

不同种类生物质炭及施用量对水稻生长及土壤养分的影响

陈芳 张康康 谷思诚 刘婷 袁金展 胡立勇

华中农业大学植物科学技术学院/作物学国家级实验教学示范中心, 武汉 430070

摘要 通过盆栽方式进行水稻秸秆炭、水稻谷壳炭、果木木炭等 3 种生物质炭比较试验, 每盆土壤 15 kg, 参照大田用量模式设置了 5、10、20、40 t/hm² 4 个秸秆炭水平, 20、40 t/hm² 2 个谷壳炭与木炭水平, 研究不同处理对水稻生长及土壤养分的影响。结果表明, 3 种生物质炭在一定范围内都能促进水稻干物质积累和产量形成, 以秸秆炭效果最好。不同秸秆炭施用量比较, 干物质量和产量呈先增后降趋势, 在 20 t/hm² 时达到最高, 生物量较不施炭对照提高 51.45%, 谷粒产量增加 72.55%。施用谷壳炭以 40 t/hm² 效果较好, 产量提高 60.52%。施用 20 t/hm² 木炭有提高地上部生物量与产量的作用, 但增加至 40 t/hm² 则明显降低。适量施用生物质炭能够增加土壤中速效氮磷钾和总养分含量, 以秸秆炭效果最好, 谷壳炭次之, 木炭最差。木炭的碳含量高达 74.28%, 过量施用显著降低土壤速效氮磷钾含量, 对水稻生长不利。

关键词 生物质炭; 水稻; 生长; 产量; 土壤养分

中图分类号 S 511.01 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2019)05-0057-07

生物质炭是由有机物料在厌氧条件下经高温慢热解(通常 < 700 °C)产生的含碳丰富的固态物质, 是黑碳的一种存在形式^[1]。生物质炭结构特殊、营养成分丰富, 含有大量的有机质和丰富的养分元素, 施入土壤后可以直接为作物生长提供养分; 同时生物质炭拥有非常发达的孔隙结构和碱性基团, 可改善土壤理化性质、改变一些土壤养分的生物有效性, 最终促进植物生长^[2-5]。

生物质炭具有改善土壤理化性质、提高作物产量的作用。利用农业生产中的废弃物秸秆、果壳等制成生物质炭并加以应用, 不仅有利于绿色高效作物生产, 对于减少农田秸秆焚烧、提供能源、保护环境也具有重要意义。近年来, 不少学者开展了生物质炭应用研究, 但研究结果不尽相同。因为不同地区的气候条件、土壤类型、土壤肥力状况、生物质炭性质及用量等方面的差异, 都会造成生物质炭对作物生物量和产量的影响差异^[6]。Zhang 等^[7]对太湖地区水稻土的研究表明, 生物质炭施用显著改善了稻田土壤团粒结构、pH 值、有机质等理化性质, 使水稻产量提高了 14%, 干物质量增加 95%。然而, 对于

土壤中施入生物质炭能提高作物产量的说法, 部分学者的研究得出相反的结论, 有学者发现当分别施入 5 和 15 t/hm² 生物质炭时, 大豆和玉米的产量下降^[8]。

本研究通过盆栽方式进行水稻秸秆炭、水稻谷壳炭、果木木炭等 3 种生物质炭比较试验探讨不同种类生物质炭及施用量对水稻生长与产量、土壤养分状态的影响, 旨在为生物质炭在水稻及作物生产中的应用提供理论与技术支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本试验于 2017 年 7—11 月在华中农业大学试验基地进行, 采用水稻品种天两优 14(武汉武大天源公司提供)。试验用土取自华中农业大学试验基地, 质地为黄棕壤, 土壤基本性质为: 铵态氮 1.10 mg/kg, 硝态氮 5.13 mg/kg, 速效钾 126 mg/kg, 有机质 6.24 g/kg。

