soil and the phosphorus absorbed by spinach decreased slightly with the increase of the two biochar applications. Compared with fruit biochar, swine biochar significantly increased the available potassium and available phosphorus in the soil. After adding biochars, the fresh weight and plant height of spinach also increased, but it was not positively correlated with the application rates, and it was related to the physical properties of the soil and the light, temperature and humidity conditions of the spinach growth. On the whole, the application effect of swine biochar in this experiment was better than that of fruit biochar, and the biochar concentration of 10% was better.

## Keywords

Heavy Metal Polluted Soil, Fruit Biochar, Swine Biochar, Soil Physicochemical Properties, Spinach

---

# 生物炭对重金属污染土壤理化性质及菠菜生长的影响

徐艳<sup>1,2,3,4</sup>, 卢垟杰<sup>1,2,3,4</sup>, 刘洋洋<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup>国土资源部退化及未利用土地整治工程重点试验室, 陕西 西安

<sup>2</sup>陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

<sup>3</sup>陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

<sup>4</sup>陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

Email: 1213349323@qq.com

收稿日期: 2019年1月2日; 录用日期: 2019年1月21日; 发布日期: 2019年1月28日

## 摘要

通过盆栽试验, 研究果木炭与猪粪炭在0, 5%和10% (以风干土计)添加量下对矿区重金属污染土壤理化性质及菠菜生长的影响。结果表明: 在重金属污染土壤中添加5%和10%的果木炭(G5, G10)和猪粪炭后(Z5, Z10), 土壤pH较CK组(不添加生物炭)分别提高了0.02、0.05、0.04和0.08个单位。速效钾含量及菠菜吸钾量随两种生物炭施用量的增加而增加, 而有效磷含量及菠菜吸磷量随两种生物炭施用量的增加略有下降。相较果木炭, 猪粪炭对重金属污染土壤的速效钾和有效磷的提升更为显著。添加生物炭后, 菠菜鲜重与株高也有所增加, 但与施用量不呈正相关, 与供试土壤物理性状及菠菜生长所处的光照、温度及湿度条件等有关。综合来看, 本试验中添加猪粪炭的施用效果优于果木炭, 且10%的用量效果较佳。

## 关键词

重金属污染土, 果木炭, 猪粪炭, 土壤理化性质, 菠菜

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

陕西省潼关金矿区是上世纪 80~90 年代中后期我国矿业秩序十分混乱的典型矿区, 区内尾矿覆盖率高且堆积成山, 水、土、空气中含有大量炼金作坊产生的有害物质[1] [2]。尾矿周边农田土壤 Hg, Pb, Cd, Cu, Zn 等污染严重[3] [4] [5]。国内外已有研究表明[6] [7], 生物炭来源广成本低, 具多孔结构、较大的比表面积和丰富的表面官能团, 对重金属污染物的吸附能力较强, 且叶菜类菠菜对重金属吸附效果较好[8] [9] [10]。目前关于稻壳炭、秸秆炭、竹炭对土壤理化性质的研究较多[11] [12] [13], 而关于果木炭与猪粪炭对矿区重金属污染土壤的研究较少, 且菠菜在此种重金属污染土壤中的生长状况也不清楚。本文选用叶菜类菠菜为供试植物, 研究潼关金矿区重金属污染土壤中添加不同比例(质量比为 5%和 10%)果木炭与猪粪炭对菠菜生长及土壤理化性质的影响, 为生物炭在矿区尾矿附近重金属污染农田土壤的修复治理提供借鉴。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 供试材料

供试果木炭购自陕西亿鑫生物能源科技开发有限公司, 以苹果树为原料烧制而成, pH 为 9.81, 其中 Cr、Ni 含量分别为风险筛选值的 1.31 和 1.39 倍, 轻微超标。供试猪粪炭购自青岛贝尔卡有限责任公司,

