

丛铭,张梦阳,夏浩,等.施用生物炭对红壤中不同形态钾含量及小白菜生长的影响[J].华中农业大学学报,2020,39(4):22-28.

DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2020.04.004

施用生物炭对红壤中不同形态钾含量及小白菜生长的影响

丛铭,张梦阳,夏浩,姜存仓

华中农业大学资源与环境学院,武汉 430070

摘要 为研究施用生物炭对南方红壤不同形态钾含量及小白菜生长的影响,采用盆栽试验,设置 0% C(CK)、1% C、2% C、4% C 和正常施用钾肥(K)5 个处理,并土培种植“热绿二号”小白菜。结果表明:与对照(CK)相比,土壤中水溶性钾、交换性钾、非交换性钾的含量在施用生物炭后分别提高 12.6%~51.8%、13.3%~43.5%、10.3%~26.1%。4% C 处理相比施用正常水平钾肥对各种形态钾增加量最接近。土壤 pH、速效磷、速效钾和有机质含量显著提高,其中 pH 增加 0.06~0.25;同时,阳离子交换量、交换性钙、镁含量也显著提高,而交换性铝含量显著降低,降幅达到 87%~98%。此外,施用生物炭提高了小白菜的生物量、叶片数、株高和鲜质量等农艺性状。

关键词 生物炭;红壤;钾含量;缺钾;小白菜;土壤改良;生物炭替代钾素

中图分类号 S 153.6 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2020)04-0022-07

生物炭是生物质在贫氧环境中热解的产物,它具有丰富的空隙结构,表面具有大量的含氧官能团^[1]。大量研究表明^[2-3],生物炭添加可以改善土壤性质、养分状况以及土壤微生物性质,进而促进植物生长。生物炭本身富集了大量的钾,在施入土壤中会快速释放出来供给植物利用^[4]。除此直接作用,生物炭施入土壤后可以在短时间内和土壤发生反应,例如酸碱、氧化还原反应,改变土壤 pH^[5],生物炭一般呈碱性,施入土壤后会使得 pH 升高。研究表明,pH 升高有利于土壤对 K⁺ 的固定^[6],从而降低对植物有效性贡献较高的交换性钾含量。另外,生物炭具有较高的 CEC,可以增加土壤对 K⁺ 的吸附能力,减少其淋溶损失^[7]。同时,生物炭特殊的多孔结构可以吸附酸性土壤中的 Al³⁺,增加被 Al³⁺ 占据而不能进入层间穴位的钾离子,从而减少土壤钾素的流失^[8]。生物炭还可以改变土壤的微生物活性,包括对钾素生物有效性影响很重要的解钾菌群^[9]。

我国南方地区高温多雨,碱性离子淋溶强烈,土壤普遍缺钾,钾素缺乏是限制南方红壤(酸性土壤)肥力提高的主要影响因素之一^[10]。基于此,本研究通过设置不同生物炭施用量,研究生物炭施用对南方红壤不同形态钾含量和小白菜生长的影响,以期作为土壤改良和生物炭替代钾素提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤为华中农业大学试验基地耕作后的酸性红壤,基本理化性质为:pH 4.5、有机质 2.9 g/kg、碱解氮 81.2 mg/kg、速效磷 2.53 mg/kg、速效钾 201.5 mg/kg。

供试材料为沈阳农业大学提供的以花生壳为原料在 400 °C 条件下制备的生物炭(primary biochar, PB),基本性质见表 1。试验所用小白菜种子为“热绿二号”品种。

表 1 生物炭的基本性质

Table 1 Basic properties of biochar

指标 Indicators	pH	C/%	H/%	O/%	N/%	K/%	Ca/%	Mg/%
数值 Number	7.86	56.46	3.84	24.06	1.42	0.49	2.30	0.77

收稿日期:2019-12-11

基金项目:国家重点研发计划专项(2017YFD0200803)

