

畜禽粪便与秸秆混合热解制备生物炭研究

张子豪 袁巧霞 代佩

华中农业大学工学院, 武汉 430070

摘要 以牛粪和猪粪为原料, 玉米芯秸秆为辅料, 采用管式反应器制备生物炭, 研究热解温度(200、300、400、500 ℃)和秸秆添加量(20%、40%、60%、80%)对畜禽粪便生物炭产率和理化特性的影响。结果显示, 随着热解温度的升高, 混合料生物炭产率降低, 挥发分含量逐渐降低, 而灰分含量、pH、全磷和全钾含量均呈递增趋势, 全氮含量呈先增后减趋势; 添加秸秆有利于改善畜禽粪便生物炭的 pH, 调节养分含量; 秸秆添加量为 20% 时, 牛粪秸秆混合生物炭的孔隙特性在 400 ℃ 表现最好, 猪粪秸秆混合生物炭的孔隙特性较差。牛粪秸秆混合生物炭相比猪粪秸秆混合生物炭有更好的炭产率、pH 和孔隙特性, 其较好的孔隙特性有利于其作为吸附剂等使用, 猪粪秸秆混合生物炭具有更好的养分特性, 可作为磷肥生产辅料或土壤改良剂使用。

关键词 生物炭; 秸秆; 畜禽粪便; 热解; 理化特性

中图分类号 TK 6; S 216 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2019)01-0133-06

近年来, 规模化、集约化畜禽养殖业的发展在带来巨大经济和社会效益的同时, 也产生了大量的畜禽粪便废弃物^[1]。据估算, 中国目前每年畜禽粪便的排放总量超过 3×10^9 t(鲜质量)^[2]。畜禽粪便已成为我国三大污染源之一, 大量畜禽粪便排放进入农业生态系统, 对生态环境造成严重的污染, 同时对我国农业可持续发展提出了巨大的挑战^[3]。目前, 畜禽粪便的主要处理方式生物化学转化, 如堆肥处理或沼气发酵, 在消耗处理的同时资源化利用^[4-5]。但这些处理方式普遍存在处理周期长、处理不彻底和效率低等缺点。采用热解技术对牛粪和猪粪进行处理, 则能避免上述传统堆肥和发酵处理的不足, 不仅具有高温灭菌、处理速度快、周期短、避免抗生素再次污染等优点, 还可获得生物炭、生物油和可燃气等高附加值产品^[6]。特别是生物炭具有的良好孔隙结构和理化特性, 在改良土壤结构和理化性质、促进微生物生存繁衍、促进作物养分吸收、提高作物产量与品质等方面具有重要作用^[7-12]。

与秸秆不同, 畜禽粪便含水量较高, 除影响脱水速率外, 脱水过程中的结团、结块还影响脱水及热解过程传热传质速率。为了提高热解效率, 笔者所在

课题组通过添加秸秆来调节畜禽粪便的水分和通透性, 从而提高热解效率, 但添加秸秆对其生物炭特性的影响需要进行深入研究。为此, 本研究选择玉米芯秸秆为辅料, 研究不同热解温度和不同秸秆添加量对畜禽粪便与秸秆混合物制备生物炭理化特性、养分特性和孔隙特性的影响, 旨在为畜禽粪便制备生物炭肥料化利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验使用的牛粪取自湖北省武汉市江夏区东征畜牧养殖有限公司, 猪粪原料取自华中农业大学养猪场, 玉米芯秸秆为网上购买。所有原料经自然风干后粉碎过孔径 420 μm 筛后装于自封袋并置于干燥密闭容器中备用。其中, 秸秆与畜禽粪便分别按质量比为 1:5、2:5、3:5、4:5 均匀混合, 分别记为秸秆添加量 20%、40%、60%、80%, 混合完成后编号并密封保存。

1.2 热解试验

畜禽粪便与秸秆热解试验在固定床管式反应器(SLG1200-100, 上海升利测试仪器有限公司)中进

收稿日期: 2018-01-26

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303091); 华中农业大学创新基金(2662016PY108); 中央高校基本科研业务费专项(2015PY077)