选用 3 种生物炭作为试验材料, 其中秸秆炭来源于金日生态能源有限公司, 谷壳炭来源于湖北三杰能源有限公司, 木炭来源于湖北楚天生物质能源

收稿日期: 2019-03-13

基金项目: 湖北省农业科技创新项目; 华中农业大学一流学科建设培育项目

陈芳, 硕士研究生, 研究方向: 油菜栽培生理. E-mail: 2224205483@qq.com

通信作者: 胡立勇, 博士, 教授, 研究方向: 作物优质高产栽培与管理、油菜栽培生理. E-mail: liyonghu@hzau.edu.cn

开发有限公司。3 种生物炭的碳、氮及相关营养成分见表 1。

1.2 试验方法

试验采用盆栽的方法进行。水稻于 2017 年 7 月 20 日播种育秧,8 月 10 日进行移栽,11 月 5 日收获。每盆装入 15 kg 经粉碎后的均匀细土,移栽 3 穴水稻苗,每穴移栽 1 株。共设置 10 个处理

(表 2),施肥方式分别为 1 个不施肥处理和其余 9 个每盆施用 10 g 复合肥[N:P₂O₅:K₂O(质量比)=15:15:15]的施肥处理。秸秆炭设置 5、10、20、40 t/hm² 4 个用量处理,谷壳炭、木炭设置 20、40 t/hm² 各 2 个处理。同时设置施用同量复合肥但不施炭的对照(CK)处理。每个处理设置 8 次重复。具体试验设计见表 2。

表 1 秸秆炭、谷壳炭、木炭的成分

Table 1 Composition determination of straw charcoal, husk charcoal and charcoal

生物炭种类 Biochar type	pH	硝态氮/ (mg/kg) Nitrate nitrogen	铵态氮/ (mg/kg) Ammonium nitrogen	速效钾/ (mg/kg) Available potassium	速效磷/ (mg/kg) Available phosphorus	总 C/% Total C	总 N/% Total N	C/N
木炭 Charcoal	9.81	27.45	0.76	549.00	206.65	74.28	0.54	133.91
谷壳炭 Husk charcoal	9.58	34.22	0.83	673.00	252.75	50.82	0.54	93.57
秸秆炭 Straw charcoal	9.42	33.88	0.86	673.00	262.21	47.14	0.74	63.54

表 2 试验处理、肥料及秸秆炭用量

Table 2 Test number, fertilizer and straw charcoal dosage

处理 Treatment	复合肥/ (g/盆) Composite fertilizer	谷壳炭/ (t/hm ²) Husk charcoal	秸秆炭/ (t/hm ²) Straw charcoal	木炭/ (t/hm ²) Charcoal
不施肥 No fertilization				
CK(仅复合肥 Compound fertilizer only)	10			
秸秆炭 Straw charcoal	10		5	
秸秆炭 Straw charcoal	10		10	
秸秆炭 Straw charcoal	10		20	
秸秆炭 Straw charcoal	10		40	
谷壳炭 Husk charcoal	10	20		
谷壳炭 Husk charcoal	10	40		
木炭 Charcoal	10			20
木炭 Charcoal	10			40

分别在分蘖盛期、齐穗期、成熟期调查株高、分蘖、干物质质量等相关农艺性状。收获时取样 12 株进行水稻考种测产。水稻收获后用取土器从盆栽土表面向下取 10 cm 的土样,风干磨细。分别对稻米及土壤样品进行矿质养分分析,其中土壤 pH 值和 EC 值测定采用 METTLER pH 计直接测量土壤浸提液(水土质量比 5:1),土壤有机质含量测定采用重铬酸钾容量法,土壤铵态氮含量测定采用 2 mol/L KCl 浸提-靛酚蓝比色法,土壤硝态氮含量测定采用酚二磺酸比色法,土壤速效磷含量测定采用钼锑抗比色法,土壤速效钾及总钾含量测定采用火焰光度法^[9],土壤总氮磷含量和稻米养分的测定采用全自

