

施加炭基缓释肥对土壤氮素流失的影响

陈 蕾¹, 高山雪¹, ZHOU George²

(1.南京林业大学 土木工程学院, 南京 210037; 2.美国普渡大学 土木工程学院, 美国 印第安纳州 西拉法叶 47906)

摘 要:蔬菜地氮肥用量大、灌水量和频率较高,因而氮素流失量大,给周边水体带来严重的污染,因此改善肥料施用方式或开发环境友好型的肥料是当前的发展趋势。以荷叶为原料烧制生物质炭,并以其为包膜材料制备炭基缓释肥,通过盆栽试验和人工降雨试验,研究了常规施用复合肥、添加荷叶生物质炭以及施用炭基缓释肥对小白菜种植土壤中氮素的渗漏流失及径流流失的影响。研究发现:小白菜种植土壤渗漏流失及径流流失的氮素以硝态氮为主。与常规施用复合肥相比,添加荷叶生物质炭使小白菜增产 32.6%,对土壤总氮的渗漏流失量削减了 26.9%,对土壤总氮的大雨径流流失量削减了 23.3%,对土壤总氮的暴雨径流流失量削减了 32.3%;而施用炭基缓释肥使小白菜增产 42.8%,对土壤总氮的渗漏流失量削减了 36.6%,对土壤总氮的大雨径流流失量削减了 38.1%,对土壤总氮的暴雨径流流失量削减了 43.6%。因此,利用农业废物资源荷叶烧制生物质炭并制备炭基缓释肥,对减缓农业氮素流失,控制面源污染有着重要的应用前景。

关键词:农业工程;炭基缓释肥;盆栽试验;氮素流失

中图分类号:S147.2; S153.6; X53

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)06-0053-05

Effects of Application of Slow Release Fertilizer Coated with Biochar on the Nitrogen Loss in Soil

CHEN Lei¹, GAO Shanxue¹, ZHOU George²

(1.College of Civil Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2.School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana 47906, USA)

Abstract: Because of use of the large amount of nitrogen fertilizer and the high frequency of irrigation, the amount of nitrogen loss in vegetable soil is large, causing pollution of the surrounding water. Therefore, it is the current development trend to improve the fertilizer application way or to develop the environment-friendly fertilizer. Biochar was made from lotus leaves, and slow release fertilizer coated with biochar was prepared with biochar as its coating material. Through pot experiment and artificial rainfall experiment, the effects of conventional application of fertilizer, adding lotus leaf biochar and using slow release fertilizer coated with biochar on nitrogen leakage loss and runoff loss in the Pakchoi field were studied. It was found that nitrate nitrogen was the main form of nitrogen leakage and runoff loss in the Pakchoi soil. Compared with the conventional application of fertilizer, adding lotus leaf biochar increased the yield of Pakchoi by 32.6%, reduced the leakage loss of total nitrogen by 26.9%, reduced the heavy rain runoff loss of total nitrogen by 23.3% and reduced the rainstorm runoff loss of total nitrogen by 32.3%, while the application of slow release fertilizer coated with biochar increased the yield of Pakchoi by 42.8%, reduced the leakage loss of total nitrogen by 36.6%, reduced the heavy rain runoff loss of total nitrogen by 38.1% and reduced the rainstorm runoff loss of total nitrogen by 43.6%. Therefore, using agricultural waste resources to make biochar and to prepare slow release fertilizer coated with biochar has the important application prospect for reducing nitrogen loss in soil and controlling non-point source pollution.