张子豪, 硕士。研究方向: 农业废弃物综合利用技术与装备。E-mail: zzhzau@163.com

通信作者: 袁巧霞, 教授。研究方向: 农业生物环境与能源工程。E-mail: qxyuan@mail.hzau.edu.cn

行。将猪粪与秸秆混合物和牛粪与秸秆混合物(分别记为 PS、CS)称质量后置于管式炉中,分别设置热解温度为 200、300、400、500 °C,反应器升温速率设定为 10 °C/min;在目标热解温度恒温热解时间为 1 h。每个样品重复 3 次,热解完成后冷却至室温后取出炭样密封保存。

1.3 主要指标分析方法

1)生物炭产率及碳转化率。生物炭产率及碳转化率按下式计算:生物炭产率=生物炭质量/原料质量×100%;碳转化率=炭产率×生物炭总碳含量/原料总碳含量。

称取生物炭 0.1 g,按照固液体积比 1:100 (g/mL)与去离子蒸馏水混合,放入振荡器中震荡 10 min,静置 30 min 后分别测定生物炭的 pH 值和 EC(电导率)值。

2)工业分析。水分、挥发分、灰分、固定碳等参照中华人民共和国农业行业标准(NY/T 1881.4—2010)。固定碳含量和产量计算公式为:固定碳含量=100%—挥发分—灰分。

3)养分分析。准确称取(0.100 0±0.001 0) g

试样于试管中,分别加入 10 mL H₂SO₄和 2 mL H₂O₂,置于 CEM MARS6 高通量密闭微波消解仪(美国 CEM 公司)中进行消解,消解完成后进行定容稀释,采用 Smartchem300 全自动分析仪(意大利爱利安斯公司)测定总 N、总 P 含量,总 K 含量采用火焰光度法测定。

4)样品物理参数。采用美国康塔仪器公司的 PoreMaster-33 GT 全自动压汞仪测定样品的平均孔径、总孔容积、比表面积、总孔隙率等。

2 结果与分析

2.1 对基本特性的影响

热解温度是影响生物炭产率的主要因素^[13-15]。图 1 表明,随着热解温度升高,秸秆与畜禽粪便混合物炭产率显著降低。以牛粪与秸秆混合物(CS)为例,200 °C时,秸秆添加量 20%和 80%的炭产率分别高达 99.15%和 96.88%,500 °C时相应炭产率下降至 51.42%和 44.06%,炭产率显著下降了约 50 个百分点。200 °C时,炭产率都接近 100%,这说明生物质还未达到其热解温度,热解处于水分蒸发阶段。

表 1 原料基本特性

Table 1 Basic properties of the materials

材料 Materials	pH	EC/ (μ S/cm)	工业分析/% Proximate analysis			组分/% Component			养分/(mg/g) Nutrient		
			灰分 Ash	挥发分 Volatile	固定碳 Fixed carbon	纤维素 Cellulose	半纤维素 Hemicellulose	木质素 Lignin	全 N TN	全 P TP	全 K TK
牛粪 Cow manure	9.13	714	33.89	54.51	11.60	23.88	24.44	7.59	17.07	11.43	7.43
猪粪 Pig manure	8.35	837	25.33	69.69	4.98	11.79	12.59	4.28	24.60	24.89	2.69
玉米芯 Corn cob	5.84	805	7.58	88.44	3.98	40.63	32.45	5.51	3.98	2.48	3.53