丛铭,硕士研究生.研究方向:植物营养与养分高效利用. E-mail: cm313058784@163.com

通信作者:姜存仓,博士,教授.研究方向:植物营养机制与施肥. E-mail: jcc2000@mail.hzau.edu.cn

1.2 试验设计

试验共5个处理:CK(不施生物炭,不施钾肥)、K(不施生物炭,正常施钾肥)、C1(1%生物炭,不施钾肥)、C2(2%生物炭,不施钾肥)、C4(4%生物炭,不施钾肥),生物炭施用比例为 m_1/m_2 ,其中 m_1 为施用生物炭质量, m_2 为红壤质量。所有处理施底肥 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.943 g/kg 和 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 1.155 g/kg。另外,钾肥处理额外施加 0.382 g/kg KCl,即施肥 N 0.20 g/kg, P_2O_5 0.23 g/kg, K_2O 0.24 g/kg,每个处理4次重复。每盆栽1.5 kg 过筛(筛孔直径2 mm)的风干土,将过筛(筛孔直径0.425 mm)的生物炭与土壤和肥料混合均匀,盛入塑料盆中,随后在每盆土壤表面播撒20粒小白菜种子,在后续进行间苗,保留长势相似的2株苗,通过每天早上和晚上各浇等量去离子水保持水分至75%田间持水量,试验于2018年8月4日开始,2018年9月18日收获。

1.3 样品采集与测定

植物样品:期间间苗2次。收获时分别测量小白菜的株高、叶片数、叶面积,使用便携式叶绿素仪测定叶绿素含量(统一测定第3片叶),最后将小白菜整株采集,称鲜质量,烘干至恒质量,保存。

土壤样品:土样于试验收样后一并回收、风干,后将风干土样磨细过筛孔直径0.85 mm和0.15 mm筛,分别放入自封袋保存,供后续土壤不同形态的钾和其他理化指标的测定。

土壤理化性质测定方法,具体为:土壤pH值采用pH计法测量(水土质量比2.5:1);土壤碱解氮采用碱解扩散法;水溶性钾用水提取-火焰分光光度法;速效钾用醋酸铵提取-火焰分光光度计法;缓效钾用1 mol/L热硝酸法浸提-火焰分光光度法;全钾用NaOH熔融-火焰分光光度法;速效磷用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法;有机质用重铬酸钾容量法-外加热法;土壤交换性钙镁含量用乙酸铵交换-原子吸收分光光度计测定。

用庞叔薇等^[11]提出的浸提方法测定土壤活性 Al^{3+} 的含量;土壤CEC采用氯化钡缓冲液法测定^[12]。

生物炭的元素测定采用Zhao等^[13]方法:取0.2 g生物炭于50 mL坩埚中,在马弗炉中500℃加热4 h,得到灰分,溶解于25 mL浓度为1 mol/L HCl中,用火焰光度法测定 K^+ 含量,用原子吸收光谱仪测定 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等含量,用Vario EL III, CHNOS元素分析仪(德国)测定生物炭中C、H、O、

N元素含量。

1.4 数据处理

养分积累量^[14] = 养分含量 × 植株干物质积累量。

所有数据采用Excel和SPSS 20.0软件对数据进行统计和制图。

2 结果与分析

2.1 生物炭对小白菜生长及农艺性状的影响

由图1可知,CK和K处理的小白菜未长成,仅有较低生物量存在,说明南方红壤(酸性土壤)严重抑制了小白菜的生长。生物炭处理的小白菜生长较好,另外,4%C比2%C处理的小白菜长势好,且二者均要明显好于1%C的小白菜,说明在一定范围内,随着生物炭施用量增加,小白菜生长效果越好。