Keywords: agricultural engineering; carbon-based slow release fertilizer; pot experiment; nitrogen loss

近年来,随着农业生产中化肥投入量的增加,而肥料利用率却未明显提高,在农业灌溉和自然降水等诸多因素的作用下,土壤中的氮素养分流失量大,农业面源污染严重,造成周边水体的富营养化^[1]。而蔬菜地复种指数高,氮肥用量比一般粮田大,种植过程中灌水量和频率也高于一般农田,因此蔬菜地的氮素流失更加严重^[2]。生物质炭是一类由植物生物质在300~700℃下热解炭化形成的一种高度芳香化、高稳定性以及多孔性的固态物质,含有丰富的有机碳和矿物质等^[3-4]。已有研究表明,生物质炭对改良土壤结构、提高蔬菜产量和品质以及保水保肥有着重要的作用,可一定程度减缓面源污染^[5-8]。荷花种植是南方地区重要的农业生产类型之一,每年产生大量的荷叶废弃物,而荷叶内部孔隙结构明显,因此烧制的生物质炭孔隙率将更高。但是目前还没有关于荷叶生物质炭施用于农田的研究。

随着农田面源污染问题的恶化,环境友好和资源节约型的新型肥料越来越受到重视。未来肥料的发展方向要求在保证作物产量的同时提高养分利用率及减少环境污染,而缓释肥是取代传统肥料的重要方向,不仅能够提高作物产量,而且有望解决目前高度集约化农业对环境的危害^[9]。缓释肥料受到越来越多的关注,原因在于其可以在农作物的整个生长过程中释放适量的养分供农作物吸收,促进农作物的生长,不仅可以增加肥料中养分的利用率,又能够减轻农业环境污染^[10-11]。周旻旻^[12]利用水稻秸秆烧制生物质炭,并制成包膜型缓释肥,施用于水稻田,发现对水稻田氮素的流失有显著的控制作用。但是目前还没有以荷叶生物质炭为包膜材料制成缓释肥施用于蔬菜地的研究。

本文以荷叶为原料烧制生物质炭,并以其为包膜材料制备炭基缓释肥,研究常规施用复合肥、添加荷叶生物质炭以及施用炭基缓释肥对小白菜种植土壤中氮素的渗漏流失及径流流失的影响,以期提高荷塘种植的废物资源化利用,推进生物质炭及炭基缓释肥在农业氮素流失与污染控制中的应用。

1 试验材料与方法

1.1 荷叶生物质炭的制备

将2017年11月初收割的荷叶(包括茎部分)经自然干燥后进行切割处理,处理后的原料长度 ≤ 3 cm,含水率 $\leq 20\%$ 。经马弗炉内400~500℃炭化,过0.35 mm筛^[13]。采用元素分析仪(PerkinElmer 2400)测定制得的生物质炭的C、H、N等元素含量,其中H/C=0.03, O/C=0.75(质量比)。

1.2 炭基缓释肥的制备

NPK复合肥芯(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15)购自山东绿沣肥料有限公司。腐殖酸和膨润土购自济宁润德高科新材料有限公司。粘结剂采用玉米淀粉,购自苏州高峰淀粉科技有限公司。将生物质炭粉末、膨润土和腐殖酸按6:1:2的质量比混合,放入打磨搅拌机中3 min,喷入玉米淀粉溶液,待物料湿润均匀后再加入颗粒肥,然后不断揉搓,直至绝大多数混合膜材料粘上颗粒肥。将所有物料放入90℃的滚筒,继续喷涂少量淀粉溶液,30 min后将成型的缓释肥取出冷却,过10目筛保存^[12]。制成的缓释肥中生物质炭的含量占24%,氮素的含量为9.2%。采用扫描电镜(日立SU9000)对制成的缓释肥剖面进行观测,结果如图1所示,可以看出炭基缓释肥外膜包裹紧密。

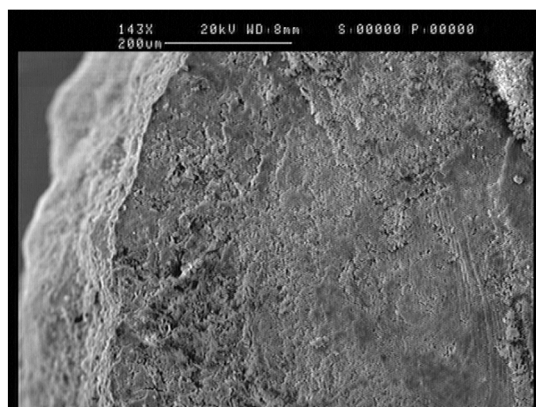


图1 炭基缓释肥剖面扫描电镜观察(放大143倍)

