

生物质炭对旱作土壤生物性状及养分有效性的调控效应

刘元生, 刘方, 陈祖拥, 蒲通达, 朱健

(贵州大学环境与资源研究所, 贵阳 550025)

摘要: 通过盆栽试验研究了生物质炭施用对贵州中部地区旱作土壤微生物群落数量、酶活性和土壤养分有效性的影响。结果表明: 对不同类型旱作土施用5%~15%(炭/土质量比)的生物质炭后, 黄泥土、黄砂土中真菌、放线菌、细菌数量和硝化细菌、氨化细菌数量以及磷酸酶、过氧化氢酶、脲酶活性均表现出明显的增加, 特别是黄砂土; 而大泥土中放线菌、真菌数量和硝化细菌数量以及磷酸酶和过氧化氢酶活性出现较明显的提高, 但氨化细菌数量及脲酶活性出现大幅度降低。此外, 黄泥土、黄砂土施生物质炭后有效N、P、K、Ca、Mg、B含量表现出不同程度的增加, 但土壤有效Fe、Mn、Cu、Zn含量则出现不同程度的下降; 而大泥土中有效P、K、Fe、Mn、Cu、B的含量呈现不同程度的提高, 但土壤有效N、Ca、Mg、Zn的含量出现不同程度的减少; 其中这3类旱作土壤施炭后土壤有效Zn含量均表现出显著的下降。黄泥土、黄砂土及大泥土施用5%~15%的生物质炭后均能明显提高白菜及莴笋的产量, 其中黄砂土施生物质炭的增产效果最好, 其次是大泥土。不同类型旱作土壤施炭后土壤有效性养分数量变化存在较大的差别, 施用生物质炭时要根据土壤特性配合使用一定比例的氮、磷、钾及适量的微量元素肥料, 更有利于促进作物的生长。

关键词: 生物质炭; 土壤微生物群落; 土壤酶活性; 养分有效性; 调控效应

中图分类号: X53 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2019)03-0166-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2019.03.025

Regulation Effects of Biochar on the Biological Characteristics and Nutrient Availability of Dryland Soils

LIU Yuansheng, LIU Fang, CHEN Zuyong, PU Tongda, ZHU Jian

(*Institute of Environment and Resource, Guizhou University, Guiyang 550025*)

Abstract: The effects of biochar application on the microbial community, enzyme activity and soil nutrient availability in dryland soils of central Guizhou were studied through pot experiment. The results showed that after applying 5% ~ 15% (biochar/soil mass ratio) biochar to different types of dryland soils, the number of fungi, actinomycetes, bacteria and nitrifying bacteria, ammoniated bacteria and the activity of phosphatase, catalase and urease in yellow soil and yellow sand soil increased obviously, especially in yellow sand soil. The number of actinomycetes, fungi and nitrifying bacteria in the lime soil, as well as the activity of phosphatase and catalase increased significantly, but the number of ammoniated bacteria and urease activity decreased significantly. In addition, the content of available N, P, K, Ca, Mg and B in yellow soil and yellow sand soil increased in different degrees, but the content of available Fe, Mn, Cu and Zn decreased in different degrees. The content of available P, K, Fe, Mn, Cu and B in the lime soil increased in different degrees, but the available N, Ca, Mg and Zn in the lime soil decreased in different degrees. The content of available Zn in these three dryland soils all decreased obviously after applying biochar. The application of 5% ~ 15% biochar in yellow soil, yellow sand soil and lime soil could obviously increase the yield of cabbage and lettuce, of which the yellow sand soil applied with biochar was the best in increasing yield, followed by lime soil. There were significant differences in the changes of soil available nutrients among different types of dryland soils after applying biochar. When applying biochar, a certain proportion of nitrogen, phosphorus, potassium and appropriate amount of trace element fertilizers should be used according to soil characteristics, which could promote the growth of crops.

Keywords: biochar; soil microbial community; soil enzyme activity; nutrient availability; regulation effect

土壤养分含量和生物有效性的提高对促进作物生长有着重要作用,在适宜的土壤环境条件下,土壤微生物群落多样性及酶活性的增加可以调控养分的转化和释放,有利于提高土壤有效养分的含量水平^[1-4]。生物质炭对作物生长的促进作用主要是改善土壤结构以及提高土壤持水性能和养分供应能力^[5-10],生物质炭施用不仅增加土壤碳库,有利于微生物的生长^[11];而且通过调节土壤酸碱度,直接促进磷、钾、镁和钙的生物有效性^[12]。在土壤中施用生物质炭不仅可以促进黄瓜增产,改善土壤理化性状,提高土壤养分含量,还可以改良土壤生物学性质,提升土壤酶活性^[13]。此外,生物炭可作为微生物肥料接种菌的载体,增加接种菌在土壤中存活率及对植物的侵染,有利于促进植物根际微生物多样性及土壤酶活性,提高西芹产量^[3];而土壤施用烟秆生物质炭,使得微生物活性增加,活化养分能力增强,提高了土壤中速效钾含量,对改善烟叶品质有明显的促进作用^[14]。因而,利用生物质炭改良土壤不仅增加土壤有效性养分的数量,而且通过提高土壤微生物数量和土壤酶活性改善土壤养分的供给能力,从而间接促进作物生长。近年来,对不同区域土壤施用生物质炭的作物增产效应及土壤肥力质量的改善方面已开展较多的研究工作,其中对土壤养分的研究主要在氮、磷、钾方