是对猪粪进行脱水除臭后,在缺氧、550℃高温下裂解 5 小时后冷却取出,炭化产率为 33.3%,pH 为 10.22,其中 Cu、Zn 含量分别为风险筛选值的 2.2 和 2.1 倍。供试土壤为潼关金矿区堆积尾矿与基本农田耕层土壤(0~30 cm)按质量比 1:2 复配的土壤, pH 为 8.22。根据《土壤环境质量标准》(试行) GB15618-2018,两种生物炭按照 5%和 10%百分比添加后,供试土壤 Hg 平均含量为风险管制值的 1.38 倍, Pb、Cd、Cu 平均含量分别为风险筛选值的 3.42、1.83 和 1.46 倍,为汞铅镉铜复合污染土壤。盆栽试验菠菜品种选用夏季大叶菠菜种。供试有机肥购自杨凌供销社,有机肥施用量为 1%。

## 2.2. 试验设计

本研究采用盆栽试验方法,设置了果木炭和猪粪炭 3 个生物炭施用水平,浓度分别为 0% (CK), 5% (G5 和 Z5)和 10% (G10 和 Z10,以风干土计),共 5 个处理组。2018 年 4 月 25 日将自然风干土壤除去石块、杂草、植物根系后过 5 mm 筛备用。试验选用 250 mm × 200 mm (上口径 × 高)塑料花盆,盆底铺有网纱。将供试土壤、有机肥及生物炭按设定比例混合均匀后装盆。每盆保持总重 2.5 kg,自然压实,各处理重复 3 次,共计 15 盆。

每盆点播菠菜种子 10 粒,待出苗 1 周后间苗,保留健壮幼苗 5 株。试验地点位于陕西地建土地工程技术研究院秦岭野外监测站日光温室内。于 2018 年 5 月 1 日播种,7 月 10 日收获,温室内温度变化为 25℃~35℃,每日适时浇灌,各处理其他管理措施与水平均保持一致。

## 2.3. 样品采集与测定

收获前测定菠菜株高,收获后采用质量法测定其鲜重。每盆内用直径 2 cm 小土钻取扰动土样,各取 4 钻,混合后风干研磨,分别过 2 mm、1 mm 和 0.149 mm 筛待测。土壤 pH 采用 DELTA 320 pH 计测定(水土比 2.5:1);速效钾含量采用 1 mol/L 乙酸铵浸提-火焰光度计法测定;有效磷含量采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定。重金属 Cr、Ni、Cu、Zn、Pb、Cd 采用 ICP-MS 来测定;Hg、As 用原子荧光法测定。

## 2.4. 数据统计

所有数据均采用 Excel 2010 软件计算平均值,采用 DPS 软件的 Duncan 法进行方差分析及显著性检验,并计算标准差。

# 3. 结果与分析

## 3.1. 生物炭对土壤 pH 的影响

菠菜种植前,供试土壤 pH 为 8.22,属于碱性土,添加两种生物炭后 pH 增加为 8.24~8.31。相较 CK 组,G5、G10、Z5、Z10 pH 分别提高了 0.02、0.05、0.04 和 0.08 个单位,pH 随两种生物炭添加浓度的增加略有增加。土壤酸碱性不仅取决于土壤胶体上吸附的氢离子和交换性铝离子,更取决于这两种致酸离子与盐基离子的相对比例[14]。可能由于供试土壤属于碱性土,与生物炭均具有较高的盐基离子,如  $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Na^+$ 、 $Mg^{2+}$ 等[15],因此添加生物炭对碱性土壤 pH 的影响并不显著(图 1)。

## 3.2. 生物炭对供试土壤有效磷和速效钾的影响

钾和磷是植物生长发育中必不可少的养分元素,对植物的生长、发育、代谢,抗逆等起重要作用[16]。土壤钾根据化学形态可分为矿物钾,非交换性钾、交换性钾和水溶性钾,按照养分有效性可分为无效钾、缓效钾和速效钾。其中交换性钾是速效钾的主要部分,水溶性钾是速效钾的小部分,可直接被植物吸收利用[17][18]。土壤中可被植物吸收的磷为有效磷,包括全部水溶性磷、部分吸附态及有机态磷[19]。研