1.3 盆栽设置

供试土壤于2018年2月取自南京市湖熟镇的蔬菜农田。土壤pH值为6.7,有机质含量6.2 g/kg,氮含量0.8 g/kg。采集农田表层0—20 cm土壤样品,进行风干预处理,过2 mm筛,充分混合均匀备用。在每个盆钵(0.4 m×0.35 m×0.2 m)中装入风干的土壤10 kg。盆栽在撒入白菜种子之前设3个施肥处理,并与土壤混合均匀:(1) CK为常规复合肥;(2) BC为常规复合肥与200 g(土壤重量的2%)的荷叶生物质炭混匀;(3) SRF为炭基缓释肥。每个处理的氮素施加量相同,均为10 g/m²。试验于2018年4—5月在大棚里进行,每个盆钵撒入5 g小白菜种子,期间按照作物正常的需水进行浇水,共浇水6次,每次均匀浇水2 L。

1.4 土壤渗漏试验

在撒入白菜种子之前,各处理盆栽土壤的中心位置将内径5 cm的具有若干直径1 cm孔的渗漏管插入至底部,渗漏管周围用纱布包裹以防止土壤团聚体堵塞。每次浇水后待渗滤管内液面不再变化时用真空注射器快速吸取渗漏管内的水样,测定渗滤液体积及氮素浓度,计算流失的氮素含量。

1.5 人工降雨试验

在各处理的盆钵一侧略高于土壤表面处设置出水阀。在作物生长第5天时,实施人工降雨,降雨强度分别为24 h降雨量40 mm(大雨)以及80 mm(暴雨),降雨历时20 min。从出水口收集径流,取样时间为5,10,15,20,25 min,每次取样量为50 ml,测定氮素浓度,并计算平均浓度^[12]。

1.6 分析方法

水样氮素测定:参照国家环境保护总局颁布的《水和废水监测分析方法》,采用紫外分光光度法测定溶液硝态氮的浓度;采用纳氏试剂比色法测定溶液铵态氮浓度;采用过硫酸钾法测定溶液总氮浓度^[14]。

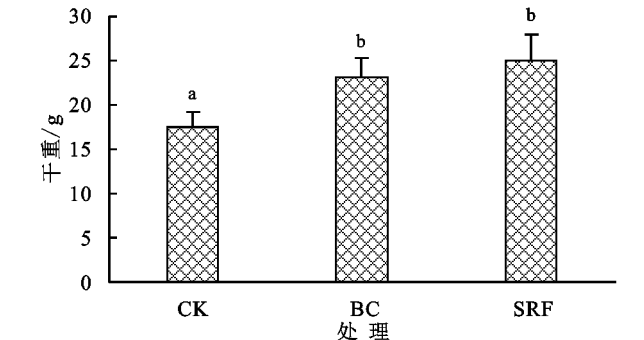
种植40 d后收取每个盆钵里的整棵蔬菜(包含地下根系部分),置于105℃烘箱烘干过夜至恒重,冷却后称重。

统计分析:采用SPSS 16.0对数据进行单因素方差分析和LSDT检验($\alpha=0.05$), $p>0.05$ 视为无显著性影响, $p<0.05$ 视为具有显著性影响。

2 结果与分析

2.1 不同处理对小白菜产量的影响

不同处理条件下小白菜的产量如图2所示。常规施用复合肥时,小白菜的平均产量为17.5 g/盆,添加荷叶生物质炭时小白菜的平均产量为23.2 g/盆,施用炭基缓释肥时小白菜的平均产量达到了25.0 g/盆。和常规施肥相比,添加荷叶生物质炭和施用炭基缓释肥均对小白菜的产量产生了显著的促进作用,分别使产量增加了32.6%,42.8%;而添加荷叶生物质炭和施用炭基缓释肥之间对小白菜产量的影响并无显著差异。



