

刘畅,王茜,贺浩强,等. 高磷条件下腐殖酸和生物炭配施对土壤磷素转化的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(8):284-287.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.08.052

# 高磷条件下腐殖酸和生物炭配施 对土壤磷素转化的影响

刘畅,王茜,贺浩强,李晓寒,岳彪辉,普红青,袁义丽,桂枝,卢树昌

(天津农学院农学与资源环境学院,天津 300384)

**摘要:**研究腐殖酸和生物炭 2 种调理剂配合施用对土壤磷素吸收与转化的影响,设空白对照、生物炭、腐殖酸、腐殖酸 + 生物炭、腐殖酸 + 1/2 生物炭、1/2 腐殖酸 + 生物炭共 6 个处理。结果表明,在腐殖酸和生物炭配施不同处理中,腐殖酸 + 生物炭处理对于降低土壤总磷、有效磷、水溶性磷含量效果较好,可以减少土壤中磷素积累;腐殖酸 + 1/2 生物炭处理既促进了作物对有效磷源  $\text{Ca}_2\text{-P}$  的吸收,提高了各磷组分之间的转化,也促进了土壤磷素向  $\text{Fe-P}$ 、 $\text{O-P}$  转化,有利于降低土壤磷素负荷;1/2 腐殖酸 + 生物炭处理可以促进土壤磷素向  $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Fe-P}$  转化。

**关键词:**腐殖酸;生物炭;高磷土壤;吸收;转化;磷素

**中图分类号:** S156.2;X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)08-0284-04

磷是作物生长必需营养元素之一。磷肥施入土壤后,很容易被土壤固定,加上当季作物磷肥利用率比较低<sup>[1]</sup>,导致过量的磷素积累在土壤中,不仅使生产效益降低,还会抑制植物对其他微量元素<sup>[2]</sup>的吸收,使土壤中缺素<sup>[3]</sup>,同时还会使土壤磷淋失,造成水体富营养化等<sup>[4-5]</sup>。腐殖酸是一类成分复杂的天然有机高分子混合物,需要通过微生物将动植物残体和微生物细胞等分解和转化,并经一系列地球化学过程积累而成。许多研究表明,腐殖酸在农业生产上有很大的应用潜力,可以改善土壤结构,提高作物产量和品质<sup>[6]</sup>。生物炭(biochar)是在低氧或缺氧条件下,农作物秸秆、木质物质、禽畜粪便和其他材料等有机物质经过高温热解而形成的产物<sup>[7-8]</sup>。生物炭可以改变土壤的理化和微生物性质<sup>[9]</sup>,提高作物产量<sup>[10]</sup>,并对磷有吸附作用<sup>[11]</sup>。本试验以饲用甜高粱为供试作物,研究腐殖酸和生物炭配合施用对土壤磷素吸收与转化的影响,旨在为设施土壤磷素面源污染控制提供技术途径。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试作物:饲用甜高粱,品种为甜杂 2 号,生育期为 130~140 d。

供试调理剂:腐殖酸,草本生物炭(秸秆炭)。

供试土壤:取自天津市武清区大孟庄镇后幼庄村集约化设施菜田,其基本理化性质如表 1 所示。

### 1.2 试验处理

将土壤样品自然风干后过 5 mm 筛,每盆装土 3 kg(盆高 15 cm、口径 21 cm)。共设 6 个处理,分别为 T1 空白对照、T2 生物炭(30 g)处理、T3 腐殖酸(1.875 g)处理、T4 腐殖酸 + 生物炭(1.875 g + 30.0 g)处理、T5 腐殖酸 + 1/2 生物炭(1.875 g + 15.0 g)处理、T6 1/2 腐殖酸 + 生物炭(0.938 g + 30.0 g)处理,每个处理 3 个重复,每盆定植 2 株。