究表明, 生物炭可通过改变磷的存在形态或影响土壤磷的吸附解析行为来影响磷的生物有效性[20]。

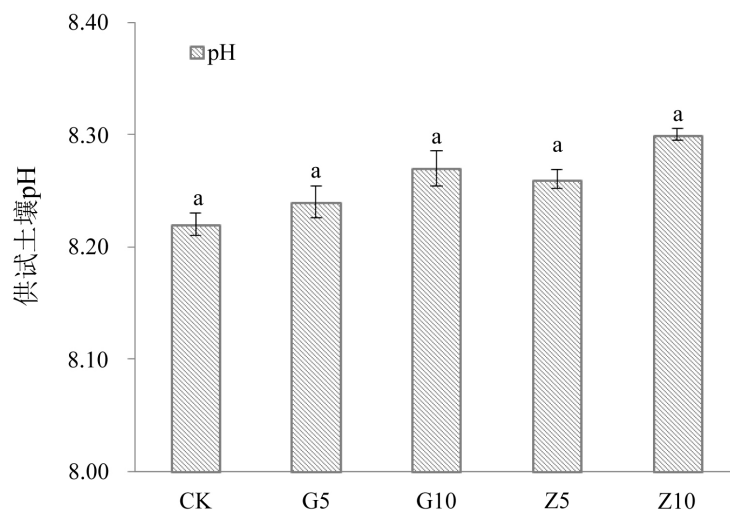


Figure 1. pH of tested soil before planting

图 1. 种植前供试土壤 pH

本试验中添加生物炭后供试土壤速效钾含量随生物炭施用量增加而显著增加, 尤其是猪粪炭添加后含量更明显。相比 CK 处理, G5、G10、Z5、Z10 处理组土壤速效钾含量分别增加了 0.21、0.68、0.27 和 0.77 倍(图 2)。添加生物炭后土壤有效磷含量也显著增加, 且猪粪炭对有效磷含量的增加更为显著。图 3 可知, 相较 CK 组, G5、G10、Z5、Z10 处理组土壤有效磷含量分别为对照组的 0.75、0.63、2.01 和 1.85 倍。与速效钾不同的是, 随着两种生物炭施用量增加, 有效磷含量反而略有下降。G10 与 Z10 分别比 G5 和 Z5 处理组土壤有效磷含量下降了 0.12 和 0.16 倍。

由于生物炭本身含大量 K, Na, Ca, Mg 等矿质元素和 N, P 等营养元素, 且猪粪炭的灰分含量明显高于木质炭的灰分含量[21], 阳离子交换能力和可交换离子量也相对较高[22], 因此猪粪炭对供试土壤速效钾和有效磷的影响更显著。有效磷含量并不随生物炭施用量增加而增加可能是因为添加生物炭后供试土壤 pH 增加, 促使土壤中磷酸钙沉淀增加进而降低了磷的有效性, 这与孙雪等的研究一致[23]。