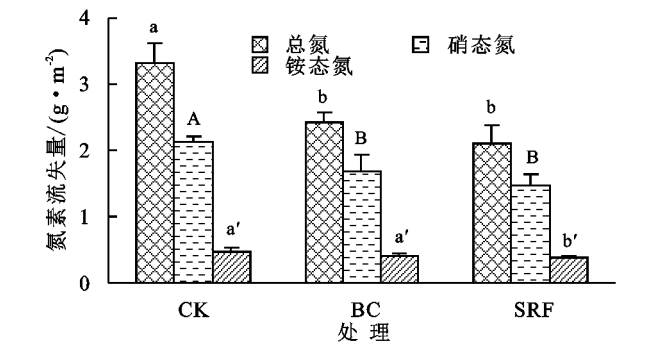
注:不同小写字母表示在 $p\leq 0.05$ 水平下的差异显著性,下图同。

图2 不同处理条件下小白菜的产量

2.2 不同处理对土壤氮素渗漏流失的影响

不同处理条件下土壤渗液中总氮、氨氮和硝态氮的流失量如图3所示。当常规施用复合肥时,土壤总氮的流失量占施氮总量的33.1%,其中硝态氮流失量占施氮总量的21.2%,铵态氮流失量占施氮总量的4.6%。当添加荷叶生物质炭时,总氮、硝态氮和铵态

氮的流失量平均值下降,分别占施氮总量的24.2%,16.8%,4.1%。当施用炭基缓释肥时,总氮、硝态氮和铵态氮的流失量平均值进一步减少,分别占施氮总量的21.0%,14.7%,3.8%。从以上数据可以看出,小白菜种植土壤氮素渗漏流失的主要形态是硝态氮。



注:不同大写字母表示5%的显著差异,下图同。

图3 不同处理条件下土壤氮素的渗漏流失量

经统计分析得出,与常规施用复合肥相比,添加荷叶生物质炭显著降低了土壤中总氮和硝态氮的渗漏流失量,对铵态氮的渗漏流失量无显著影响;而施用炭基缓释肥显著降低了土壤中总氮、硝态氮和铵态氮的渗漏流失量;添加荷叶生物质炭和施用炭基缓释肥两者之间对总氮和硝态氮的渗漏流失量的影响无显著性差异。

相对于常规施用复合肥,添加荷叶生物质炭对土壤总氮的渗漏流失削减了26.9%,对硝态氮的渗漏流失削减了20.8%。施用炭基缓释肥对土壤总氮的渗漏流失削减了36.6%,对硝态氮的渗漏流失削减了30.7%,对铵态氮的渗漏流失削减了16.5%。可见,添加荷叶生物质炭和施用炭基缓释肥均对土壤总氮的渗漏流失有明显的削减作用,且削减氮素形态以硝态氮为主。

2.3 不同处理对土壤氮素径流流失的影响

在模拟大雨条件下,小白菜种植土壤的径流中氮素的平均浓度如图4所示。常规施用复合肥时,径流中总氮的平均浓度为22.3 mg/L,其中硝态氮为14.1 mg/L,铵态氮为1.4 mg/L。当添加荷叶生物质炭时,径流中总氮的平均浓度下降,为17.1 mg/L,其中硝态氮为11.1 mg/L,铵态氮为1.2 mg/L。当施用炭基缓释肥时,径流中总氮的平均浓度进一步减少,为13.8 mg/L,其中硝态氮为9.4 mg/L,铵态氮为1.1 mg/L。由以上数据可以看出,小白菜种植土壤大雨径流流失的氮素形态以硝态氮为主。