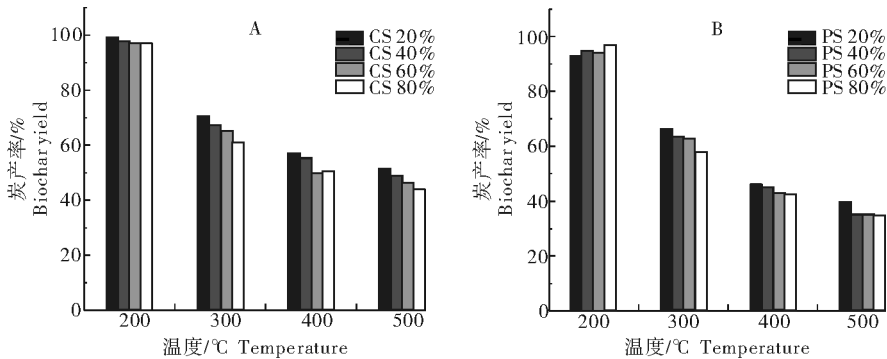


图 1 温度及混合比对牛粪秸秆混合物(A)和猪粪秸秆混合物(B)炭产率影响

Fig.1 Effect of temperature and mixing ratio on biochar production

由表 2 可知,200 °C 生物质原料在未完全热解前呈现中性偏弱酸性,热解后生物炭 pH 呈碱性。这是因为随着热解反应的进行,生物质中的可溶性

盐离子增加,同时生成 CO 和 CO₂ 等酸性气体以气体形式脱离生物质。随着热解温度的升高,CS、PS 的 pH 值呈递增趋势。随着秸秆添加量的提高,所

表 2 热解温度对 pH 的影响

Table 2 Effects of pyrolysis temperatures on pH in biochar

生物质 Biomass	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C
CS 20%	6.78±0.19b	7.17±0.14b	8.91±0.16a	9.16±0.15a
CS 40%	6.84±0.04a	7.27±0.07a	8.71±0.13a	8.90±0.15c
CS 60%	6.55±0.15a	7.67±0.11b	9.20±0.21b	9.51±0.26b
CS 80%	6.01±0.06a	7.26±0.30b	8.77±0.06a	9.70±0.20b
PS 20%	6.68±0.10b	6.79±0.32c	9.41±0.11a	9.74±0.09a
PS 40%	6.29±0.23a	7.74±0.18a	8.91±0.19a	10.18±0.17b
PS 60%	5.92±0.35c	7.55±0.14a	8.63±0.08a	9.98±0.13a
PS 80%	6.17±0.06b	7.26±0.05a	8.16±0.03a	9.04±0.05a

注：同行不同小写字母表示各处理间差异显著 ($P < 0.05$)，下同。Note: Different lowercase letters in the same line indicate significant differences ($P < 0.05$) between different treatments. The same as below.

得生物炭的 pH 值呈递减趋势。与植物生物炭相比，相同热解条件制备的畜禽粪便具有较高的 pH 值，而作物生长适宜环境一般为中性偏弱碱或弱酸性。因此，添加秸秆能够调节畜禽粪便生物炭的高 pH 值，作为土壤添加剂能够更适合植物生长。畜禽粪便与秸秆混合制备的生物炭作为土壤添加剂比单独的畜禽粪便生物炭更合适。

碳转化率越高，说明生物质在热解过程中得到的生物炭越多，生成的含碳元素气体越少。图 2 表明，随着热解反应温度的升高，碳转化率逐渐降低。热解温度一定时，随着秸秆添加量的增加，秸秆与畜禽粪便的碳转化率呈上升趋势。根据试验结果可估计单独成分热解碳转化率：玉米芯 > 牛粪 > 猪粪。

需要越高越好。因此，添加秸秆在改进固定碳含量的同时，也有助于增加生物炭中的有机质含量。

2.3 对生物炭大量元素养分含量的影响

对生物炭中大量元素的测定结果表明，畜禽粪便与秸秆混合制备的生物炭全磷含量和全钾含量随着热解温度的升高呈递增趋势，全氮含量在热解温度为 300 °C 时达到最大值(图 3)。这与 Baldock 等^[16]的研究结果一致。在低于 500 °C 的高温热解过程中，磷钾硫通常以生物有效性的方式重组，为此，Lehmann 等^[17]认为，低于 500 °C 下生产的生物炭具有更高的营养价值。这可能是随着热解温度的上升，热解反应也生成了含氮元素气体，生物炭中氮元素损失加剧。其中，随着添加秸秆量的增加，氮元素损失加剧，全磷含量呈上升的趋势，全钾含量几乎无变化，说明畜禽粪便添加秸秆热解过程中，秸秆中的氮元素损失较为严重，而磷含量较牛粪有所增加。因此，添加秸秆的畜禽粪便热解炭更适合作为磷肥施用于土壤。相同秸秆混合比和热解温度条件下，PS 生物炭中的全氮和全磷含量均高于 CS，而全钾含量低于 CS。说明猪粪秸秆混合热解生物炭具有更好的磷肥特性，适合于作为氮肥或磷肥施用于土壤中。