试验时间为 2018 年 5—11 月。甜高粱种植期间每隔 2 d 灌水 1 次,每次灌水 400~500 mL/盆。

### 1.3 测试方法

土壤有效磷含量采用  $\text{NaHCO}_3$  浸提-钼蓝比色法测定,水溶性磷含量采用  $\text{CaCl}_2$  浸提-钼蓝比色法,总磷含量采用浓硫酸-高氯酸消煮、钼蓝比色法测定,无机磷组分含量采用蒋柏藩等的方法测定<sup>[12]</sup>。

### 1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 2007 方法进行处理,采用

收稿日期:2019-03-24

基金项目:天津市大学生创新训练计划(编号:201810061075);天津市高校学科领军人才培养计划(编号:J01009030705)。

作者简介:刘畅(1996—),女,河北滦平人,从事农田土壤与作物生长环境关系方面研究。E-mail:1591092998@qq.com。

通信作者:卢树昌,博士,教授,从事农田土壤质量与植物营养的教学与科研工作。Tel:(022)23781298;E-mail:lsc9707@163.com。

表 1 供试土壤基本理化性质

土壤指标	全氮含量 (g/kg)	有机质含量 (g/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	水溶性磷含量 (mg/kg)	总磷含量 (g/kg)
含量	2.46	32.91	371.15	51.40	4.22

DPS 7.05 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 腐殖酸和生物炭配合处理对土壤总磷含量的影响

腐殖酸和生物炭配合处理对土壤总磷含量的影响如图 1 所示,可以看出,T3、T4、T5 处理土壤总

磷含量均较 T1 处理低,其中 T4 处理土壤总磷含量最低,为 3.86 g/kg,较 T1 处理显著降低 7.70%;T3、T5 处理与 T1 处理无显著差异,说明 T4 处理更

有利减少土壤总磷含量,降低土壤磷素负荷。T2、T6 处理总磷含量高于 T1 处理,但无显著差异,说明腐殖酸和生物炭配合对土壤总磷含量存在影响,且影响程度与其不同配比密切相关。

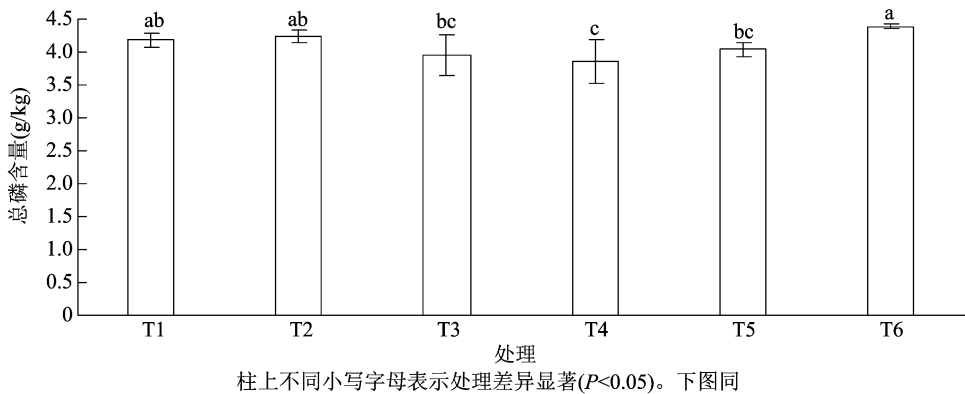


图1 不同处理下土壤总磷状况

2.2 腐殖酸和生物炭配合处理对土壤有效磷含量的影响

腐殖酸和生物炭配合处理对土壤有效磷含量的影响如图 2 所示,可以看出,T5、T6 处理土壤有效磷含量均显著高于 T1 处理,较 T1 处理分别高

12.3%、19.2%;T2、T3、T4 处理土壤有效磷含量也高于 T1 处理,但无显著差异,说明腐殖酸、生物炭单施或配合施用均能促进磷素有效化。其中 T4 处理对于降低土壤有效磷含量相对较好,而 T2、T3、T5、T6 处理更有利于促进磷素有效化。