面^[15-18],而对不同类型土壤施用生物质炭后微量元素的变化还缺乏深入的研究。因此,本文以贵州中部主要类型的旱作土壤为研究对象,探讨了生物质炭施用对旱作土壤微生物群落多样性、酶活性与养分生物有效性的影响,试图为贵州山区旱坡地土壤改良及培肥提供一些科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤采自贵阳市花溪区孟关乡周边种植玉米、蔬菜的旱作土,选择石灰岩发育的大泥土、砂岩发育的黄土及页岩发育的黄土^[19],取表层土壤(0—20 cm)均匀混合过 5 mm 筛备用,供试土壤理化性质见表 1。利用马尾松锯末添加猪粪为原材料,使用微波炉炭化微氧化处理得到试验用的生物质炭(该生物质炭的 pH 为 9.5,全 C 含量为 65.23%,全 N 含量为 0.68%,全 P 含量为 0.52%,全 K 含量为 0.58%,全 Ca 含量为 1.72%,全 Mg 含量为 0.36%,全 Fe 含量为 235 mg/kg,全 Mn 含量为 220 mg/kg,全 Cu 含量为 18 mg/kg,全 Zn 含量为 85 mg/kg,全 B 含量为 4.1 mg/kg,CEC 含量为 117.5 cmol/kg,持水率为 35.60%)。白菜品种为“晋菜 3 号”,莴笋品种为“青秀 2 号”。复合肥为市场购买产品(养分 $\geq 45\%$,N—P₂O₅—K₂O 为 15—15—15)。

表 1 供试土壤理化性质

土壤类型	pH	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	全钾/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	CEC/ (cmol·kg ⁻¹)	容重/ (g·cm ⁻³)	孔隙度/ %	<0.01 mm 黏粒/%	土壤质地
黄泥土	6.01	19.50	1.21	0.472	10.02	93	6.8	92	12.55	1.25	48.23	52.68	轻黏土
黄砂土	5.89	15.10	0.87	0.543	12.05	62	1.0	50	6.50	1.42	35.21	15.22	砂壤土
大泥土	7.54	36.07	2.15	0.720	7.85	128	3.0	116	13.25	1.05	58.82	32.54	中壤土

1.2 试验设计

盆栽试验于 2016 年 10 月 17 日至 2017 年 5 月 22 日在贵州大学南校区实验农场进行。采用土壤+复合肥+生物质炭(不同比例组合)进行试验设计(表 2),试验设 4 个处理,每盆分别将不同比例的生物质炭量(按 0.5%,10%,15%)、10 g 复合肥与 5 kg 土壤混合均匀后装入塑料钵中,每个处理重复 3 次。第 1 季种植白菜,选

择生长较一致的白菜幼苗移栽,每盆移植 1 株,待白菜种植 60 天后收获称取产量。第 2 季种植莴笋,每盆移栽 1 株幼苗,待莴笋种植 80 天后收获称取产量。试验过程中定时浇水、除草,保持白菜及莴笋良好生长,并对生长状况进行观察。春季莴笋收获后对每盆表层土壤(0—20 cm)采集混合样品。土壤样品自然风干后,研磨过 0.15,2 mm 筛备用。

表 2 盆栽试验设计

试验处理	炭土比/ %	每盆土施炭量/g			施肥量/ g	第 1 季 种植品种	第 2 季 种植品种
		黄泥土	黄砂土	大泥土			
处理 1(对照)	0	0	0	0	10	白菜	莴笋
处理 2	5	250	250	250	10	白菜	莴笋
处理 3	10	500	500	500	10	白菜	莴笋
处理 4	15	750	750	750	10	白菜	莴笋

1.3 土壤化学分析

土壤 pH 采用酸度计法(土水比 1:2.5)测定,有机质采用重铬酸钾容量法、碱解氮采用扩散吸收

法、速效磷采用 Olsen 法测定,有效钾、钙、镁采用乙酸铵溶液提取、原子吸收分光光度法测定,有效 Fe、Mn、Cu、Zn 采用盐酸溶液提取、原子吸收分光光度法

测定,有效 B 采用姜黄素法^[20]测定。

1.4 土壤微生物的测定

土壤细菌、放线菌及真菌的测定采用平板梯度稀释法测定,细菌培养采用牛肉膏蛋白胨选择性培养基,真菌培养采用马丁孟加拉红-链霉素选择性培养基,放线菌培养采用改良高氏一号培养基。硝化细菌采用改良的斯蒂芬逊培养基,氨化细菌的测定采用蛋白胨琼脂培养基。土壤微生物计数单位为 10^4 cfu/g。脲酶用靛酚蓝比色法测定,结果以 $37\text{ }^\circ\text{C}$ 恒温培养 3 h 后,1 g 土壤中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的质量数(μg)表示;过氧化氢酶活性用 0.1 mol/L KMnO_4 滴定法测定,单位用 1 g 土 1 h 所消耗的 0.1 mol/L KMnO_4 体积数(mL)表示;磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法测定,结果以 $37\text{ }^\circ\text{C}$ 恒温培养 24 h 后 1 g 土样生成酚(ArOH)的质量数(mg)表示^[20]。所有酶活性测定设 3 次重