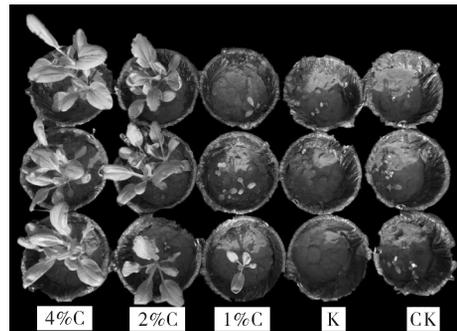


图1 不同生物炭用量下小白菜的长势差异

Fig.1 Growths differences of pakchoi under different biochar addition

由表2可知,生物炭施用显著增加了小白菜的叶片数和叶中的叶绿素含量,同时促使叶片伸长和植株增高,增加了小白菜的生物量,明显改善了红壤种植的小白菜生长发育状况。

2.2 生物炭对小白菜养分含量的影响

由表3可知,添加生物炭后小白菜中的P、K养分含量随生物炭施用量增加逐渐提高,达到显著性差异水平,其中4%C处理与1%C处理相比,P、K含量分别增长了31.2%和53.7%。然而生物炭施用却造成了小白菜中N养分含量的下降。随着生物炭施用量增多,N含量在2%C和4%C处理比1%C处理中分别下降了39.9%和40.3%。我们还发现,施用生物炭后可以提高小白菜中N、P、K养分积累量,且随生物炭施用量增加而提高。结果表明,施用生物炭可以增加小白菜养分积累量,提高P、K养分含量。

表 2 生物炭对小白菜农艺性状的影响

Table 2 Effects of biochar on agronomic traits of packchoi

处理 Treatments	叶片数 N	叶面积 LA	叶绿素含量 SPAD	株高/cm Plant height	鲜质量/g m_f	干质量/g m_d
CK	—	—	—	—	—	—
K	—	—	—	—	—	—
1%C	5.0±1.6b	15.6±0.9c	45.3±1.7c	8.8±1.3b	1.6±0.36c	0.18±0.03b
2%C	9.0±2.4a	37.6±1.4b	51.1±0.1b	13.0±1.8a	17.8±1.50b	1.84±0.40a
4%C	10.0±1.4a	42.1±0.4a	60.1±0.6a	14.3±0.2a	21.9±1.57a	1.88±0.14a

注：“—”表示由于生物量太小或无生物量，该数据无法测出。不同小写字母表示在 $\alpha=0.05$ 水平差异显著。下同。Note：“—” means the data can't be measured because the biomass is too small or there is no biomass. Different small letters indicate that there are significant differences at $\alpha=0.05$. The same as below.

表 3 生物炭对小白菜养分含量的影响

Table 3 Effects of biochar on packchoi nutrient content

处理 Treatments	N		P		K	
	养分含量/(g/kg) Nutrient content	养分积累量/ (mg/plant) Nutrient accumulation	养分含量/(g/kg) Nutrient content	养分积累量/ (mg/plant) Nutrient accumulation	养分含量/(g/kg) Nutrient content	养分积累量/ (mg/plant) Nutrient accumulation
CK	—	—	—	—	—	—
K	—	—	—	—	—	—
1%C	24.30±0.05a	4.45±0.08b	1.410±0.009c	0.25±0.02c	5.640±0.015c	1.03±0.03c
2%C	14.60±0.01b	26.90±0.25a	1.550±0.004b	2.84±0.08b	7.210±0.011b	13.30±0.21b
4%C	14.50±0.04b	27.20±0.83a	1.850±0.002a	3.48±0.04a	8.670±0.012a	16.30±0.23a

2.3 生物炭对土壤理化性质的影响

由表 4 可知，向土壤中施入不同程度的生物炭后，与不施加生物炭相比，土壤中的速效磷、速效钾和有机质含量显著上升，但碱解氮含量却显著下降。另外，正常施钾处理中土壤速效钾含量显著上升，其他理化性质也得到了不同程度的改善。并且添加生物炭可以提高土壤的 pH 值，提高程度随生物炭施用量增加而增加。添加 4%、2%、1% 的生物炭分别使 pH 值比对照 (pH=4.66) 平均提高了 0.25、0.14、0.06，其中 4%、2% 生物炭处理的 pH 与对照相比达到显著性差异。