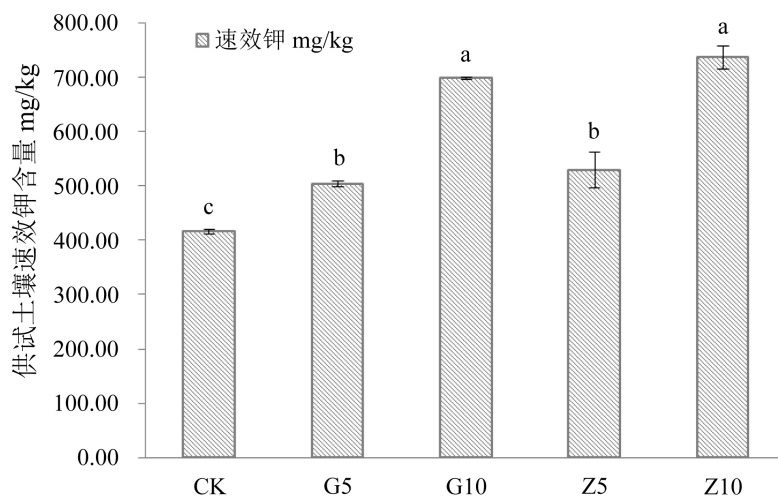


Figure 2. Available potassium of tested soil before planting

图 2. 种植前供试土壤速效钾含量

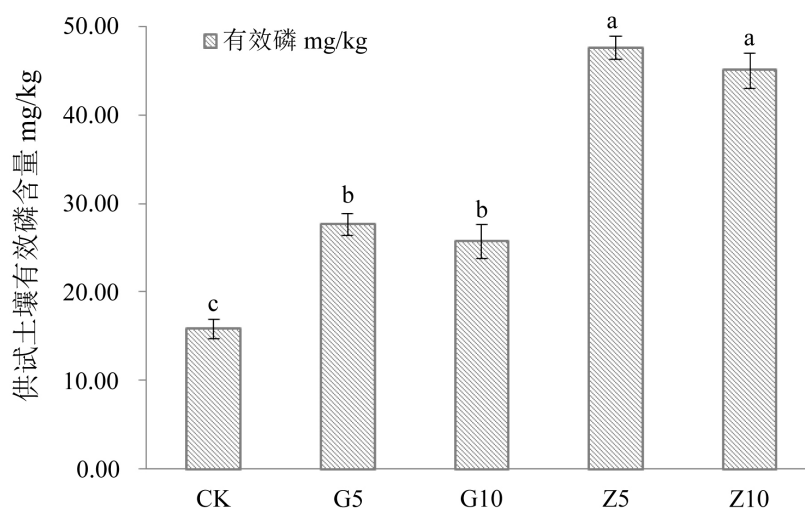


Figure 3. Available phosphorus of tested soil before planting  
图3. 种植前供试土壤有效磷含量

### 3.3. 添加生物炭后对菠菜生长状况的影响

#### 3.3.1. 对菠菜株高、鲜重的影响

本试验中添加生物炭后菠菜鲜重随生物炭施用量的增加而增加。如图4所示, 相比CK, G5、G10、Z5、Z10处理组菠菜鲜重分别增加了27.0%、72.6%、33.5%和37.4%。G5和G10对菠菜鲜重影响差异比较显著, 而Z5和Z10猪粪炭对其影响不大。此外, 添加生物炭后, 菠菜株高也增幅明显。如图5, 相较CK组, G5、G10、Z5、Z10处理组菠菜分别增加了77.8%、48.1%、37.0%和96.3%, 其中G5处理组菠菜株高略高于G10处理的株高。

生物炭对菠菜鲜重与株高的影响不仅与生物炭的种类及施用量有关, 还与其对植物及土壤养分的影响有关。一般, 生物炭对植物生长的促进作用与其自身性质、养分关系较小, 而与其对土壤理化性质如容重、紧实度、田间持水量、pH、氮磷钾等及微生物活动的改善作用有关[24] [25]。此外, 生物炭用量的多少也会影响作物生长, 用量过高时, 土壤有机碳含量增加, 颜色加深, 表层土壤吸热吸光, 导致菠菜根系不能很好向深部生长, 对养分吸收也受到抑制[26]。