2.4 热解温度对生物炭孔隙特性的影响

畜禽粪便与秸秆混合热解过程中，随着有机物挥发或成分析出，孔隙结构也发生了改变。随着热解温度的升高，牛粪与秸秆混合物(CS)比表面积和平均孔径有先增大后减小的趋势，在 400 °C 时，比表面积和平均孔径均达到最大值，分别为 17.262 1 m²/g 和 6.78 μm；总孔隙率也达到最大值 13.14%，产物中孔隙以中孔(孔径为 1~6 μm)为主，所占比例达到 52.88%(表 4)。猪粪与秸秆混合物(PS)比表面积和平均孔径随着热解温度的上升呈增大趋

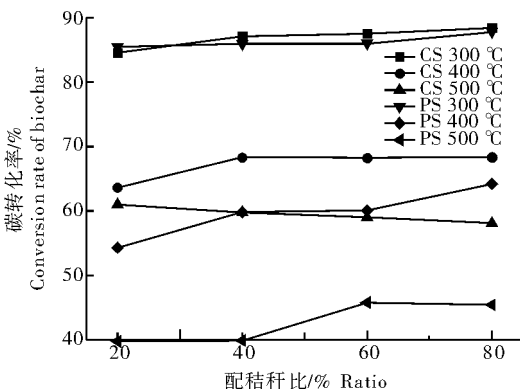


图 2 温度及混合比对混合料碳转化率影响
Fig.2 Effect of temperature and mixing ratio on biochar conversion rate

2.2 对热解组分的影响

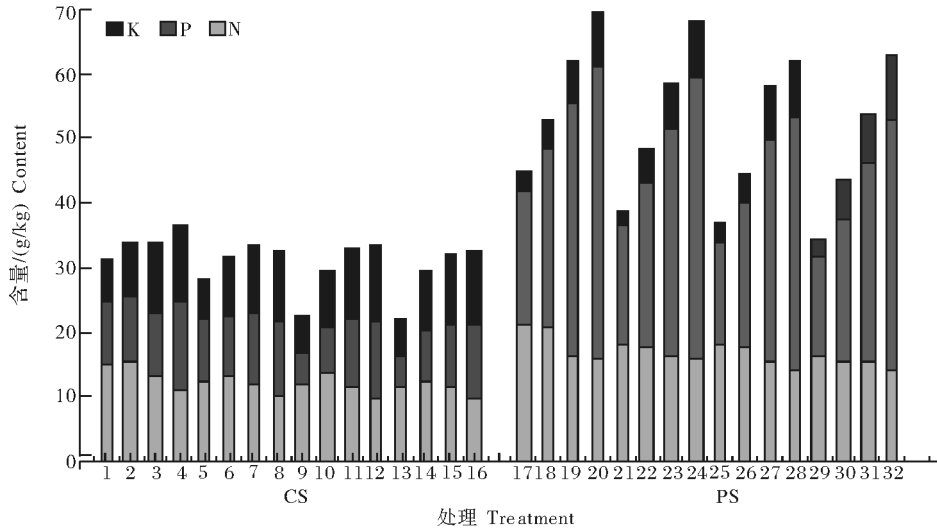
试验表明，随着热解温度的升高，生物炭灰分含量和固定碳含量呈递增趋势。随着秸秆添加量的增加，灰分含量降低，固定碳含量增加(表 3)。灰分是生物炭被灼烧后，所剩残留经煅烧所得的无机物。灰分含量越高说明生物炭中无机物含量越高，有机质含量就越低。生物炭用作土壤添加剂有机质含量