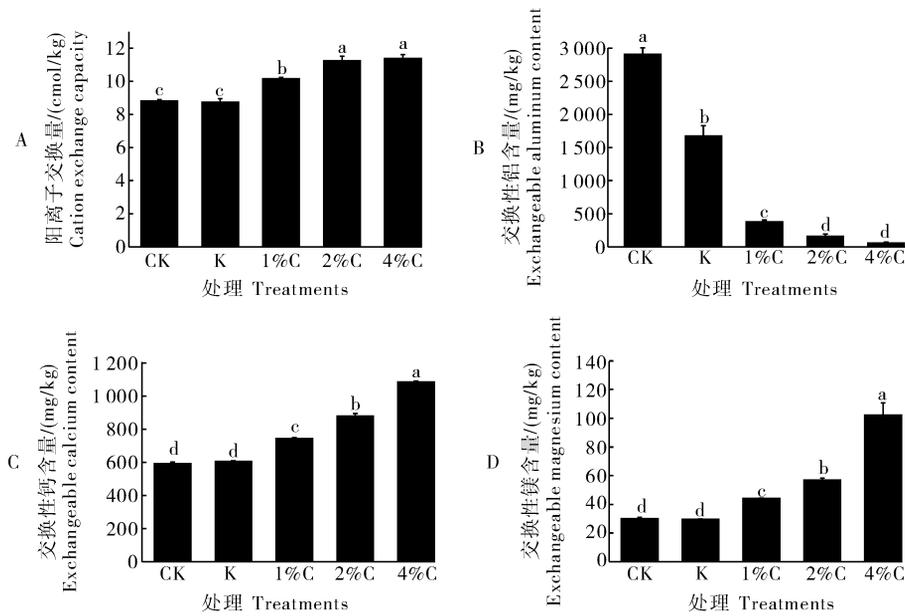
2.4 生物炭对土壤 CEC 和交换性阳离子含量的影响

由图 2 可知，随着生物炭使用量的增加，土壤 CEC 提高了 15.8%~29.3%。同时，土壤中的交换性 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 也有增加的趋势。其中，交换性 Ca^{2+} 与对照相比提高了 25.7%~83.2%，交换性 Mg^{2+} 与对照相比提高了 46.7%~240%，可能是由于生物炭携带的部分可溶性钙、镁所致。而对于土壤和植物有害的 Al^{3+} ，在施用生物炭后含量显著下降，且随生物炭施用量增加降低幅度增加，降幅达到 87%~98%，说明生物炭对于土壤中活性铝有着良好的吸

表 4 生物炭对土壤理化性质的影响

Table 4 Effects of biochar on physical and chemical properties of soil

处理 Treatments	pH	速效磷/(mg/kg) Rapid available phosphorus	速效钾/(mg/kg) Rapid available potassium	碱解氮/(mg/kg) Rapid available nitrogen	有机质/(g/kg) Organic matter
CK	4.66±0.00c	12.80±1.58cd	213.70±1.53d	248.60±6.24a	2.5±0.8d
K	4.56±0.04d	14.00±0.68bc	344.70±8.08a	206.70±0.94b	9.3±2.3c
1%C	4.72±0.06c	12.30±0.39d	256.30±10.79c	193.10±5.21c	6.9±1.1c
2%C	4.80±0.02b	15.10±0.64b	260.50±11.82c	150.10±4.27e	21.7±3.5b
4%C	4.91±0.01a	17.80±0.20a	310.70±6.03b	161.80±3.12d	45.1±2.6a



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。The different lowercase letters indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$).

图 2 生物炭对土壤 CEC(A)和交换性阳离子(B、C、D)的影响

Fig.2 Effects of biochar on CEC and exchangeable cations(B、C、D) in soil

附能力,对于缓解土壤酸性毒害、保持土壤肥力、延长肥效均具有促进作用。

2.5 生物炭对土壤不同形态钾含量的影响

由表 5 可知,添加生物炭后,土壤中的水溶性钾含量都高于 CK 处理。这说明施用生物炭可以显著提高土壤水溶性钾含量,且随生物炭施用量增加而增加。添加 1%、2%、4% 的生物炭分别使水溶性钾含量比对照提高了 23.5%、12.6%、51.8%,其中 1% C 和 4% C 处理与 CK 处理达到显著性差异。对于交换性钾,施用生物炭后,土壤的交换性钾含量都要高于 CK 处理。这说明施用生物炭可以显著提高土壤交换性钾含量。添加 1%、2%、4% 的生物炭分别使交换性钾含量比对照提高了 13.3%、24.0%、