动化学分析仪(Smart Chem200)测定。

1.3 数据分析

所有数据统计分析采用 SPSS 19.0 软件和 Excel 2016 进行。

2 结果与分析

2.1 不同种类生物质炭对水稻株高及分蘖数的影响

如表 3 所示,施用秸秆炭及谷壳炭有增加水稻株高的作用,但施用 20 t/hm² 木炭对株高影响不显著,施用 40 t/hm² 木炭出现降低趋势。分蘖期施用 5~40 t/hm² 秸秆炭,20~40 t/hm² 谷壳炭处理的株高显著高于 CK。齐穗期趋势相同,所有秸秆炭处理株高显著高于对照,达到显著水平。至收获期,施用秸秆炭、谷壳炭仍表现出显著的增高作用,其中 20 t/hm² 秸秆炭的增高作用最明显。

生物炭对分蘖数的影响与对株高的影响类似,秸秆炭和谷壳炭仍然具有显著增加作用。与 CK 相比较,分蘖期至齐穗期效果更明显,秸秆炭和谷壳炭比对照水稻多 1~2 个分蘖。至收获期,秸秆炭与谷壳炭保持增加作用,但 40 t/hm² 木炭则有降低分蘖的趋势。

施用一定量生物炭有提高水稻叶片 SPAD 值的作用(表 3)。与 CK 相比较,施用秸秆炭均提高 SPAD 值,以 20 t/hm² 时达到最大值。谷壳炭处理也能提高 SPAD 值,但木炭处理降低 SPAD 值。

表 3 不同种类生物质炭对水稻不同时期农艺性状的影响
Table 3 Effects of different types of biomass charcoal on rice at different stages

处理 Treatment	施用量/ (t/hm ²) Application	分蘖期 Tillering			齐穗期 Full-heading			成熟期 Maturity	
		株高/cm Height	分蘖数 Tillers	SPAD	株高/cm Height	分蘖数 Tillers	SPAD	株高/cm Height	分蘖数 Tillers
不施肥 No fertilization		72.3g	3e	38.5d	96.2e	3f	38.5d	92.9e	4e
CK(仅复合肥 Compound fertilizer only)		74.0ef	4d	39.1cd	97.4d	4cd	43.7bc	97.1cd	6bc
秸秆炭 Straw charcoal	5	76.5d	5b	41.0bc	97.6d	4cd	45.1ab	98.6bc	6ab
	10	77.2cd	5b	41.5abc	101.0c	5b	45.3ab	99.0b	6cd
	20	85.0a	6a	43.4a	106.2a	6a	46.6a	102.0a	7ab
	40	78.2bc	5b	41.8abc	101.6bc	5b	45.7ab	99.7b	6ab
谷壳炭 Husk charcoal	20	78.5b	5b	41.8abc	102.0bc	6a	46.3a	99.7b	7ab
	40	79.0b	5b	42.6ab	103.2b	6a	46.6a	99.8b	7a
木炭 Charcoal	20	74.2e	4d	40.5cd	97.6d	4cd	44.6abc	98.5bc	6abc
	40	73.0fg	4d	38.5d	96.8e	4cd	42.2c	97.0d	5d

2.2 不同种类生物质炭对水稻干物质积累与分配的影响

1)不同种类生物质炭对水稻干物质积累的影响。施用秸秆炭及谷壳炭增加水稻生物量的趋势十分明显并达到显著水平,当木炭施用量为 20 t/hm²时也有增加生物量的作用。如表 4 所示,谷壳炭与秸秆炭相比较,以秸秆炭 20 t/hm²处理增加幅度最大,达到 51.45%。

表 4 不同种类生物质炭对水稻地上部生物量的影响

Table 4 Effects of different types of biomass charcoal on rice yield

处理 Treatment	施用量/ (t/hm ²) Application	分蘖期/ (g/株) Tillering	齐穗期/ (g/株) Full-heading	成熟期/ (g/株) Maturity
不施肥 No fertilization		2.23f	8.82f	12.19g
CK(仅复合肥 Compound fertilizer only)		2.45e	12.41de	19.96e
秸秆炭 Straw charcoal	5	3.37c	14.27d	23.32cd
	10	3.4bc	14.70c	25.45c
	20	3.79a	17.25a	30.23a
	40	3.46b	14.74bc	26.40bc
谷壳炭 Husk charcoal	20	3.61b	15.16bc	27.84b
	40	3.69b	16.11ab	28.59ab
木炭 Charcoal	20	2.79d	13.18d	22.45d
	40	2.30e	11.13e	17.53f