表 3 热解温度对碳化组分的影响

Table 3 Effects of pyrolysis temperatures on biochars components

%

化学特性 Chemical characteristics	生物质 Biomass	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C
灰分含量 Ash content	CS 20%	29.52±0.82a	39.91±1.75a	51.25±0.24a	53.17±1.88a
	CS 40%	26.34±0.53b	38.58±0.86b	47.12±0.58b	53.58±0.69a
	CS 60%	23.74±0.38a	36.03±0.93b	46.13±0.27b	50.53±0.99b
	CS 80%	21.91±0.95a	35.12±1.73a	42.94±0.35c	46.03±1.07a
	PS 20%	21.65±1.34a	31.03±1.39a	45.15±1.25a	55.14±2.30a
	PS 40%	20.45±0.50b	30.07±3.03a	40.06±2.13a	53.00±1.25b
	PS 60%	18.30±0.97b	26.98±0.47c	39.56±3.26a	46.60±2.61a
	PS 80%	18.18±0.18c	27.30±2.14a	38.40±1.28a	46.14±1.11b
固定碳含量 Fixed carbon content	CS 20%	8.63±0.09b	20.78±2.45b	18.98±1.73a	27.89±2.31b
	CS 40%	10.11±1.39b	19.35±0.06b	24.28±1.20b	25.43±2.35a
	CS 60%	10.21±0.38a	18.02±1.45b	25.60±1.59b	27.15±1.09a
	CS 80%	9.32±1.15a	20.86±0.47c	26.55±2.03a	32.47±1.37a
	PS 20%	8.25±1.06a	14.62±1.05b	23.57±1.62a	23.95±0.67a
	PS 40%	7.06±0.07b	17.61±2.66c	25.16±1.61c	25.67±2.41b
	PS 60%	5.44±0.20b	16.50±1.35c	24.16±0.77b	29.71±1.71b
	PS 80%	4.86±0.58a	20.96±0.81a	22.42±1.47a	28.33±0.36a



1-16:牛粪与秸秆混合物 Cow manure and straw mixed biochar; 1:20%+200 °C; 2:20%+300 °C; 3:20%+400 °C; 4:20%+500 °C; 5:40%+200 °C; 6:40%+300 °C; 7:40%+400 °C; 8:40%+500 °C; 9:60%+200 °C; 10:60%+300 °C; 11:60%+400 °C; 12:60%+500 °C; 13:80%+200 °C; 14:80%+300 °C; 15:80%+400 °C; 16:80%+500 °C; 17-32:猪粪与秸秆混合物 Pig manure and straw mixed biochar; 17:20%+200 °C; 18:20%+300 °C; 19:20%+400 °C; 20:20%+500 °C; 21:40%+200 °C; 22:40%+300 °C; 23:40%+400 °C; 24:40%+500 °C; 25:60%+200 °C; 26:60%+300 °C; 27:60%+400 °C; 28:60%+500 °C; 29:80%+200 °C; 30:80%+300 °C; 31:80%+400 °C; 32:80%+500 °C.

图 3 热解温度对大量元素养分含量的影响

Fig.3 Effects of pyrolysis temperatures on macronutrient content in biochar

势,比表面积和平均孔径在热解温度为 500 °C 时达到最大值,分别为 10.282 4 m²/g 和 6.11 μm,总孔隙率随着温度的上升变化不大,在 500 °C 时最大,为 4.84%。CS 与 PS 相比,具有更大的比表面

积、平均孔径和总孔隙率,说明牛粪秸秆混合热解得到的生物炭相比猪粪秸秆混合热解产物具有更好的孔隙特性,能更好地作为土壤吸附剂施用于土壤之中。

表 4 热解温度对生物炭孔隙特性的影响

Table 4 Effects of pyrolysis temperatures on biochars pore characteristics

生物质 Biomass	温度/℃ Temperature	比表面积/ (m ² /g) Specific surface area	平均孔径/ μm Average pore size	总孔 隙率/% Total porosity	总孔容积/ (mL/g) Total porous volume	孔径分布百分比/% Percentage of aperture distribution				
						超大孔 Ultra large pore	大孔 Macro- pore	中孔 Mesoporous	小孔 Pinhole	微孔 Micro- pore
CS 20%	200	12.667 8	6.08	12.12	0.453 7	2.53	13.36	49.37	32.62	2.12
	300	12.884 6	6.10	12.56	0.565 5	1.84	12.49	49.48	35.72	0.48
	400	17.262 1	6.78	13.14	0.554 7	0.78	11.60	52.88	31.68	3.06
	500	15.838 8	6.07	12.56	0.546 0	1.52	12.31	49.49	35.18	1.50
PS 20%	200	8.132 0	6.10	4.55	0.162 1	1.05	14.07	43.06	37.26	4.57
	300	8.949 6	6.07	4.52	0.155 9	0.83	11.93	34.19	49.78	3.27
	400	9.487 2	6.06	4.63	0.198 8	2.21	11.12	38.18	45.82	2.67
	500	10.282 4	6.11	4.84	0.172 5	1.39	10.32	27.36	53.45	7.48