43.5%,虽然 1% C 和 2% C 处理之间没有显著性差异,但可以看出土壤中交换性钾的含量明显随着生物炭施用量的增加而增加。添加 1%、2%、4% 的生物炭分别使红壤非交换性钾含量比对照提高了 10.3%、10.5%、26.1%,这与水溶性钾和交换性钾的变化趋势是类似的。同样地,1% C 和 2% C 处理之间并没有显著性差异,但均与 CK 处理有显著性差异。至于全钾,与之前的各种有效钾含量变化不同,土壤全钾含量在施用生物炭后 2% C、4% C 处理相较 CK 处理平均分别下降了 3.7% 和 1.9%,只有施用少量 1% C 处理全钾含量略微上升 0.62%,且所有生物炭处理与 CK 处理均无显著性差异。

表 5 生物炭对土壤不同形态钾含量的影响

Table 5 Effects of biochar on the content of different forms of potassium in soil

处理 Treatments	水溶性钾/(mg/kg) Water-soluble potassium	交换性钾/mg/kg Exchangeable potassium	非交换性钾/(mg/kg) Non-exchangeable potassium	全钾/(mg/kg) Total potassium
CK	39.60±2.47d	174.10±2.54c	465.30±6.11c	16.10±0.45b
K	83.40±0.05a	261.30±8.04a	596.00±14.42a	18.30±0.54a
1%C	48.90±7.27c	197.30±14.2b	513.30±6.11b	16.20±0.88b
2%C	44.60±5.28cd	215.90±12.6b	514.20±12.81b	15.50±0.79b
4%C	60.10±2.57b	249.90±5.70a	586.70±6.11a	15.80±0.17b

2.6 生物炭对土壤不同形态有效钾比例的影响

由图 3 可知,CK 处理中各种钾形态含量较添加生物炭处理含量低。施用 1% 生物炭处理,土壤水溶性钾、交换性钾、非交换性钾含量占有效钾总量分别为 6.4%、26.9%、66.7%;2% 生物炭处理水溶性钾、交换性钾、非交换性钾含量占有效钾总量分别为 5.8%、27.9%、66.4%;4% 生物炭处理水溶性钾、交换性钾、非交换性钾含量占有效钾总量分别为 6.8%、27.9%、65.4%。与 CK 处理相比,随着生物炭施用量的增加,生物炭处理的缓效钾占有效态钾总量的比例逐渐下降,在 1% C 和 4% C 处理中,均有逐渐转化为水溶性钾的趋势,但在 2% C 处理中其有转化为交换性钾保存在土壤中的倾向。可能是由于生物炭的添加,促进了非交换性钾中有效钾的释放,进而增加了土壤中水溶性钾和交换性钾的含量。随着生物炭施用量的增加,与对照相比,土壤有效钾含量也有所增加。

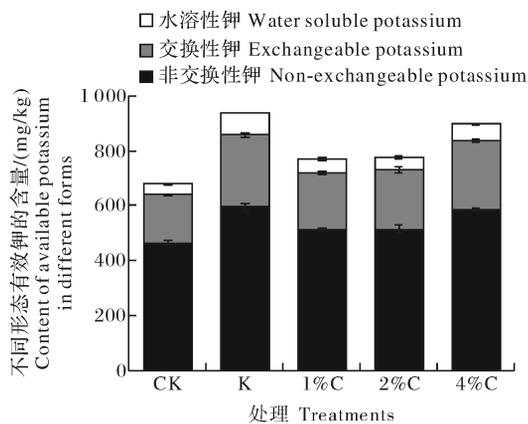


图 3 生物炭对不同形态有效钾比例的影响

Fig.3 Effects of biochar on different forms of available potassium

3 讨论

3.1 生物炭对土壤改良和作物生长发育的影响

本试验结果表明,施用生物炭提高了小白菜的生物量、叶片数、叶绿素和株高等指标,这可能是由于施用生物炭降低了土壤酸性、改善了红壤的理化性质、提高了土壤肥力,同时生物炭吸附了红壤中的 Al^{3+} ,从而促进小白菜更好地生长和发育,这与前人研究结果相符。王宇函等^[15]研究表明改良剂生物炭通过对土壤 pH、有机质、养分含量和交换性 Al^{3+} 含量等产生综合作用改善小白菜的生长状况,促进了酸性红壤中小白菜的生长。邵慧芸^[16]研究