进一步统计分析得出,与常规施用复合肥相比,添加荷叶生物质炭和施用炭基缓释肥均显著降低了土壤中总氮和硝态氮的大雨径流流失量,而对铵态氮的流失量均无显著影响,并且施用炭基缓释肥时总氮和硝态氮的大雨径流流失量比添加荷叶生物质炭时显著降低。

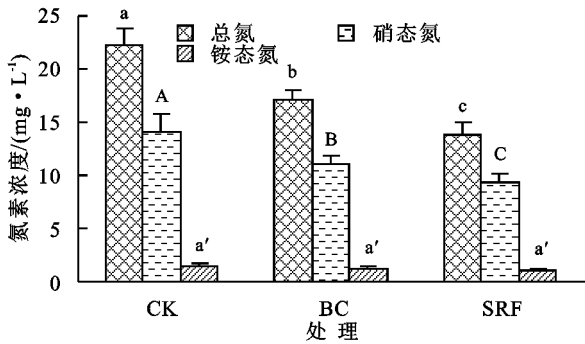


图4 不同处理条件下土壤氮素的大雨径流流失量

在模拟暴雨条件下,小白菜种植土壤径流中氮素的平均浓度如图5所示。常规施用复合肥时,径流中总氮的平均浓度为58.2 mg/L,其中硝态氮为43.7 mg/L,铵态氮为4.1 mg/L。当添加荷叶生物质炭时,径流中总氮的浓度降低,为39.4 mg/L,其中硝态氮为33.5 mg/L,铵态氮为3.3 mg/L。当施用炭基缓释肥时,径流中总氮的浓度进一步减少,为32.8 mg/L,其中硝态氮为27.2 mg/L,铵态氮为3.2 mg/L。与模拟大雨条件下相似,小白菜种植土壤暴雨径流流失的氮素形态也以硝态氮为主。与模拟大雨条件下相比,模拟暴雨条件下的径流中氮素浓度普遍更高。

统计分析的结果也与模拟大雨条件下的结果相一致,即添加荷叶生物质炭和施用炭基缓释肥均比常规施用复合肥显著降低了土壤中总氮和硝态氮的暴雨径流流失量,对铵态氮的流失量无显著影响;施用炭基缓释肥时总氮和硝态氮的暴雨径流流失量比添加荷叶生物质炭时显著降低。

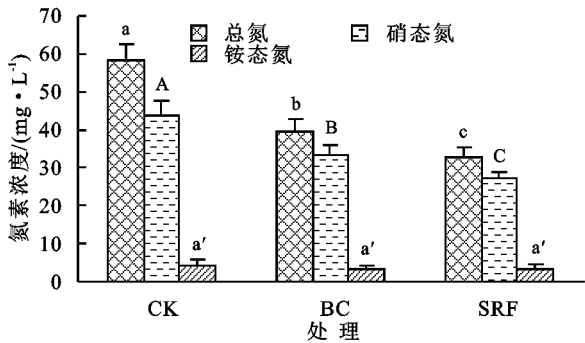


图5 不同处理条件下土壤氮素的暴雨径流流失量

相对于常规施用复合肥,添加荷叶生物质炭对土壤总氮的大雨径流流失削减了23.3%,其中对硝态氮的大雨径流流失削减了20.9%;对土壤总氮的暴雨径流流失削减了32.3%,其中对硝态氮的暴雨径流流失削减了23.3%。施用炭基缓释肥对土壤总氮的大雨径流流失削减了38.1%,其中对硝态氮的大雨径流流失削减了33.2%;对土壤总氮的暴雨径流流失削减了43.6%,其中对硝态氮的暴雨径流流失削减了37.6%。由此可见,添加荷叶生物质炭和施用炭基缓释肥对土壤总氮的径流流失有明显的削减作用,并且主要削减的是硝态氮的流失。