复,以干基计算取平均值。

2 结果与分析

2.1 生物质炭施用对土壤微生物群落数量的影响

由表 3 可知,黄泥土、黄砂土和大泥土施 5%~15% (炭/土质量比)的生物质炭后微生物群落数量的变化出现较大差异;其中,黄砂土中细菌、放线菌及真菌数量分别高出对照 1.40~6.08,2.02~10.72,0.28~2.10 倍,施炭量 5%时增加量最大。对黄泥土来说,施用生物质炭后土壤细菌、放线菌及真菌数量分别比对照(炭土比为 0)提高 0.19~2.07,2.36~8.83,0.23~11.59 倍(施炭量 10%时增加量最大)。大泥土施炭后放线菌及真菌数量分别比对照提高 0.66~4.40,2.57~3.64 倍(施炭量 10%时增加量最大),而细菌数量则表现为施炭量在 5%~10%时增加 0.67~1.02 倍,当施炭量达 15%时则明显降低达 43.90%。

表 3 施用生物质炭后土壤微生物群落数量的变化

土壤类型	炭土比/ %	pH (H_2O)	有机质/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	细菌/ ($10^8\text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$)	真菌/ ($10^5\text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$)	放线菌/ ($10^6\text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$)	硝化细菌/ ($10^3\text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$)	氨化细菌/ ($10^5\text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$)
黄泥土	0	6.04	19.27	99.92	9.86	15.47	1.73	137.6
	5	6.11	21.86	118.92	34.74	55.45	1.75	175.4
	10	6.14	29.42	306.69	124.14	152.02	4.39	173.5
	15	6.23	33.66	162.68	12.11	51.93	5.65	138.2
黄砂土	0	6.44	18.05	69.27	21.76	18.89	3.38	123.9
	5	6.15	20.50	490.72	67.47	221.44	17.32	161.7
	10	6.28	29.04	255.07	50.77	164.87	8.72	162.8
	15	6.30	41.71	166.36	27.93	57.07	8.82	164.7
大泥土	0	7.34	44.16	88.31	1.87	16.17	1.28	128.2
	5	7.46	48.03	178.30	6.67	38.81	2.35	129.3
	10	7.71	50.55	147.62	8.67	87.31	1.77	35.5
	15	7.60	56.59	49.54	7.93	26.84	1.79	47.2

黄泥土、黄砂土及大泥土施炭后土壤硝化细菌分别高于对照 0.01~2.27,1.58~4.12,0.38~0.84 倍,其增加的大小顺序为黄砂土>黄泥土>大泥土。此外,黄泥土、黄砂土施炭后土壤氨化细菌数量分别比对照增加 0.44%~27.47%,30.51%~32.93%,但大泥土施炭后土壤氨化细菌数量则出现明显的下降,最大降幅达 72.31%。从土壤微生物群落结构变化来看,黄泥土、黄砂土及大泥土施炭后土壤放线菌、真菌数量均出现明显增加;细菌数量变化受土壤类型的影响,酸性的黄砂土和黄泥土出现明显提高,而偏碱性的大泥土施炭后则表现为低、中炭量(5%~10%)时增加、高炭量(15%)时下降。

2.2 生物质炭施用对土壤酶活性的影响

由图 1 可知,土壤施 5%~10%的生物质炭后,黄泥土、黄砂土及大泥土施炭后土壤酸性磷酸酶活性分别比对照增加 0.50~1.38,1.99~3.48,0.40~0.78 倍,土壤碱性磷酸酶活性分别高出对照 0.67~1.99,1.49~2.47,0.15~1.16 倍;而土壤过氧化氢酶活性分别比对照提高了 0.52~2.00,0.98~2.92,0.02~0.73 倍,这 3 种酶的