表明生物炭处理提高了团棵期烟草的叶片数、株高、最大叶面积、地上和根干质量。

3.2 生物炭对土壤改良和不同形态钾素的影响

本试验结果显示,土壤 pH、速效磷、有机质、交换性钙和镁含量以及 CEC 水平在施用生物炭之后显著提高,这与黄超等^[17]研究结果一致。此外,我们还发现,土壤碱解氮和活性铝含量在施用生物炭后显著降低。武玉等^[18]研究发现,施用生物炭能降低土壤碱解氮的含量,且生物炭用量越多,降低效果越明显,这可能是因为施用生物炭能增加土壤 C/N 比进而导致土壤有效氮降低。同时,生物炭丰富多孔的结构及表面大量的含氧官能团对于重金属有较强的吸附能力,可以缓解酸性土壤铝毒。

生物炭含有大量的钾,且大多为可溶性的交换性钾,在施入土壤后会在短时间内迅速释放,这在一定程度上解释了本试验中施加生物炭后土壤中水溶性钾和速效钾含量较对照显著提高^[19]。除此之外,生物炭一般呈碱性,可提高土壤 pH。研究表明,pH 升高有利于土壤对 K^+ 的固定,从而降低对植物有效性较高的交换性钾含量。但本试验中 pH 对 K^+ 的固定作用不及生物炭对 K^+ 的促进作用,可能是生物炭还从其他方面促进 K^+ 的增加。有研究表明,生物炭具有较高的 CEC,可以增加土壤对 K^+ 的固定能力,减少其淋溶损失^[8]。生物炭进入土壤后,其芳香结构边缘在生物或非生物的氧化作用下能形成羧基功能团,进一步增加对阳离子的吸附值^[17]。本试验表明,生物炭施用后土壤 CEC、交换性 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量较对照显著提高,说明生物炭可以通过提高土壤对阳离子的吸附性能进而提高土壤钾含量。另一方面,生物炭特殊的多孔结构可以吸附酸性土壤中的 Al^{3+} ,增加被 Al^{3+} 占据而不能进入层间穴位的 K^+ 进而减少土壤钾素的流失^[9]。本试验中,生物炭大幅度降低了土壤中的 Al^{3+} ,而土壤水溶性钾和速效钾显著高于对照,说明生物炭可以通过吸附 Al^{3+} 并增加 K^+ 进入层间穴位机会来增加土壤钾素含量。

施用生物炭后非交换性钾含量增加,原因一是可能由于生物炭施入土壤后,迅速释放的钾素一部分被土壤黏土矿物固定起来^[20];二是生物炭施用后水溶性钾和交换性钾的增加,并向非交换性钾转化,使土壤中非交换性钾含量升高^[21]。然而,虽然非交换性钾含量是上升的,但是其占有效性钾总量(水溶性钾、交换性钾和非交换性钾之和)的比例却随着生

物炭施用量的增多而减小,而水溶性钾和交换性钾占有有效钾总量的比例却在上升。这说明施用生物炭提高土壤水溶性钾和交换性钾含量的能力比非交换性钾更强,可以更快地满足植物对交换性钾的吸收和利用。另外,4% C处理改善土壤钾素情况与正常施用钾肥对各种形态钾提升效果最为接近。其中土壤交换性钾和非交换性钾与4% C处理之间已经没有显著性差异,水溶性钾和全钾含量与4% C处理分别高出37.2%和15.8%,这说明施用生物炭可以替代化学钾肥,补充作物所需的钾素营养。