3 讨 论

热解温度显著影响热解产物的理化特性。200 ℃时,畜禽粪便与秸秆原料未达到热解温度。随着热解温度的升高,混合物热解反应加剧,生物炭产率降低,碳转化率也降低。而固定碳含量和 pH 呈递增趋势。随着秸秆含量的增加,碳转化率增加,灰分含量减少,有机质含量增加。随着热解温度的升高,生物质中的有机组分开始降解,并产生各种挥发性物质(H₂、CO、CO₂等)和高沸点物质(烃类组分、焦油等)^[18-20]。Yang 等^[21]研究表明,生物质中半纤维素首先在 220~315 ℃分解,而 315~400 ℃则为纤维素分解区,大于 400 ℃木质素开始大量分解;纤维素和半纤维素热解过程产生大量挥发性物质,木质素则分解为炭。

当热解温度一定时,随着秸秆添加量的增加,炭产率呈微弱下降趋势,因为秸秆的添加使热解原料中的纤维素比例升高,这与陈永辉等^[22]认为纤维素含量越高,其残余得率越低的结果相符。

热解温度显著影响生物炭的养分特性。随着热解温度的升高,全磷和全钾含量均呈递增趋势,全氮含量呈先增后减趋势。猪粪秸秆混合较牛粪秸秆混合具有更好的养分特性,适宜作为磷肥生产辅料或土壤调理剂施用于土壤。添加秸秆在不影响猪粪养分特性的条件下,能改善生物炭的 pH,因此,可考虑在猪粪中添加适量秸秆进行热解。

生物炭具有丰富的微孔结构,比表面积大,吸附能力强,表面官能团丰富。生物炭施入土壤后,一方面可以降低土壤容重,促进土壤微团聚体的形成,改善土壤结构和水、肥、气、热状况。另一方面可为土壤微生物提供庇护场所,促进微生物群落的繁衍生

息。同时具有增加土壤阳离子交换量、提高化肥利用率、消减养分淋溶损失和水体污染的作用^[23]。比表面积、平均孔径、总孔容积和孔隙率是表征固体表面形态的重要参数,生物质热解过程中,比表面积和总孔隙率越大,生物炭吸附性越强,有利于炭的开发利用^[24]。热解温度显著影响生物炭的孔隙特性,随着温度的上升,CS 生物炭比表面积、平均孔径和总孔隙率呈先增后减趋势,在 400 ℃时达到最大值。PS 生物炭比表面积、平均孔径和总孔隙率随温度上升呈增大趋势。牛粪秸秆生物炭相比于猪粪秸秆生物炭具有更好的孔隙特性,适宜作为吸附剂改善水土流失施用于土壤。添加秸秆能改善牛粪的 pH,可根据作物生长适宜 pH 来选择秸秆添加量。

参 考 文 献

- [1] 国辉,袁红莉,耿兵,等.牛粪便资源化利用的研究进展[J].环境科学与技术,2013,36(5):68-75.
- [2] 张田,卜美东,耿维.中国畜禽粪便污染现状与产沼气潜力[J].生态学杂志,2012,31(5):1241-1249.
- [3] 马迪,赵兰坡.禽畜堆肥化过程中碳氮比的变化研究[J].中国农学通报,2010,26(14):193-197.
- [4] 孙剑.生态农业之牛粪的资源化利用[J].中国动物保健,2014,16(8):59-60.
- [5] 张君胜,杨晓志.浅谈猪粪利用技术[J].畜禽业,2008(11):10-12.
- [6] UZOMA K C,INOUE M,ANDRY H,et al.Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition [J].Soil use & management,2011,27(2):205-212.
- [7] SHRESTHA G,TRAINA S J,SWANSTON C W.Black carbon's properties and role in the environment:a comprehensive review[J].Sustainability,2010,2(1):294-320.
- [8] HONG L C,SUDIARTO S I A,RENGGAMAN A.Prediction of livestock manure and mixture higher heating value based on fundamental analysis[J].Fuel,2014,116(1):772-780.