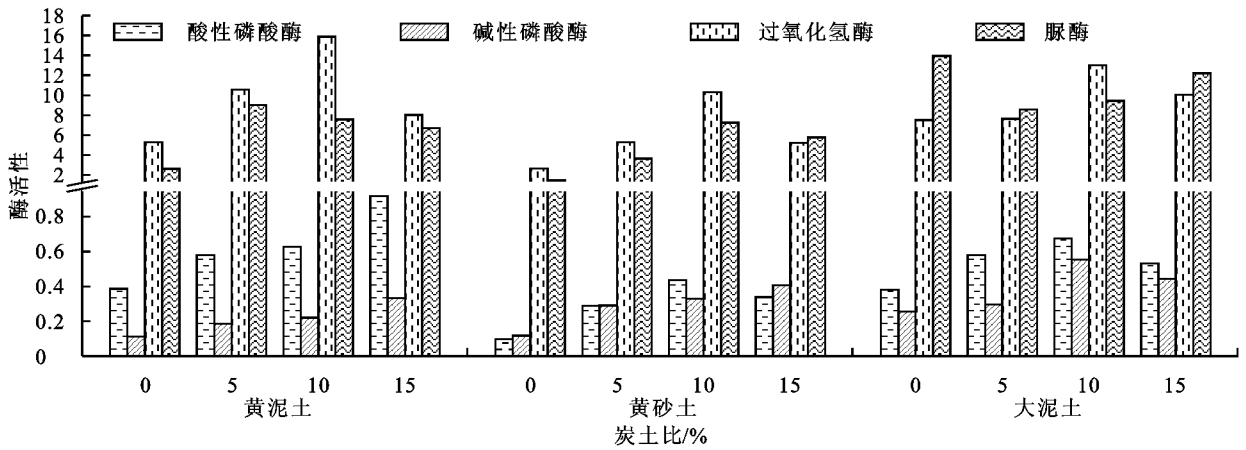
活性增加大小顺序为黄砂土>黄泥土>大泥土。对土壤脲酶活性来说,施用生物质炭后黄泥土、黄砂土的脲酶活性分别高出对照 1.55~2.44,1.50~4.01 倍;但大泥土施炭后土壤脲酶活性则下降 0.13~0.39 倍。可见,不同类型旱地土壤施用生物质炭后,土壤酶活性的变化也出现较大的差异;其中,黄砂土中磷酸酶、过氧化氢酶和脲酶活性出现明显的增加,黄泥土中磷酸酶、过氧化氢酶和脲酶活性也出现一定程度增加,而大泥土中磷酸酶和过氧化氢酶出现一定程度提高,但脲酶活性出现明显下降。

2.3 生物质炭施用对土壤养分有效性的影响

由表 4 可知,生物质炭施用对提高土壤养分有效性有明显的促进作用,施炭后黄泥土、黄砂土及大泥土中有效磷含量分别比对照提高 11.65%~31.07%,13.71%~62.90%,43.28%~98.51%(施炭量 10%时增加最大),其中大泥土的增磷效果最好,其次是黄砂土。同时,生物质炭施用下黄泥土、黄砂土及大泥土中有效钾含量分别比对照增加了 13.16%~29.47%,26.76%~45.78%,9.48%~31.90%,增钾

效果的大小顺序为黄砂土>大泥土>黄泥土,均在施炭量 15%时大最大值,但与施炭量 10%时的差异仅为 2.62%~5.36%。对土壤有效氮来说,生物质炭施用下黄泥土、黄砂土在施炭量 5%~10%时分别比

对照增加 28.46%~39.84%,3.35%~25.13%,但施炭量达 15%时土壤有效氮出现较大的下降;而大泥土施用生物质炭后土壤有效氮含量表现出不断的减少,其降低的幅度在 5.94%~13.86%。



注:酸/碱性磷酸酶单位为 ArOH mg/(g·37℃·24 h);过氧化氢酶为 0.1 mol/L KMnO₄ mL/(g·h);脲酶为 NH₃-N μg/(g·37℃·3 h)。

图 1 施用生物质炭后土壤酶活性的变化

表 4 施用生物质炭后土壤有效养分含量的变化及增产效果

土壤类型	炭土比/%	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Ca	Mg	N	P	K	白菜产量	莴笋产量
黄泥土	0	14.9	2.7	0.81	19.6	1.6	1528	301	123	10.3	190	28.29	26.34
	5	13.0	2.0	0.34	11.1	1.8	1812	361	172	11.5	215	37.79	29.26
	10	12.8	2.4	0.42	6.9	2.5	1605	329	158	13.5	239	49.70	38.59
	15	10.5	2.1	0.29	2.0	2.8	1798	357	92	12.7	246	34.98	28.78
黄砂土	0	19.2	8.6	0.79	18.6	2.1	1038	272	179	12.4	142	15.94	18.32
	5	13.7	7.2	0.40	9.9	2.5	1114	280	185	16.3	180	31.50	22.54
	10	14.3	8.1	0.53	6.6	4.0	1179	308	224	20.2	201	35.94	26.10
	15	15.4	5.9	0.41	2.9	3.8	1377	339	106	14.1	207	40.01	27.42
大泥土	0	11.4	12.1	1.43	20.2	7.3	3791	684	202	13.4	232	25.62	16.87
	5	11.9	12.7	1.69	11.4	8.8	3488	667	190	19.2	254	34.64	19.60
	10	16.1	16.3	1.51	15.1	9.1	3685	646	182	26.6	295	33.96	22.90
	15	13.0	14.5	1.60	10.2	6.9	3525	664	174	20.7	306	47.73	23.71