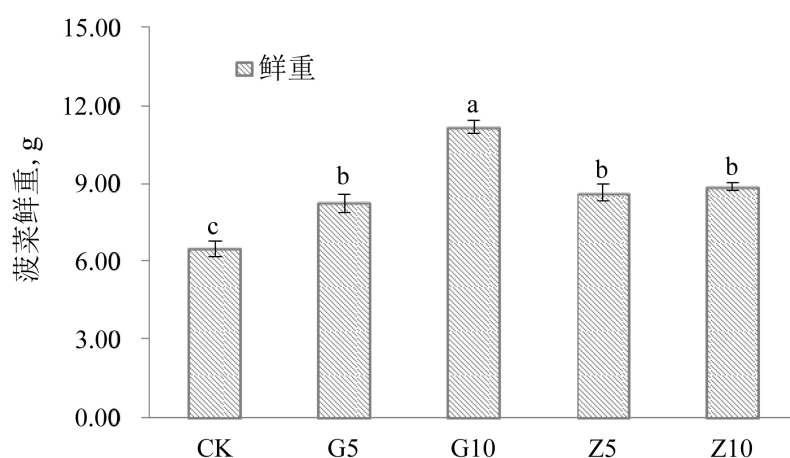
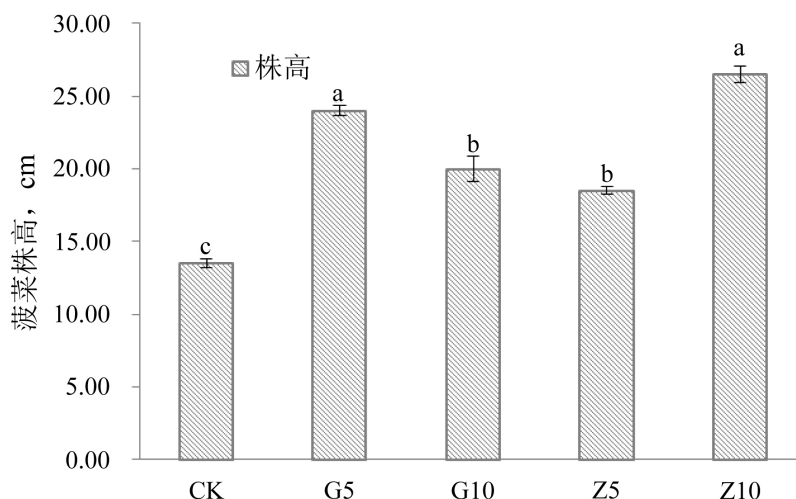