参考文献 References

- [1] LEHMANN J, JOSEPH S. Biochar for environmental management: science, technology and implementation[J]. *Science and technology*, 2015, 25(1): 15801-15811.
- [2] 卜晓莉, 薛建辉. 生物炭对土壤生境及植物生长影响的研究进展[J]. *生态环境学报*, 2014(3): 535-540. BU X L, XUE J H. Biochar effects on soil habitat and plant growth: a review[J]. *Ecology and environment sciences*, 2014(3): 535-540 (in Chinese with English abstract).
- [3] 王彩云, 武春成, 曹霞, 等. 生物炭对温室黄瓜不同连作年限土壤养分和微生物群落多样性的影响[J]. *应用生态学报*, 2019, 30(4): 1359-1366. WANG C Y, WU C C, CAO X, et al. Effects of biochar on soil nutrition and microbial community diversity under continuous cultivated cucumber soils in greenhouse[J]. *Chinese journal of applied ecology*, 2019, 30(4): 1359-1366 (in Chinese with English abstract).
- [4] 李明, 李忠佩, 刘明, 等. 不同秸秆生物炭对红壤性水稻土养分及微生物群落结构的影响[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(7): 1361-1369. LI M, LI Z P, LIU M, et al. Effects of different straw biochar on nutrient and microbial community structure of a red paddy soil[J]. *Scientia agricultura sinica*, 2015, 48(7): 1361-1369 (in Chinese with English abstract).
- [5] GASKIN J W, SPEIR R A, HARRIS K, et al. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield[J]. *Agronomy journal*, 2010, 102(2): 623-633.
- [6] JOSEPH S D, CAMPS-ARBESTAIN M, LIN Y, et al. An investigation into the reactions of biochar in soil[J]. *Soil research*, 2010, 48(7): 501-515.
- [7] 徐晓燕, 马毅杰, 张瑞平. 土壤中钾的转化及其与外源钾的相互关系的研究进展[J]. *土壤通报*, 2003, 34(5): 489-492. XU X Y, MA Y J, ZHANG R P. Advances in studies on the transformation of potassium in soil and its relationship with exogenous potassium[J]. *Chinese journal of soil science*, 2003, 34(5): 489-492 (in Chinese with English abstract).
- [8] 聂新星, 陈防. 生物炭对土壤钾素生物有效性影响的研究进展[J]. *中国土壤与肥料*, 2016(2): 1-6. NIE X X, CHEN F. Advances of the effects of biochar application on soil potassium bioavailability[J]. *Soils and fertilizers sciences in China*, 2016(2): 1-6 (in Chinese with English abstract).
- [9] 梁成华, 魏丽萍, 罗磊. 土壤固钾与释钾机制研究进展[J]. *地球科学进展*, 2002, 17(5): 679-684. LIANG C H, WEI L P, LUO L. Advance in research on mechanisms of potassium releasing and fixing in soils[J]. *Advance in earth sciences*, 2002, 17(5): 679-684 (in Chinese with English abstract).
- [10] 岳龙凯, 蔡泽江, 徐明岗, 等. 长期施肥红壤钾素在有机无机复合体中的分布[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(6): 1551-1562. YUE L K, CAI Z J, XU M G, et al. Distribution of potassium in the organo-mineral complexes of red soils under long-term fertilization[J]. *Plant nutrition and fertilizer science*, 2015, 21(6): 1551-1562 (in Chinese with English abstract).
- [11] 庞叔薇, 康德梦, 王玉保, 等. 化学浸提法研究土壤中活性铝的溶出及形态分布[J]. *环境化学*, 1986(3): 70-78. PANG S W, KANG D M, WANG Y B, et al. Study on dissolution and distribution of active aluminum in soil by chemical extraction[J]. *Environmental chemistry*, 1986(3): 70-78 (in Chinese with English abstract).
- [12] 王虹, 崔桂霞. 用氯化钡缓冲液法测定土壤阳离子交换量[J]. *土壤*, 1989(1): 49-51. WANG H, CUI G X. Determination of soil cation exchange amount by cesium chloride buffer method[J]. *Soils*, 1989(1): 49-51 (in Chinese).
- [13] ZHAO R D, JIANG D W, NEIL C, et al. Effects of biochar on the acidity of a loamy clay soil under different incubation conditions[J]. *Journal of soil & sediments*, 2015, 15(9): 1919-1926.
- [14] 王永华, 黄源, 辛明华, 等. 周年氮磷钾配施模式对砂姜黑土玉米轮作体系籽粒产量和养分利用效率的影响[J]. *中国农业科学*, 2017, 50(6): 1031-1046. WANG Y H, HUANG Y, XIN M H, et al. Effects of the year-round management model of N, P and K combined application on grain yield and nutrient efficiency of wheat-maize rotation system in lime concretion black soil[J]. *Scientia agricultura sinica*, 2017, 50(6): 1031-1046 (in Chinese with English abstract).
- [15] 王宇函, 吕波, 张林, 等. 不同土壤改良剂对酸性铝富集红壤毒性缓解效应的差异[J]. *华中农业大学学报*, 2019, 38(2): 73-80. WANG Y H, LYU B, ZHANG L, et al. Differences in toxicity mitigation effects of different amendments on acidic aluminum-enriched red soil[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2019, 38(2): 73-80 (in Chinese with English abstract).
- [16] 邵慧芸. 有机物料施用对壤土有机碳组分和团聚体的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019. SHAO H Y. Effects of different organic materials on soil organic carbon fractions and aggregates of Lou soil[D]. Yangling: Journal of Northwest A & F University, 2019 (in Chinese with English abstract).
- [17] 黄超, 刘丽君, 章明奎. 生物质炭对红壤性质和黑麦草生长的影响[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2011, 37(4): 439-445. HUANG C, LIU L J, ZHANG M K. Effects of biochar on properties of red soil and ryegrass growth[J]. *Journal of Zhejiang University (agriculture life sciences)*, 2011, 37(4): 439-445 (in Chinese with English abstract).