注:表中各元素含量单位均为 mg/kg;白菜及莴笋产量为鲜重,单位为 g/株。

从土壤微量元素含量变化来看(表 4),生物质炭施用下黄泥土、黄砂土及大泥土中有效 B 含量分别高出对照 12.50%~75.00%,19.05%~90.48%, -5.48%~24.66%,其中黄砂土增加效果最好(施炭量 10%时增加最大),其次是黄泥土(施炭量 15%时增加最大)和大泥土(施炭量 10%时增加最大)。同时,生物质炭施用下黄泥土、黄砂土及大泥土中有效 Zn 含量分别比对照减少 43.37%~89.80%,46.77%~84.41%, 25.24%~49.51%,其中大泥土减幅最少。从土壤有效 Fe、Mn、Cu 含量的变化来看,大泥土中有效 Fe、Mn、Cu 含量分别比对照提高 4.39%~41.23%,4.96%~34.71%,5.59%~18.18%;但是,黄泥土中有效 Fe、Mn、Cu 含量则分别下降 12.75%~29.53%,11.11%~25.93%,48.15%~64.20%,而黄砂土中 Fe、Mn、Cu 含量降低幅度分别为 19.79%~28.65%,5.81%~31.40%,32.91%~49.37%;其中土壤有效 Cu 的降

幅最大。此外,黄泥土及黄砂土中有效 Ca、Mg 含量出现较明显的增加,其中有效 Ca 含量分别比对照高出 5.04%~18.59%,7.32%~32.66%,而有效 Mg 含量分别比对照提高 9.30%~19.93%,2.94%~24.63%,但大泥土中有效 Ca、Mg 含量出现一定程度的下降,其有效 Ca、Mg 含量分别比对照减少 2.80%~7.99%,2.49%~5.56%。可见,这 3 类旱作土施用生物质炭后都能显著地提高土壤有效磷、有效钾及有效 B 的含量,但也明显地减少土壤有效 Zn 的含量。从不同土壤类型来看,黄泥土、黄砂土施炭后有效 N、P、K、Ca、Mg、B 含量出现不同程度的提高,但土壤有效 Fe、Mn、Cu、Zn 含量则出现一定程度的下降;而大泥土施炭后有效 P、K、Fe、Mn、Cu、B 的含量不同程度的增加,但土壤有效 N、Ca、Mg、Zn 出现一定程度降低。

2.4 生物质炭施用对白菜及莴笋产量的影响

黄泥土、黄砂土及大泥土施用 5%~15%的生物质

炭后,前季(秋季)种植白菜,后季(春季)种植莴笋,白菜及莴笋的产量见表 4。从表 4 可以看出,黄泥土、黄砂土及大泥土施用生物质炭后白菜地上部生物量(60 天收获时产量)分别比对照高出 23.67%~75.68%,97.62%~151.00%,32.55%~86.30%。此外,在春季种植莴笋 80 天收获时,黄泥土、黄砂土及大泥土上生长莴笋的产量分别比对照增加 9.26%~46.51%,23.03%~49.67%,16.18%~40.54%;这 3 种土壤施用生物质炭后均能明显地提高白菜及莴笋的产量;其中,黄砂土施用生物质炭的增产效果最好,其次是大泥土。

不同类型土壤施用生物质炭产生的作物增产效应存在明显的差别,作物产量变化与生物质炭施用后土壤微生物数量、酶活性及土壤有效养分数量有密切的关联

表 5 白菜及莴笋产量与土壤生物性状指标的相关系数

蔬菜种类	细菌	真菌	放线菌	硝化细菌	氨化细菌	酸性磷酸酶	碱性磷酸酶	过氧化氢酶	脲酶
白菜	0.200	0.445	0.289	0.026	-0.002	0.513	0.442	0.500	0.415
莴笋	0.290	0.707**	0.360	0.083	0.416	0.127	-0.058	0.151	-0.106

注: * 表示 $P < 0.05$ 显著性水平; ** 表示 $P < 0.01$ 显著性水平。下同。

表 6 白菜及莴笋产量与土壤养分指标的相关系数

蔬菜种类	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Ca	Mg	N	P	K
白菜	-0.454	-0.096	-0.075	-0.651*	0.103	0.138	0.142	-0.160	0.229	0.621*
莴笋	-0.220	-0.677*	-0.614*	-0.591*	-0.493	-0.413	-0.461	-0.433	-0.265	0.103