当木炭施用量为 20 t/hm²时,在分蘖期、成熟

期显著增加水稻生物量。施用木炭 40 t/hm²有降低干物质质量的趋势,并在成熟期达到显著水平。

2)不同种类生物质炭对水稻干物质分配的影响。如表 5 所示,添加生物质炭在分蘖期相应降低茎秆在整株的干物质分配,提高叶质量比,在齐穗与成熟期则降低茎质量比,增加穗质量比。

分蘖期水稻茎叶质量比多在 1 : 1 左右,使用生物炭增加叶质量比的趋势很明显。其中 20 t/hm²秸秆炭和 40 t/hm²木炭的叶质量比最高分别达到 53.03%和 53.04%。

秸秆炭处理在齐穗期显著增加穗质量比。在收获期时,3 种生物炭处理均显著增加穗质量比。

2.3 不同种类生物质炭对水稻籽粒产量的影响

如表 6 所示,除施用 40 t/hm²木炭之外,施用生物炭其他处理均显著增加籽粒产量。与 CK 相比较,秸秆炭处理的籽粒产量分别增加 25.89%、42.88%、72.55%、43.92%,以施用量 20 t/hm²产量最高;谷壳炭施用 20、40 t/hm²时产量增幅分别为 48.37%、60.52%。20 t/hm²木炭施用量下产量增加 20.00%,但 40 t/hm²木炭施用量下产量减少 15.16%。

施加生物炭有利于水稻收获指数的提高。不同类型生物炭处理的收获指数比 CK 提高 0.03 ~ 0.06,均达到显著水平。

表 5 不同种类生物质炭对水稻不同时期干物质分配的影响

Table 5 Effects of different types of biomass charcoal on dry matter distribution of rice at different stages

%

处理 Treatment	施用量/ (t/hm ²) Application	分蘖期 Tillering		齐穗期 Full-heading			成熟期 Maturity		
		茎质量比 Percentage of stems	叶质量比 Percentage of leaves	茎质量比 Percentage of stems	叶质量比 Percentage of leaves	穗质量比 Percentage of spikes	茎质量比 Percentage of stems	叶质量比 Percentage of leaves	穗质量比 Percentage of spikes
不施肥 No fertilization		50.67a	49.32e	55.44a	29.25e	15.31e	52.58a	3.12f	44.3d
CK(仅复合肥 Compound fertilizer only)		47.34bc	52.65bc	51.73c	33.92b	14.34f	48.14b	5.18d	46.6c
秸秆炭 Straw charcoal	5	47.18c	52.81b	54.03ab	35.80a	17.71a	45.02d	5.28e	49.7a
	10	47.35bc	52.64bc	50.82cd	32.79ab	16.39bc	45.57c	5.18d	49.1ab
	20	46.96d	53.03a	54.14a	30.55d	15.30e	43.99f	6.22b	49.6a
	40	47.39bc	52.60c	50.75cd	32.77ab	16.49ab	45.83cd	5.64c	48.1b
谷壳炭 Husk charcoal	20	48.19c	51.80d	51.91c	31.93cd	16.16c	44.54e	6.41a	48.9ab
	40	47.15c	52.84b	53.57b	30.42d	16.01c	45.12ef	6.65a	48.1b
木炭 Charcoal	20	46.95d	53.04a	51.21c	32.55bc	16.24bc	45.87c	4.81e	48.9ab
	40	49.13ab	50.86de	48.70e	35.76ab	15.54d	44.72de	5.64c	49.6a