Figure 4. Fresh weight of spinach  
图4. 菠菜鲜重

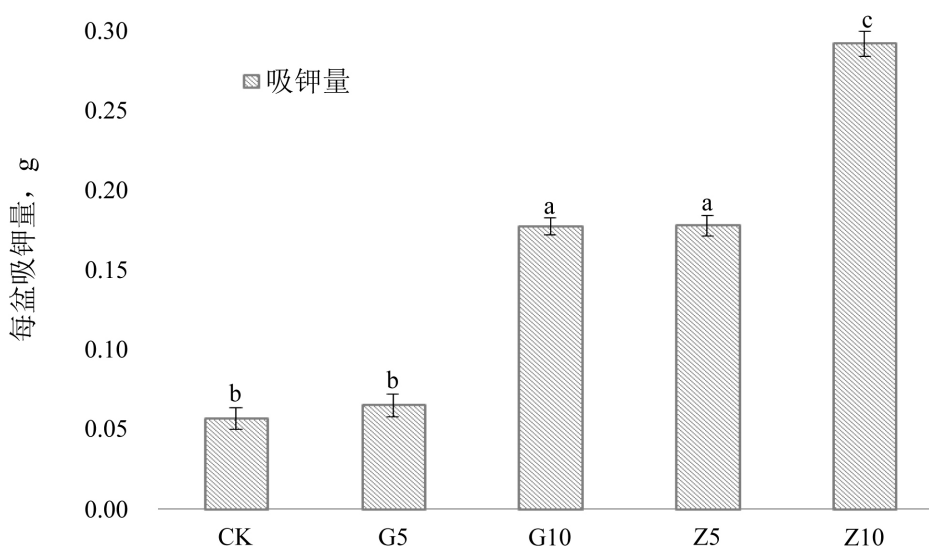


**Figure 5.** Plant height of spinach  
**图 5.** 菠菜株高

本试验中猪粪炭相较果木炭，对土壤 pH、速效钾和有效磷的改善作用比较显著，但对菠菜的增产效果并不显著。此外，菠菜株高也与生物炭用量相关性不大，这与土壤物理性状及菠菜生长所处的光照、温度及湿度条件等有关[27]。因此，尽管生物炭能够显著提高土壤养分含量等，但是不一定用量越多越好。综合来看，本试验中猪粪炭的施用效果优于果木炭，且 10% 的用量效果较佳。

### 3.3.2. 对菠菜有效磷和速效钾吸收量的影响

添加生物炭后菠菜对土壤速效钾和有效磷的吸附量均呈增加趋势。相比 CK 处理，G5、G10、Z5、Z10 处理组菠菜对速效钾的吸收量分别增加了 0.15、2.13、2.14 和 4.15 倍；G5 对菠菜吸收速效钾的效果不显著，而 Z10 效果最为显著(图 6)。相较果木炭，猪粪炭的添加促使菠菜吸收更多的速效钾养分。此外，相较 CK 组，G5、G10、Z5、Z10 处理组菠菜对有效磷的吸收量分别增加了 4.96、2.69、7.08 和 3.91 倍(如图 7)。菠菜对有效磷的吸收量随两种生物炭用量的增加反而减小。这与菠菜种植前土壤有效磷变化一致。



**Figure 6.** The adsorbing capacity of spinach to available potassium  
**图 6.** 菠菜对速效钾的吸附量

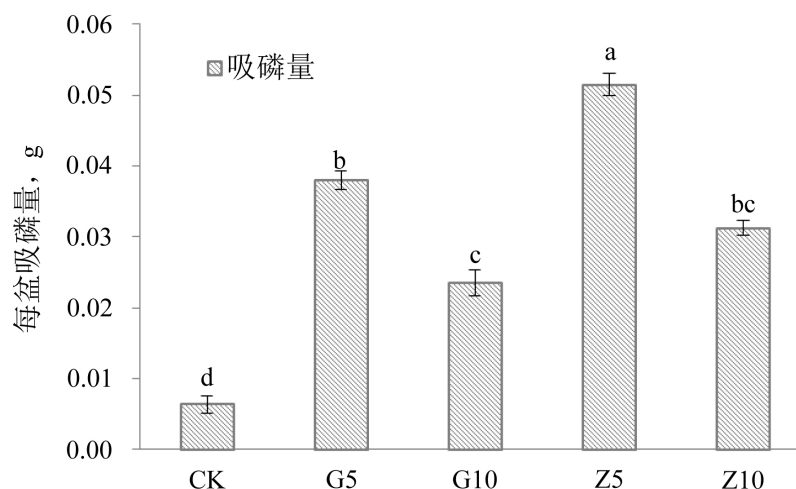


Figure 7. The adsorbing capacity of spinach to available phosphorus  
图 7. 菠菜对有效磷的吸附量

土壤中速效钾的释放与固定受粘土矿物类型，温度，pH，CEC，土壤水分含量，钾离子饱和度等因素的影响[28]。速效钾与缓效钾处于动态平衡中[14]。当生物炭添加到供试土壤后，颜色加深，土温升高，进而提高土壤的 pH 和 CEC；且生物炭较大的比表面积和孔隙有利于土壤吸附和保持更多水分[29] [30] [31]。在适度 pH、CEC 和水分条件下，钾离子未达到饱和时，土壤中速效钾含量持续增长，菠菜可吸收利用的钾也越多。