3 讨论

3.1 不同类型旱作土施用生物质炭后土壤生物性状变化的差异性

本研究表明,旱作土壤施用 5%~15%(炭/土质量比)的生物质炭后,土壤微生物群落数量及酶活性的变化出现较大差别。黄砂土施生物质炭后土壤中真菌、放线菌及细菌数量以及硝化细菌、氨化细菌数量均出现明显增加;而土壤磷酸酶、过氧化氢酶和脲酶的活性也出现明显的提高。黄泥土施生物质炭后真菌、放线菌、细菌数量以及硝化细菌、氨化细菌数量均出现不同程度的增加,而土壤磷酸酶、过氧化氢酶和脲酶活性也出现一定程度的提高。从表 1 试验土壤理化性质可知,黄泥土,黄砂土均为酸性土壤,但黄砂土物理性黏粒含量和阳离子交换量明显低于黄泥土,硝化细菌对水分和氧气需要量大,而氨化细菌适合生长在通气状况较好的土壤中^[21],黄砂土添加生物质炭后土壤蓄水和养分供给能力加大,有利于微生物的生长,因而黄砂土施生物质炭后微生物生长效应明显高于黄泥土。然而,大泥土的微生物生长效应明显受生物质炭用量的影响,大泥土施 5%~10%的生物质炭后,土壤放线菌、真菌数量出现较显著的增加,细菌数量则表现为低、中炭量(5%~10%)时增加、高炭量(15%)时下降;且大泥土施炭后土壤中硝化细菌

性。从白菜及莴笋产量与土壤生物性状指标及土壤养分指标的相关系数来看(表 5 和表 6),在前季白菜的产量与土壤真菌数量及酶活性存在一定程度的正相关,与土壤有效钾含量存在显著的正相关($P < 0.05$ 显著性水平),而与土壤有效 Zn 含量存在显著的负相关。在后季莴笋产量与土壤微生物群落数量和土壤有效养分含量的关联性更加密切,其中,莴笋产量与土壤真菌数量存在极显著的正相关,而与土壤有效 Mn、Cu、Zn 含量存在显著的负相关。可见,施用适量的生物质炭有助于提高土壤微生物群落数量、土壤酶活性及土壤有效磷、钾的数量,同时也造成土壤一些微量元素的含量出现较大变化,特别是土壤有效锌含量大幅度降低,从而对作物的生长产生不同程度的影响。

数量也出现增加,但氨化细菌数量出现明显下降;而土壤磷酸酶和过氧化氢酶活性出现一定程度的提高,但脲酶活性出现大幅度降低。从表 1 也可看出,大泥土属于弱碱性土壤,虽然物理性黏粒含量和阳离子交换量高于黄砂土,而与黄泥土相近,但大泥土施生物质炭后土壤碱度出现增加(表 2),土壤 pH 的提高不利于微生物生长,特别是造成氨化细菌数量的明显下降,从而影响氨化作用及土壤氮素转化。可见,不同土壤类型因本身性质的差异,施用相同数量的生物质炭后,对土壤孔隙性、结构性及吸附性等影响程度是不相同的,从而使土壤中不同微生物种群数量变化出现较大的差异。对不同类型土壤施用生物质炭时应选择适宜的施用量,才能有利于土壤微生物群落多样性及酶活性的提高,促进土壤养分转化及有效化。

3.2 不同类型旱作土施用生物质炭后土壤有效养分含量变化的差异性

生物质炭施用对提高旱地土壤养分的生物有效性有明显的促进作用,施用 5%~15%的生物质炭后黄泥土、黄砂土中有效 N、P、K 含量出现明显的提高,特别是黄砂土;但黄泥土、黄砂土在施炭量 5%~10%时土壤有效氮出现增加,施炭量达 15%时反而出现明显降低。对大泥土来说,施生物质炭有利于土壤有效 P、K 含量大幅度提高,其增磷效果大于黄砂土和黄泥土;但造成土壤有效 N 出现一定程度的下

降。同时,施用5%~15%的生物质炭后黄泥土、黄砂土中有效Fe、Mn、Cu、Zn含量出现下降,其中有效Zn的降幅最大,其次是有效Cu;但土壤有效Ca、Mg、B的含量出现较明显的增加,特别是黄砂土。施用生物质炭后大泥土中有效Fe、Mn、Cu、B的含量出现增加,特别是有效B;但土壤有效Ca、Mg、Zn的含量出现不同程度下降,其中有效Zn含量出现大幅度降低。生物质炭不仅含有较多的矿质元素,而且生物质炭有强的吸附能力,能显著减少土壤铵态氮和硝态氮的淋溶速率,延长淋溶时间,减少累计淋失量^[22]。周桂玉等^[12]研究表明,添加生物质炭土壤有机碳含量、胡敏酸和富里酸含量、有效养分含量都有不同程度的增加,其中生物质炭对有效磷、钙、镁的作用效果较明显。从本试验研究结果看出,施用适量的生物质炭能显著提高土壤有效P、K、B的含量,同时也造成土壤有效Zn含量的明显降低,这可能与生物质炭对锌具有较强的吸附作用有关。据周强等^[23]研究,在土壤中施入生物炭之后,会提高对锌的吸附固定能力,添加炭量越高,对锌的吸附量越大;而且添加生物炭的土壤对锌的解吸率小于空白土壤,添加炭量越高,锌的解吸率越小。可见,旱地施用生物质炭会引起土壤有效Zn含量的明显下降,从而对作物生长产生一定的影响。从表4可以看出,在种植前季白菜产量与土壤有效K含量存在显著的正相关,但与土壤有效Zn含量存在显著的负相关;在种植后季莴笋产量也与土壤有效Mn、Cu、Zn含量存在显著的负相关。因而,施用适量的生物质炭有助于提高土壤养分的生物有效性,同时也造成土壤一些微量元素含量的显著变化,从而影响作物的产量。因而,旱作土壤施用生物质炭时,要配合施用一定比例的氮、磷、钾肥,同时需要补充适量的微量元素,才能有利于土壤养分的平衡,实现作物优质高产的栽培,这方面还值得深入研究。