表 6 不同种类生物质炭对水稻籽粒产量的影响

Table 6 Effects of different types of biomass charcoal on rice grain yield

处理 Treatment	施用量/ (t/hm ²) Application	籽粒产量/ (g/株) Grain yield	收获指数 Harvest index
不施肥 No fertilization		3.13g	0.26f
CK(仅复合肥 Compound fertilizer only)		7.65e	0.38e
秸秆炭 Straw charcoal	5	9.63c	0.41d
	10	10.93c	0.43b
	20	13.20a	0.44a
	40	11.01b	0.42c
谷壳炭 Husk charcoal	20	11.35b	0.41d
	40	12.28b	0.43b
木炭 Charcoal	20	9.18d	0.41d
	40	6.49f	0.43b

表 7 不同种类生物质炭对水稻籽粒营养元素的影响

Table 7 Effects of different kinds of biomass charcoal on nutrient elements in rice grains

g/kg

处理 Treatment	施用量/(t/hm ²) Application	氮含量 Nitrogen content	磷含量 Phosphorus content	钾含量 Potassium content	粗蛋白含量 Content of crude protein
不施肥 No fertilization		15.37e	3.35de	22.33c	91.45e
CK(仅复合肥 Compound fertilizer only)		16.96bc	3.79b	23.75b	100.91bc
秸秆炭 Straw charcoal	5	17.24b	3.69bc	23.96b	102.58b
	10	17.36b	3.72b	24.04ab	103.29b
	20	19.81a	3.78b	24.44ab	117.87a
	40	16.43d	3.69bc	21.68d	97.76d
谷壳炭 Husk charcoal	20	17.29b	3.77b	23.55b	102.88b
	40	18.89ab	4.25a	24.69a	112.40ab
木炭 Charcoal	20	14.65f	3.58c	21.49d	87.17f
	40	13.45g	3.42d	20.61e	80.03g

2.4 不同种类生物质炭对水稻籽粒养分的影响

土壤施用不同类型生物质炭对水稻籽粒养分含量影响不同。如表 7 所示,与 CK 相比,施用 10、20 t/hm² 秸秆炭和 20、40 t/hm² 谷壳炭,有增加籽粒氮、磷、钾及粗蛋白含量的趋势,其中 20 t/hm² 秸秆炭的氮含量与粗蛋白含量,40 t/hm² 谷壳炭的氮、磷、钾及粗蛋白含量差异达到显著水平;而木炭处理显著低于对照。因此,施用木炭则大大降低水稻籽粒养分含量。

2.5 不同种类生物质炭对土壤养分的影响

从表 8 可以看出,施加秸秆炭和谷壳炭能够增加土壤的总氮、总磷、总钾、速效氮、速效磷、速效钾等含量,提高土壤的 pH 值和 EC 值,促进土壤有机质的增加。与 CK 相比,施加木炭能够提高土壤 pH 值,大幅度增加土壤的总氮、总磷、总钾的含量和有机质含量,但降低铵态氮、硝态氮、速效钾、速效磷。

表 8 生物炭种类对土壤矿质元素的影响

Table 8 Effects of biochar species on mineral elements in soil

处理 Treatment	施用量/(t/hm ²) Application	总氮/(mg/kg) Total N	总磷/(mg/kg) Total P	总钾/(mg/kg) Total K	有机质/(g/kg) O.M.
不施肥 No fertilization		0.25g	0.50d	41.09e	13.29f
CK(仅复合肥 Compound fertilizer only)		0.29f	0.54cd	44.86d	26.88ef
秸秆炭 Straw charcoal	5	0.34e	0.56bc	45.22d	27.02e
	10	0.42d	0.57bc	46.68c	32.76d
	20	0.47c	0.59b	47.09bc	33.50d
谷壳炭 Husk charcoal	40	0.65a	0.68a	49.03ab	56.64a
	20	0.43d	0.58bc	46.85c	37.20bc
木炭 Charcoal	40	0.65a	0.64a	48.45b	40.54c
	20	0.54b	0.59b	49.74ab	32.98d
	40	0.68a	0.65a	51.43a	47.22b