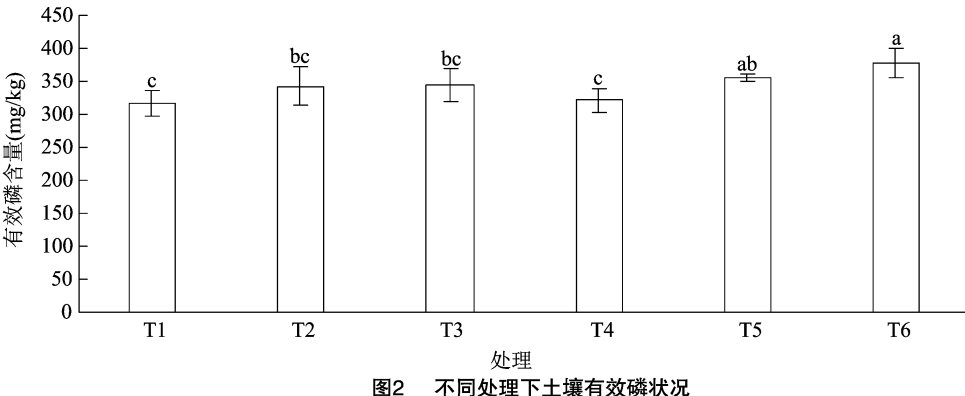


图2 不同处理下土壤有效磷状况

2.3 腐殖酸和生物炭配合处理对土壤水溶性磷含量的影响

如图 3 所示,施用腐殖酸和生物炭处理土壤水溶性磷与 T1 处理无显著差异,其中降低土壤中水

溶性磷含量效果相对较好的是 T4 处理,其次是 T6 处理,说明 T4、T6 处理可以降低土壤磷素淋溶风险。而 T2、T3、T5 处理土壤中水溶性磷含量高于 T1 处理,说明 T2、T3、T5 处理可促进土壤磷素转化。

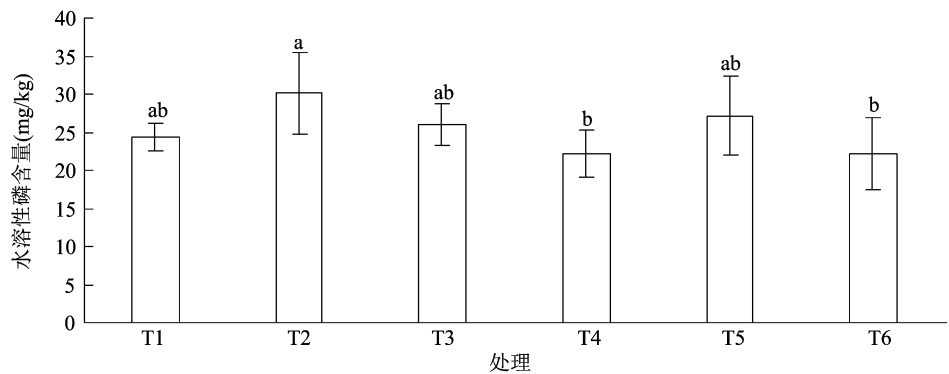


图3 不同处理下土壤水溶性磷状况

2.4 腐殖酸和生物炭配合处理对土壤无机磷含量的影响

腐殖酸和生物炭配合处理对土壤无机磷组分含量和所占总无机磷含量比例的影响如表 2、表 3 所示。如表 2 所示,各处理间土壤中  $\text{Ca}_2\text{-P}$  含量无显著差异,T5 处理的含量相对较少;T4、T5 处理的  $\text{Ca}_8\text{-P}$  含量显著低于 T1 处理,而 T6 显著高于其他处理;各处理间  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  含量无显著差异;T6 处理的  $\text{Al-P}$  含量显著低于 T1 处理;T6 处理的  $\text{Fe-P}$  含量显著高于 T1 处理;T5 处理的  $\text{O-P}$  含量显著高于 T1 处理。总体来看,T4、T5 处理有利于降低土壤中  $\text{Ca}_8\text{-P}$  含量,T6 处理有利于土壤磷素向  $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Fe-P}$  转化。其主要机理是,T4 处理促进土壤磷素吸收;T5 处理既促进磷素吸收,也促进了土壤磷素