土壤中磷的有效性受磷酸酶活性、土壤电导率、灰分和 pH 值等多种因素影响[32]。土壤磷酸酶通过酶促作用提高有机磷的脱磷速度。有机磷化合物在各种胞外磷酸酶水解作用下才可转化为能被植物利用的有效磷[33] [34]。另外，土壤 pH 通过影响土壤溶液中的离子强度和种类而直接影响磷的有效性转化[35]。本试验中有效磷吸收量随生物炭的用量增加而略有下降，可能原因是生物炭的添加促使土壤灰分含量增加，pH 升高。当两种生物炭添加量为 5% 时，对有效磷的转化作用比较明显，而当施用量为 10% 时，过高的灰分及 pH 可能抑制了土壤本身磷酸酶的活性及磷酸根与  $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Al}^{3+}$  和  $\text{Ca}^{2+}$  等金属离子相互作用的强度[35]，导致有效磷转化减弱，进而导致菠菜可吸收利用的有效磷含量下降。

#### 4. 结论

在供试土壤中添加果木炭和猪粪炭后，G5、G10、Z5、Z10 处理组的 pH 较 CK 组分别提高了 0.02、0.05、0.04 和 0.08 个单位。速效钾含量及菠菜的吸钾量随两种生物炭施用量的增加而增加，而有效磷含量及菠菜的吸磷量随两种生物炭施用量的增加略有下降。相较果木炭，猪粪炭对供试土壤速效钾和有效磷的提升更为显著。添加生物炭后，菠菜鲜重与株高也有所增加，但与施用量不呈正相关，与供试土壤物理性状及菠菜生长所处的光照、温度及湿度条件等有关。综合来看，本试验中猪粪炭的施用效果优于果木炭，且 10% 的用量效果较佳。

#### 参考文献

- [1] 徐友宁, 徐冬寅, 张江华, 等. 矿产资源开发中矿山地质环境问题响应差异性研究——以陕西潼关、大柳塔及辽宁阜新矿区为例[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(1): 89-93.
- [2] 乔冈, 徐友宁, 陈华清, 等. 某金矿区浅层地下水重金属及氰化物污染评价[J]. 地质通报, 2015, 34(11): 2032-2035.
- [3] 王爽. 陕西省潼关县农田土壤及农作物重金属污染现状研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北农林科技大学,