- [18] 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.WU Y,XU G,LYU Y C,et al.Effects of biochar amendment on soil physical and chemical properties:current status and knowledge gaps[J].Advances in earth science,2014,29(1):68-79(in Chinese with English abstract).
- [19] PANDIT N R,MULDER J,HALE S E,et al.Biochar improves maize growth by alleviation of nutrient stress in a moderately acidic low-input nepalese soil[J].Science of the total environment,2018,625:1380-1389.
- [20] 丛日环,李小坤,鲁剑巍.土壤钾素转化的影响因素及其研究进展[J].华中农业大学学报,2007,26(6):907-913.CONG R H,LI X K,LU J W.Advances in research on influence factors of soil potassium transformation[J].Journal of Huazhong Agricultural University,2007,26(6):907-913(in Chinese with English abstract).
- [21] 占丽平,李小坤,鲁剑巍,等.水旱轮作条件下不同类型土壤供钾能力及钾素动态变化研究[J].土壤学报,2013,50(3):591-599.ZHAN L P,LI X K,LU J W,et al.Potassium supply capacity of and potassium dynamics in different types of soils under paddy rice-ryegrass rotation[J].Acta pedologica sinica,2013,50(3):591-599(in Chinese with English abstract).

Effect of biochar application on potassium content of different forms in red soil and the growth of pakchoi

CONG Ming,ZHANG Mengyang,XIA Hao,JIANG Cuncang

College of Resources and Environment,Huazhong Agricultural University,Wuhan 430070,China

Abstract “Hot Green No. 2” pakchoi was pot-planted with five treatments including 0% C,1% C,2% C,4% C and normal application of potassium fertilizer to investigate the effects of biochar application on potassium content of different forms in red soil and the growth of pakchoi. Results showed that the effects of biochar on content of water-soluble potassium,exchangeable potassium and non-exchangeable potassium in red soil were increased by 12.6%-51.8%,13.3%-43.5% and 10.3%-26.1%, respectively, compared to the control. The effect of biochar on improving different forms of potassium between 4% C and normal potassium was the most similar. Biochar application increased soil pH value significantly by 0.06-0.25 units,as available phosphorus,available potassium and organic carbon in soil. Also the cation exchange capacity,exchangeable calcium and magnesium content increased significantly,while the exchangeable aluminum content decreased significantly with a decrease of 87%-98%. Biochar application could improve pakchoi growth performance as increasing the biomass,leaf number,plant height and fresh weight of pakchoi.

Keywords biochar; red soil; potassium content; potassium shortage; pakchoi; soil improvement; biochar replacement of potassium

(责任编辑:赵琳琳)