向  $\text{Fe-P}$ 、 $\text{O-P}$  转化;T6 处理主要是促进了土壤磷素向  $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Fe-P}$  转化。

在石灰性土壤无机磷中约有 70% ~ 80% 是以  $\text{Ca-P}$  形态存在的<sup>[13-15]</sup>。如表 3 所示,各处理的  $\text{Ca}_8\text{-P}$  含量所占比例最大,约占总量的 56.35% ~ 66.09%,其中 T6 处理最大。而从  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  含量所占比例来看,腐殖酸和生物炭的施加使土壤无机磷组分中  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  所占比例增加,其中 T5 处理比例增幅相对较大。

3 讨论

土壤磷素转化主要包括土壤磷素沉淀和溶解、吸附和解吸,还包括无机磷的生物固定以及有机磷的矿化等一系列复杂的生物化学过程<sup>[15]</sup>。对于土

表 2 不同处理对土壤无机磷组分含量的影响

处理	含量( mg/kg)					
	$\text{Ca}_2\text{-P}$	$\text{Ca}_8\text{-P}$	$\text{Ca}_{10}\text{-P}$	$\text{Al-P}$	$\text{Fe-P}$	$\text{O-P}$
T1	147.03 ± 19.65a	2 088.90 ± 18.67b	331.10 ± 1.36a	590.43 ± 47.69abc	133.60 ± 1.85b	30.64 ± 6.38c
T2	152.10 ± 1.06a	2 037.55 ± 0.93bc	410.84 ± 53.39a	674.45 ± 59.49a	137.00 ± 6.04b	37.67 ± 3.59bc
T3	145.99 ± 10.67a	1 978.33 ± 8.50bc	367.68 ± 11.63a	509.89 ± 10.06cd	131.92 ± 10.14b	42.10 ± 3.16b
T4	146.06 ± 4.95a	1 887.90 ± 91.67c	391.08 ± 52.50a	642.88 ± 38.57ab	144.02 ± 4.46ab	43.57 ± 2.62b
T5	130.97 ± 7.99a	1 660.97 ± 92.49d	407.17 ± 92.90a	551.02 ± 23.79bc	145.00 ± 3.56ab	52.49 ± 4.58a
T6	145.36 ± 15.44a	2 314.78 ± 122.93a	376.01 ± 71.50a	430.21 ± 35.37d	191.92 ± 62.13a	44.39 ± 1.76b

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

表 3 不同处理各无机磷组分含量占总无机磷组分含量的百分比

处理	占比(%)					
	$\text{Ca}_2\text{-P}$	$\text{Ca}_8\text{-P}$	$\text{Ca}_{10}\text{-P}$	$\text{Al-P}$	$\text{Fe-P}$	$\text{O-P}$
T1	4.43	62.89	9.97	17.78	4.02	0.92
T2	4.41	59.07	11.91	19.55	3.97	1.09
T3	4.60	62.29	11.58	16.05	4.15	1.33
T4	4.49	57.99	12.01	19.75	4.42	1.34
T5	4.44	56.35	13.81	18.69	4.92	1.78
T6	4.15	66.09	10.73	12.28	5.48	1.27

壤总磷, T4 处理土壤总磷含量显著低于 T1 处理, 可能是由于 T4 处理配比的腐殖酸和生物炭有利于植物对土壤中磷素的吸收, 也可能是由于腐殖酸和生物炭对磷素的吸附作用<sup>[11,16]</sup>; 对于土壤有效磷, T5、T6 处理显著高于 T1 处理, T2、T3、T4 处理与对照无显著差异, 可能是由于腐殖酸促进了土壤磷素的释放<sup>[16]</sup>。