4 结论

(1)旱作土壤施用5%~15%(炭/土质量比)的生物质炭后,酸性的黄泥土和黄砂土中真菌、放线菌、细菌数量和硝化细菌、氨化细菌数量以及磷酸酶、过氧化氢酶、脲酶活性均表现出明显的增加,特别是黄砂土;而弱碱性的大泥土中放线菌、真菌数量和硝化细菌数量以及磷酸酶和过氧化氢酶活性出现较明显的提高,但氨化细菌数量及脲酶活性出现大幅度降低。不同类型旱作土施用生物质炭后,土壤微生物群落数量及酶活性的变化出现较大差别。

(2)黄泥土、黄砂土和大泥土施用5%~15%的生物质炭后,土壤有效N、P、K、Ca、Mg、B含量表现出不同程度的增加,但土壤有效Fe、Mn、Cu、Zn含量则出现不同程度的下降;而大泥土中有效P、K、Fe、Mn、Cu、B的含量

呈现不同程度的提高,但土壤有效N、Ca、Mg、Zn的含量出现不同程度的减少;这3类旱作土施生物质炭后土壤有效P、K、B的含量均出现较明显的提高,而土壤有效Zn含量均表现出明显的下降。

(3)黄泥土、黄砂土及大泥土施用5%~15%的生物质炭后均能明显提高白菜及莴笋的产量,其中黄砂土施炭的增产效果最好,其次是大泥土。作物的增产效应与施生物质炭后土壤有效养分的数量变化有密切的关联性,在种植前季白菜产量与土壤有效K含量存在显著的正相关,但与土壤有效Zn含量存在显著的负相关;在种植后季莴笋产量与土壤有效Mn、Cu、Zn含量存在显著的负相关。施用生物质炭时要根据土壤特性配合使用一定比例的氮、磷、钾及适量的微量元素肥料,更有利于促进作物的生长。

参考文献:

- [1] 韩召强,陈效民,曲成闯,等. 生物质炭施用对潮土理化性状、酶活性及黄瓜产量的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(6): 272-278.
- [2] 陶朋闯,陈效民,靳泽文,等. 生物质炭与氮肥配施对旱地红壤微生物量碳、氮和碳氮比的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(1): 231-235.
- [3] 杨冬艳,王学梅,冯海萍,等. 生物质炭对设施西芹根际微生物及土壤酶活性的影响[J]. 广东农业科学, 2017, 44(1): 82-87.
- [4] 许泽宏,程晓丹,周明罗,等. 生物质炭对芥菜生长过程中根区土壤特性和微生物特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(16): 104-109.
- [5] 肖婧,王传杰,黄敏,等. 生物质炭对设施大棚土壤性质与果蔬产量影响的整合分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(1): 228-236.
- [6] 张影,刘星,焦瑞锋,等. 生物质炭与有机物料配施的土壤培肥效果及对玉米生长的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(9): 1287-1297.
- [7] 潘洁,肖辉,程文娟,等. 生物黑炭对设施土壤理化性质及蔬菜产量的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(31): 174-178.
- [8] 刘小宁,蔡立群,黄益宗,等. 生物质炭对旱作农田土壤持水特性的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(4): 112-118.
- [9] 王丹丹,郑纪勇,颜永毫,等. 生物炭对宁南山区土壤持水性能影响的定位研究[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2): 101-104.
- [10] 李中阳,齐学斌,樊向阳,等. 生物质炭对冬小麦产量、水分利用效率及根系形态的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(12): 119-124.
- [11] 张晓玲,陈效民,陶朋闯,等. 施用生物质炭对旱地红壤有机碳矿化及碳库的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(2): 192-197.