- [9] YANG L, LIAO F, HUANG M, et al. Biochar improves sugarcane seedling root and soil properties under a pot experiment [J]. *Sugar Tech*, 2015, 17(1): 36-40.
- [10] HOSSAIN M K, STREZOV V, CHAN K Y, et al. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar [J]. *Journal of environmental management*, 2011, 92(1): 223-228.
- [11] 刘冲, 刘晓文, 吴文成, 等. 生物炭及炭基肥对油麦菜生长及吸收重金属的影响 [J]. *中国环境科学*, 2016, 36(10): 3064-3070.
- [12] 乔光, 洪怡, 田田, 等. 生物炭对玛瑙红樱桃土壤微生物和养分的影响 [J]. *华中农业大学学报*, 2017, 36(3): 51-56.
- [13] 王焯平, 张青, 李昱, 等. 热解温度对畜禽粪便生物炭产率及理化特性的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2015, 34(11): 2208-2214.
- [14] 许燕萍, 谢祖彬, 朱建国, 等. 制炭温度对玉米和小麦生物炭理化性质的影响 [J]. *土壤*, 2013, 45(1): 73-78.
- [15] SUN Y, GAO B, YAO Y, et al. Effects of feedstock type, production method, and pyrolysis temperature on biochar and hydrochar properties [J]. *Chemical engineering journal*, 2014, 240(6): 574-578.
- [16] BALDOCK J A, SMERNIK R J. Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa*, (Red pine) wood [J]. *Organic geochemistry*, 2002, 33(9): 1093-1109.
- [17] LEHMANN J D, JOSEPH S. Biochar for environmental management: science and technology [J]. *Science and technology, earthscan*, 2009, 25(1): 15801-15811.
- [18] 张千丰, 孟军, 刘居东, 等. 热解温度和时间对三种作物残体生物炭 pH 值及碳氮含量的影响 [J]. *生态学杂志*, 2013, 32(9): 2347-2353.
- [19] DEMIRBAS A. Effects of temperature and particle size on biochar yield from pyrolysis of agricultural residues [J]. *Journal of analytical & applied pyrolysis*, 2004, 72(2): 243-248.
- [20] 杨芳, 刘朝霞, 牛文娟, 等. 基于 FT-MIR 的秸秆炭热值快速检测方法 [J]. *华中农业大学学报*, 2017, 36(6): 121-126.
- [21] YANG H P, YAN R, CHEN H P, et al. In-depth investigation of biomass pyrolysis based on three major components: hemicelluloses, cellulose and lignin [J]. *Energy fuels*, 2006, 20(1): 388-393.
- [22] 陈永辉, 蔡海燕. 纤维素和木质素含量对稻草、锯末热解及燃烧特性的影响 [J]. *能源工程*, 2009(1): 38-42.
- [23] 陈温福, 张伟明, 孟军. 生物炭与农业环境研究回顾与展望 [J]. *农业环境科学学报*, 2014, 33(5): 821-828.
- [24] 杨海平, 陈汉平, 陈应泉, 等. 热解过程中棕榈壳焦的物化结构演变特性 [J]. *中国电机工程报*, 2008, 28(32): 106-110.

Biochar fertilizer utilization characteristics of mixed pyrolysis of livestock manure and straw

ZHANG Zihao YUAN Qiaoxia DAI Pei

College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract Animal manures (cow dung, pig manure) and cornstraw were used to investigate the effects of different temperatures (200, 300, 400 and 500 °C) and different amount of straw (20%, 40%, 60%, 80%) on yields and physicochemical properties of biochar produced in a closed low-oxygen reactor using pyrolysis process. The results showed that biochar yields, volatile content decreased gradually as pyrolysis temperature increased, while ash content, pH and total content of P, K and nutrient contents increased, N content first increased and then decreased. The pore characteristics of cow dung biochar were best at 400 °C, while the pore characteristics of pig manure were poor. Adding straw improved pH of biochar and regulated nutrient content. Compared with pig manure biochar, cow dung biochar had better carbon yield, pH and pore characteristics. The nutrient content of cow dung was less than that of pig manure. Cow manure and straw mixed biochar is more suitable for using its pore characteristics as adsorbent and so on. Pig manure and straw mixed biochar is more suitable for using its nutrient characteristics as phosphate fertilizer production auxiliary or soil conditioner. The influence of mixed pyrolysis on the charcoal characteristics needs to be further studied.

Keywords biochar; straw; animal manure; pyrolysis; physicochemical characteristics