- 2014.
- [4] 田恬. 土壤中水溶盐和重金属的垂向分布及吸附-解吸特征研究——以潼关金矿区不同地貌单元土壤为例[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2016.
- [5] 张蕊. 金矿尾矿场周边土壤与植被重金属污染现状研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安科技大学, 2011.
- [6] Sohi, S.P., Krull, E., Lopez-Capel, E. and Bol, R. (2010) A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil. *Advances in Agronomy*, **105**, 47-52. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9)
- [7] Cha, J.S., Park, S.H., Jung, S.C., et al. (2016) Production and Utilization of Biochar: A Review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **40**, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.06.002>
- [8] 刘芳, 刘世亮, 介晓磊, 等. 石灰性土壤中磷镉交互作用对菠菜生长及其吸收磷镉的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 21(4): 310-314.
- [9] 秦文淑, 黄雄飞, 陈晓燕, 等. 不同处理措施对 Cu 污染土壤中菠菜的特征影响[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(1): 17-21.
- [10] 崔宏莉, 解静芳, 杨彪, 等. 污灌与镉胁迫对菠菜几种抗氧化酶活性的影响[J]. 生态毒理学报, 2010, 2(5): 274-279.
- [11] Chen, Z., Fang, Y., Xu, Y., et al. (2012) Adsorption of Pb<sup>2+</sup> by Rice Straw Derived-Biochar and Its Influential Factors. *Acta Scientiae Circumstantiae*, **32**, 769-776.
- [12] 刘玉学, 王耀锋, 吕豪豪. 不同稻秆炭和竹炭施用水平对小青菜产量、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.
- [13] Chum, Y., Sheng, G., Chiou, C.T., et al. (2004) Compositions and Sorptive Properties of Crop Residue-Derived Chars. *Environmental Science & Technology*, **38**, 4649-4655. <https://doi.org/10.1021/es035034w>
- [14] 黄昌勇, 徐建明. 土壤学[M]. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [15] 张伟明. 生物炭的理化性质及其在作物生产上的应用[D]: [博士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.
- [16] 张千丰, 王光华. 生物炭理化性质及对土壤改良效果的研究进展[J]. 土壤与作物, 2012, 1(4): 219-226.
- [17] 孙雪. 鸡粪和猪粪生物质炭对土壤肥效及小白菜产量与品质的影响[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2016.
- [18] 姜敏, 汪霄, 张润花, 等. 生物炭对土壤不同形态钾素含量的影响及机制初探[J]. 土壤通报 2016, 47(6): 1433-1437.
- [19] 才吉卓玛. 生物炭对不同类型土壤中磷有效性的影响研究[D]: [硕士论文]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [20] 李仁英, 吴洪, 黄利东. 不同来源生物炭对土壤磷吸附解吸的影响[J]. 土壤通报, 2017, 48(6): 1399-1401.
- [21] Xu, G., Lv, Y., Sun, J., et al. (2012) Recent Advances in Biochar Applications in Agricultural Soils: Benefits and Environmental Implications. *Clear Soil, Air, Water*, **40**, 1093-1098. <https://doi.org/10.1002/clea.201100738>
- [22] 续晓云. 生物炭对无机污染物的吸附转化机制研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2015.
- [23] 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): 756-763.
- [24] Liu, Y., Liu, W., Wu, W., et al. (2009) Environmental Behavior and Effect of Biomass-Derived Black Carbon in Soil: A Review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **20**, 977-982.
- [25] Jun, M., Li, L., Wang, X., et al. (2013) Physicochemical Properties of Biochar Produced from Aerobically Composted Swine Manure and Its Potential Use as an Environmental Amendment. *Bioresource Technology*, **142**, 641-646. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.05.086>
- [26] 魏彬萌, 王益权, 李忠徽. 烟秆生物炭对砒砂岩与沙复配土壤理化性状及玉米生长的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(4): 217-220.
- [27] 陈心想. 生物炭对土壤性质、作物产量及养分吸收的影响[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [28] 辛泽鑫. 木炭对土壤作用机制及小麦生长的影响[D]: [硕士学位论文]. 临汾市: 山西师范大学, 2016.
- [29] Chen, B.L., Zhou, D.D. and Zhu, L.Z. (2008) Transitional Adsorption and Partition of Nonpolar and Polar Aromatic Contaminants by Biochars of Pine Needles with Different Pyrolytic Temperatures. *Environmental Science & Technology*, **42**, 5137-5143. <https://doi.org/10.1021/es8002684>
- [30] 王宏燕, 王晓晨, 张瑜洁, 等. 几种生物质热解炭基本理化性质比较[J]. 东北农业大学学报, 2016, 47(5): 83-90.
- [31] Singly, B., Singly, B.P. and Cowie, A.L. (2010) Characterisation and Evaluation of Biochars for Their Application as a Soil Amendment. *Soil Research*, **48**, 516-525. <https://doi.org/10.1071/SR10058>



- 
- [32] 王萌萌, 周启星. 生物炭的土壤环境效应及其机制研究[J]. 环境化学, 2013, 32(5): 768-772.
- [33] Nguyen Thi Huong. 生物质炭对西北地区土壤质量及作物产量的影响[D]: [博士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [34] 尚杰. 添加生物炭对壤土理化性质和作物生长的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [35] 王章鸿, 郭海艳, 沈飞, 等. 热解条件对生物炭性质和氮、磷吸附性能的影响[J]. 环境科学学报, 2015, 35(9): 2805-2812.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2329-7255, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [hjss@hanspub.org](mailto:hjss@hanspub.org)