3 种生物炭随施用量增加显著提高土壤的总氮、总磷、总钾含量,以施用秸秆炭 40 t/hm² 增加幅度最大。

从表 9 可以看出,随秸秆炭和谷壳炭施用量的增加,土壤速效养分含量增加。其中施用谷壳炭 40 t/hm² 处理的铵态氮、硝态氮、速效磷含量最高;施用秸秆炭 40 t/hm² 处理的速效钾含量最高,比 CK 增加 28.49%。施用木炭超过一定会降低土壤速效养分含量,施用量达到 40 t/hm² 的条件下,土壤铵态氮、硝态氮、速效磷、速效钾含量分别比 CK 降

低 9.34%、22.28%、14.10%、8.59%,达到显著水平。由于木炭施用量 40 t/hm² 处理的土壤氮磷钾总量较高(表 8),而速效养分含量却最低,推测是由于木炭大量施用使土壤中有有机碳含量太高、吸附能力过强而造成的。

施用生物炭提高土壤 pH 值,以木炭增加 pH 值的作用最大。3 种生物炭均具有随施用量增加而土壤盐离子浓度(EC 值)提高的趋势,以秸秆炭增加效应最强(表 9)。

表 9 生物炭种类对土壤性状的影响

Table 9 Effects of biochar species on properties of soil

处理 Treatment	施用量/ (t/hm ²) Application	铵态氮/(mg/kg) Ammonium nitrogen	硝态氮/ (mg/kg) Nitrate nitrogen	速效磷/(mg/kg) Available phosphorus	速效钾 (mg/kg) Available potassium	pH	EC/ (mS/cm)
不施肥 No fertilization		6.54h	4.41g	23.91e	110.96g	5.85d	91.63h
CK(仅复合肥 Compound fertilizer only)		7.71f	6.06f	44.27c	156.64e	5.99c	100.92g
秸秆炭 Straw charcoal	5	7.81e	6.61f	44.89c	158.75e	6.04c	132.32c
	10	8.35d	6.72e	47.60b	172.00d	6.14b	139.12b
	20	10.41c	7.04d	48.79b	174.32d	6.15b	142.20a
谷壳炭 Husk charcoal	40	10.59b	9.28b	56.78a	201.27a	6.19b	142.87a
	20	10.55b	8.64c	50.04b	180.31c	6.04c	103.78g
木炭 Charcoal	40	11.25a	10.50a	57.86a	194.49b	6.13b	114.10f
	20	7.59g	5.94f	43.76c	155.16e	6.29a	116.97e
	40	6.99h	4.71g	38.03d	143.18f	6.32a	125.45d

3 讨 论

土壤中施用生物炭可通过提供有机与无机养分促进作物生长,本研究结果表明,一定范围内施用生物质炭能增加土壤中的氮磷钾总量,这与前人研究

结果一致^[10]。秸秆炭、谷壳炭分别含有 47.14%、50.82% 的有机碳,适当施用可提高土壤有机质含量;同时 3 种生物炭均显著提高土壤 pH,降低土壤酸性,对于酸性土壤改良及肥料利用具有良好作用。本研究还表明,不同来源及加工方法的 3 种生物质

炭相比较,以秸秆炭、谷壳炭的氮磷钾含量较高,施入土壤后,能够显著增加土壤中的速效养分供应。木炭的氮磷钾含量相对低一些,20 t/hm²施用量对土壤速效养分影响不大,增加到 40 t/hm²又因其高碳特性吸附太强而显著降低土壤速效养分含量,因此,在作物生产中不宜施用。

生物炭也通过改变土壤理化性质而影响作物生长^[2-5]。研究表明,生物质在炭化以后较好保留了原有生物质的细微组织结构^[11-12],施入土壤后可吸附固定养分,在一定条件下缓慢释放^[13-14]。本研究测定结果显示,秸秆炭、谷壳炭、木炭的有机碳含量分别为 47.14%、50.82%、74.28%。木炭的有机碳含量高出秸秆炭、谷壳炭 20 个百分点以上,过高的碳含量使得其吸附能力增强,释放有效养分能力减弱,导致水稻土壤中的总氮磷钾含量较高,而速效氮磷钾含量却大大下降。因此,在大量应用生物炭之前,应首先明确不同土壤质地、不同施肥水平下适宜的生物炭种类及用量,使土壤中养分固定与释放达到相对协调,使作物生长发育过程中的养分需求与肥料利用相协调,避免过多施用生物炭使土壤吸附能力超过适宜范围,造成速效矿质养分降低,反而不利于作物的正常生长。