- controls on soil respiration in six temperate mixed-hardwood forest slopes, Korea [J]. *Global Change Biology*, 2003, 9(10): 1427-1437.
- [9] 郝兴宇, 韩雪, 李萍, 等. 大气 CO₂ 浓度升高对绿豆叶片光合作用及叶绿素荧光参数的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(10): 2776-2780.
- [10] 杨志刚, 崔世茂, 胡栓红, 等. 长期 CO₂ 加富对温室辣椒结果期光合生理及产量的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2018, 46(12): 1-8.
- [11] Rochette P, Flanagan L B. Quantifying rhizosphere respiration in a corn crop under field conditions [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61: 466-474.
- [12] 张前兵, 杨玲, 孙兵, 等. 干旱区灌溉及施肥措施下棉田土壤的呼吸特征[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(14): 77-84.
- [13] 贺美, 王立刚, 王迎春, 等. 长期定位施肥下黑土呼吸的变化特征及其影响因素[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(4): 151-161.
- [14] 郭丽, 郑春莲, 曹彩云, 等. 长期咸水灌溉对小麦光合特性与土壤盐分的影响[J]. *农业机械学报*, 2017, 48(1): 183-190.
- [15] 朱延凯, 王振华, 李文昊. 不同盐胁迫对滴灌棉花生理生长及产量的影响[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(2): 298-305.
- [16] 张前兵, 杨玲, 王进, 等. 干旱区不同灌溉方式及施肥措施对棉田土壤呼吸及各组分贡献的影响[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(12): 2420-2430.
- [17] 张宇, 张海林, 陈继康, 等. 耕作方式对冬小麦田土壤呼吸及各组分贡献的影响[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(9): 3354-3360.
- [18] 车宗玺, 刘贤德, 王顺利, 等. 祁连山放牧草原土壤呼吸及影响因子分析[J]. *水土保持学报*, 2008, 22(5): 172-175.
- [19] 张晓龙, 沈冰, 权全, 等. 渭河平原农田冬小麦土壤呼吸及其影响因素[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(8): 2551-2560.
- [20] Fang C, Moncrieff J B. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33(2): 155-165.
- [21] Liu X Z, Wan S Q, Su B, et al. Response of soil CO₂ efflux to water manipulation in a tallgrass prairie ecosystem [J]. *Plant and Soil*, 2002, 240(1/2): 213-223.
- [22] 陈全胜, 李凌浩, 韩兴国, 等. 水分对土壤呼吸的影响及机理[J]. *生态学报*, 2002, 23(5): 972-978.
- [23] 陈亮, 刘子亭, 韩广轩, 等. 环境因子和生物因子对黄河三角洲滨海湿地土壤呼吸的影响[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(6): 1795-1803.
- [24] 匡经舸, 李琬婷, 程小毛, 等. 两种樱花植物的光合速率日变化及其与环境因子的相关性分析[J]. *北方园艺*, 2017(12): 78-82.
- [25] 厉书豪, 李曼, 张文东, 等. CO₂ 加富对盐胁迫下黄瓜幼苗叶片光合特性及活性氧代谢的影响[J]. *生态学报*, 2019, 39(6): 2-9.
- [26] 李晨曦, 何章, 夏冬冬, 等. 农田人参叶片净光合速率日变化及其与环境因子的关系[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2017, 45(9): 199-205.
- [27] 刘瑜, 尹飞虎, 曾胜和, 等. 大气 CO₂ 浓度升高对棉花叶绿素和光合指标的影响[J]. *新疆农业科学*, 2013, 50(11): 1991-1999.
- [28] 刘芳婷, 范文波, 张金玺, 等. 膜下滴灌棉田土壤呼吸特征及其影响因素[J]. *排灌机械工程学报*, 2018, 36(8): 767-772.
- [29] 王珊, 党晓宏, 高永, 等. 西鄂尔多斯高原 5 种荒漠灌丛土壤碳排放特征[J]. *干旱区研究*, 2018, 35(4): 796-803.

(上接第 171 页)

- [12] 周桂玉, 窦森, 刘世杰. 生物质炭结构性质及其对土壤有效养分和腐殖质组成的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(10): 2075-2080.
- [13] 牛亚茹, 付祥峰, 邱良祝, 等. 施用生物质炭对大棚土壤特性、黄瓜品质和根结线虫病的影响[J]. *土壤*, 2017, 49(1): 57-62.
- [14] 王成己, 陈庆荣, 陈曦, 等. 烟秆生物质炭对烟草根际土壤养分及细菌群落的影响[J]. *中国烟草科学*, 2017, 38(1): 42-47.
- [15] 李丽, 王雪艳, 田彦芳, 等. 生物质炭对土壤养分及设施蔬菜产量与品质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2018, 24(5): 1237-1244.
- [16] 谢国雄, 王道泽, 吴耀, 等. 生物质炭对退化蔬菜地土壤的改良效果[J]. *南方农业学报*, 2014, 45(1): 67-71.
- [17] 宋丹丹, 何丙辉, 罗松平, 等. 黑麦草和生物炭对喀斯特地区黄壤养分影响研究[J]. *草业科学*, 2018, 27(4): 195-201.
- [18] 吴涛, 冯歌林, 曾珍, 等. 生物质炭对盆栽黑麦草生长的影响及机理[J]. *土壤学报*, 2017, 54(2): 525-534.
- [19] 贵州省土壤普查办公室. 贵州土种志[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1994.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [21] 靖彦, 陈效民, 李秋霞, 等. 生物质炭对红壤中硝态氮和铵态氮的影响[J]. *水土保持学报*, 2013, 27(6): 265-269.
- [22] 张登晓, 周惠民, 潘根兴, 等. 城市园林废弃物生物质炭对小白菜生长、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.
- [23] 周强, 李嘉雨, 黄兆琴, 等. 培养条件下生物炭对土壤锌的吸附作用[J]. *土壤通报*, 2017, 48(4): 969-974.