土壤无机磷组分中,  $\text{Ca}_2\text{-P}$  是植物吸收的有效磷源。本盆栽试验中未施加磷肥,  $\text{Ca}_2\text{-P}$  被作物吸收后只能通过其他形态的磷进行补充, 而 T5 处理可能由于腐殖酸和生物炭的配施促使  $\text{Ca}_8\text{-P}$  向更有效的磷源  $\text{Ca}_2\text{-P}$  转化, 但是由于无磷肥的施入, 使  $\text{Ca}_8\text{-P}$  被作物吸收消耗没有得到转化, 说明 T5 处理有效促进了作物对土壤中磷素的吸收。而 T5 处理  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  含量所占无机磷总量的比例在各处理中最大,  $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$  含量减少也可能是由于部分磷素向难溶性磷素  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  转化, 使磷素都固定在土壤中。

#### 4 结论

本试验以甜高粱为供试作物, 研究腐殖酸和生物炭配施对土壤磷素转化的影响。结果表明, 腐殖酸和生物炭配合施用可以促进土壤中磷素的转化, 从而促进作物对磷素的吸收。在腐殖酸和生物炭配施不同处理中, T4 处理对于降低土壤中总磷、有效磷、水溶性磷含量效果较好, 可以减少土壤中磷素的积累, 减少磷素环境风险。T5 处理既促进了作物对有效磷源  $\text{Ca}_2\text{-P}$  的吸收, 提高了各磷组分之间的转化, 也促进了土壤磷素向  $\text{Fe-P}$ 、 $\text{O-P}$  转化。T6 处理主要是促进了土壤磷素向  $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Fe-P}$  转化。而腐殖酸和生物炭配施对土壤磷素的影响, 因材料施入土壤时间、作物种类和土壤自身养分状况等因素存在着不确定性, 其影响还有待进一步深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 陈磊, 王盛锋, 刘荣乐, 等. 不同磷供应水平下小麦根系形态及根际过程的变化特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 324-331.
- [2] 赵荣芳, 邹春琴, 张福锁. 长期施用磷肥对冬小麦根际磷、锌有效性及其作物磷锌营养的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 368-372.
- [3] 卢树昌, 陈清, 张福锁, 等. 河北果园主分布区土壤磷素投入特点及磷负荷风险分析[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3149-3157.
- [4] 堪芸, 何丙辉, 赵秀兰, 等. 小江流域农地水土流失对水体富营养化的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(4): 31-35.
- [5] 焉莉, 高强, 张志丹, 等. 自然降雨条件下减肥和资源再利用对东北黑土玉米地氮磷流失的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(4): 1-6.
- [6] 陈静, 黄占斌. 腐殖酸在土壤修复中的作用[J]. 腐殖酸, 2014(4): 30-34, 65.
- [7] Xu G, Lv Y C, Sun J N, et al. Recent advances in biochar applications in agricultural soils: benefits and environmental implications[J]. Clean-Soil, Air, Water, 2012, 40(10): 1093-1098.
- [8] 翁福军, 卢树昌. 生物炭在农业领域应用的研究进展与前景[J]. 北方园艺, 2015(8): 199-203.
- [9] 余慧敏, 郭熙. 生物炭与生物炭基肥利用研究进展[J]. 天津农业科学, 2018, 24(12): 82-86.
- [10] 武玉, 徐刚, 吕迎春, 等. 生物炭对土壤理化性质影响的研究进展[J]. 地球科学进展, 2014, 29(1): 68-79.
- [11] Chintala R, Schumacher T E, McDonald L M, et al. Phosphorus sorption and availability from biochars and soil/biochar mixtures[J]. Clean-Soil, Air, Water, 2014, 42(5): 626-634.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 42-48, 93-96.
- [13] 安卫红, 张淑民. 石灰性土壤无机磷的分级及其有效性的研究[J]. 土壤通报, 1991, 22(1): 35-37.
- [14] 蒋柏藩. 石灰性土壤无机磷有效性的研究[J]. 土壤, 1992, 24(1): 61-65.
- [15] 林治安, 谢承陶, 张振山, 等. 石灰性土壤无机磷形态、转化及其有效性研究[J]. 土壤通报, 1997, 28(6): 274-276.
- [16] 路艳艳, 吴钦泉, 陈士更, 等. 腐殖酸对磷钾吸附及活化性能研究[J]. 腐殖酸, 2018(2): 40-44.