3 讨论

添加荷叶生物质炭以及施用炭基缓释肥均能显著提高小白菜的产量。关于生物质炭提高旱地作物产量已有很多报道^[15-16]。由于生物质炭除了含有丰富的有机碳,还含有大量钙、钾等矿物质,可以为蔬菜及土壤微生物提供更多的营养物质^[16]。生物质炭因其疏松多孔的结构特性,而具有疏松土壤、改良土壤结构的作用^[5]。另外生物质炭比表面积大,表面吸附能力也强,具有明显的保水保肥的效果^[17]。而将生物质炭和复合肥制成缓释肥进行施加依然能保留生物质炭促进作物生长的功能。

本研究发现小白菜种植土壤氮素的渗漏流失和径流流失的主要形态是硝态氮,这与其他研究者的研究结论相一致。通常旱地种植土壤渗漏流失的氮素形态主要是硝态氮,而水稻田土壤渗漏流失的氮素形态主要是铵态氮,且雨量越大,氮素的径流流失量也越大^[18]。添加荷叶生物质炭与施用炭基缓释肥均能有效削减土壤氮素的渗漏流失和径流流失,其他研究者也有类似的发现。如陈重军等^[19]对蔬菜地的研究发现添加不同材料来源的生物质炭能对蔬菜地土壤总氮的下渗流失有显著的减排作用。Lee等^[20]也发现生物质炭对如富含铁氧化物的土壤的氮素径流流失有很好的抑制作用。这主要是因为生物质炭的多孔结构以及表面存在的氧化钙、氧化镁、三氧化二铁等金属氧化物,具有较强的吸附作用,能吸附肥料中的氮素,起到固持养分的作用^[19]。同时,生物质炭具有较大的离子交换容量,能通过表面离子交换作用固持氮素离子,减少氮素的流失,并随着作物的吸收利用而缓慢释放氮素^[21]。此外,生物质炭成分中的一些物质能抑制土壤微生物的硝化作用,因而减少了氮素的流失^[22]。

将荷叶生物质炭和复合肥制成炭基缓释肥后对土壤氮素流失的削减作用明显强于直接添加等量的荷叶生物质炭。周旻旻^[12]的研究也发现水稻秸秆生物质炭制成的缓释肥对水稻田以铵态氮为主的氮素的渗漏流失和径流流失均有显著的削减作用。炭基缓释肥对氮素流失的抑制作用一方面来自包膜材料中的生物质炭的缓释作用,另一方面炭基缓释肥的包膜材料中还含有腐殖酸、膨润土等物质,也就有强的吸附作用,对氮素有一定的固持作用。此外,从图1可以看出,包膜涂层与颗粒肥料芯之间形成了一个具有一定疏水性的致密层,水和养分仅能从少量的孔隙中被释放,孔隙通道不直,比在新鲜的多孔生物炭中更难扩散。所以这个致密层起到了控制养分流失的有效屏障。因此,炭基缓释肥中氮素的释放速率比直接添加生物质炭时更加缓慢,故对土壤氮素的流失有更好的控制作用。

4 结论

小白菜种植土壤渗漏流失及径流流失的氮素形态主要是硝态氮。与常规施用复合肥相比,添加荷叶生物质炭和施用炭基缓释肥均显著提高小白菜的产量,分别增产 32.6%,42.8%;同时均显著降低了种植土壤总氮的渗漏流失量,分别削减了 26.9%,36.6%,其中主要削减的是硝态氮的流失。此外,添加荷叶生物质炭和施用炭基缓释肥均显著降低大雨和暴雨条件下土壤氮素的径流流失,对总氮流失的削减量达 23.3%~43.6%,削减的主要氮素形态为硝态氮,且施用炭基缓释肥比直接添加荷叶生物质炭对氮素流失的削减作用更好。因此,利用农业废物资源荷叶烧制生物质炭,并制备炭基缓释肥,对减缓农业氮素流失、控制面源污染有着重要的应用前景。本研究仅对一种农业废弃物荷叶烧制生物质炭和制备缓释肥,今后将对对比研究多种农业废弃物如水稻秸秆、小麦秸秆、高粱秸秆、玉米秸秆等制备的生物炭基缓释肥对农业氮磷流失的减缓能力,并深入开展机理方面的研究,实现回收利用农业废物资源,有效削减农业氮磷流失,控制水体面源污染。

参考文献:

- [1] 王磊,席运官,肖兴基,等.发展环水有机农业控制农业面源污染的政策与建议[J].农业环境科学学报,2017,36(8):1590-1594.
- [2] 陈森,李玮,陈歆,等.菜地土壤氮素迁移转化研究进展[J].中国瓜菜,2017,30(8):1-6.
- [3] 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.
- [4] Nguyen T T N, Xu C Y, Tahmasbian I, et al. Effects of biochar on soil available inorganic nitrogen: A review and meta-analysis[J]. Geoderma, 2017,288:79-96.
- [5] 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.
- [6] 韩召强,陈效民,陶朋闯,等.添加生物质炭对旱地红壤中硝态氮水平运移的影响[J].水土保持通报,2017,37(4):47-51.
- [7] 黄婷,倪杰强,许文霞,等.3种生物质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.
- [8] 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.
- [9] Jyothi A N, Pillai S S, Aravind M, et al. Cassava

starch-graft-poly (acrylonitrile)-coated urea fertilizer with sustained release and water retention properties[J]. Advances in Polymer Technology, 2018,37(7):2687-2694.

- [10] Olad A, Zebhi H, Salari D, et al. Slow-release NPK fertilizer encapsulated by carboxymethyl cellulose-based nanocomposite with the function of water retention in soil[J]. Materials Science & Engineering: C, 2018,90(1):333-340.
- [11] Mala R, Celsia A S, Bharathi S V, et al. Evaluation of nano structured slow release fertilizer on the soil fertility, yield and nutritional profile of *Vigna radiata* [J]. Recent Patents on Nanotechnology, 2017,11(1):50-62.
- [12] 周旻旻.水稻秸秆生物质炭基缓释肥的制备与应用研究[D].杭州:浙江大学,2013.
- [13] Wu W, Yang M, Feng Q, et al. Chemical characterization of rice straw-derived biochar for soil amendment [J]. Biomass & Bioenergy, 2012,47(4):268-276.
- [14] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002.
- [15] Tan X, Liu S, Liu Y, et al. Biochar as potential sustainable precursors for activated carbon production: Multiple applications in environmental protection and energy storage[J]. Bioresource Technology, 2017,227:359-372.
- [16] Hussain M, Farooq M, Nawaz A, et al. Biochar for crop production: potential benefits and risks[J]. Journal of Soils & Sediments, 2017,17(3):685-716.
- [17] Coomes O T, Miltner B C. Indigenous charcoal and biochar production: potential for soil improvement under shifting cultivation systems[J]. Land Degradation & Development, 2016,28(3):811-823.
- [18] 郑小龙,吴家森,陈裴裴,等.不同施肥与生物质炭配施对水稻田面水氮磷流失及产量的影响[J].水土保持学报,2013,27(4):39-43.
- [19] 陈重军,刘凤军,冯宇,等.不同原料来源生物质炭对蔬菜种植土壤氮磷流失的影响[J].农业环境科学学报,2015,34(12):2336-2342.
- [20] Lee C H, Wang C C, Lin H H, et al. In-situ biochar application conserves nutrients while simultaneously mitigating runoff and erosion of an Fe-oxide-enriched tropical soil [J]. Science of the Total Environment, 2018,619:665-671.
- [21] Taghizadeh-Toosi A, Clough T J, Sherlock R R, et al. Biochar adsorbed ammonia is bioavailable[J]. Plant & Soil, 2012,350(1/2):57-69.
- [22] Beck D A, Johnson G R, Spolek G A. Amending greenroof soil with biochar to affect runoff water quantity and quality[J]. Environmental Pollution, 2011,159(8):2111-2118.