有研究表明,C/N 的高低能够反映土壤氮素的供应能力。C/N 较低时,土壤氮素具有较高的生物有效性,因而具有较高的土壤氮素利用率^[15]。土壤有机碳含量增高则土壤 C/N 比值也会升高,土壤对氮素及其他养分元素吸持容量增大^[16]。因此,合适的生物炭与氮肥配比在生物炭的应用中也很重要。本研究中,木炭因有机碳含量最高,施入土壤后使土壤 C/N 过大,土壤氮素的供应能力下降。同时,也可能因其 C/N 过大而影响了土壤中的微生物活性,从而影响了养分分解,导致速效氮含量的下降。

生物炭对作物的生长和产量的影响因生物炭类型及施用量而异^[17]。本研究结果表明,施用一定量的秸秆炭、谷壳炭、木炭都能提高水稻茎、叶以及地上部生物质量,并有助于提高最终籽粒产量和收获指数,但不同生物炭的适宜施用量有差异。在施用量同为 20 t/hm²时,水稻产量为秸秆炭>谷壳炭>木炭;在施用量同为 40 t/hm²时,水稻产量为谷壳炭>秸秆炭>木炭;同时,20 t/hm²秸秆炭施用量下水稻的产量又高于谷壳炭 40 t/hm²施用量下水稻的产量。生物质对作物产量的影响具有年际效应,第 1 年的增产效果有限甚至减产,但随着施用时间

的延长,增产效果会更好^[18]。因此,多年持续性观测生物质炭对产量的影响很有必要。

综上,利用生物炭促进作物生长与土壤改良,以选用秸秆炭、谷壳炭为宜,其中以秸秆炭更好。首先,是秸秆炭的氮磷钾含量与谷壳炭相当,但其 C/N 比值最低,适当施用量条件下的增产潜力最大;二是作为农业废弃资源,秸秆生物量应远远超过谷壳,更具有利用条件。

生物炭可为作物提供适量氮、磷、钾等矿质元素以及丰富的有机碳营养,同时比表面积较大,具有较强的吸附能力,协调利用其特性可促进作物生长与土壤培肥。3 种生物质炭在一定范围内都能促进水稻干物质积累和产量形成,以秸秆炭效果最好,谷壳炭次之,木炭较差。秸秆炭施用量为 20 t/hm²时干物质质量和产量达到最高;谷壳炭施用量为 40 t/hm²时效果较好,生物量较 CK 提高 43.24%,产量提高 60.52%;木炭施用量为 20 t/hm²有提高生物量与产量的作用,但施用量为 40 t/hm²时则明显降低。适量施用生物质炭能够增加土壤中氮磷钾速效养分含量和总养分含量,以秸秆炭效果最好、谷壳炭次之、木炭最差。同时由于木炭的碳含量高达 74.28%,可能因为吸附作用太强而影响土壤速效氮磷钾含量,从而对水稻生长产生不良影响。秸秆炭、谷壳炭均具有促进作物生长与土壤改良的潜在作用,但具体效果与施用量、土壤及其他因素密切相关。

参 考 文 献

- [1] RENNER R. Rethinking biochar[J]. *Environmental science & technology*, 2007, 41(17): 5932-5933.
- [2] GLASER B, LEHMANN J, ZECH W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: a review[J]. *Biology and fertility of soils*, 2002, 35(4): 219-230.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 王健宁, 王晓鹏, 洪怡, 等. 生物炭对玛瑙红樱桃苗期生理生化特征的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2019, 38(3): 19-24.
- [6] 张万杰, 李志芳, 张庆忠, 等. 生物质炭和氮肥配施对菠菜产量和硝酸盐含量的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(10): 1946-1952.
- [7] ZHANG A, CUI L, PAN G, et al. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake Plain, China[J]. *Agriculture ecosystems*

- & environment, 2010, 139(4):469-475.
- [8] RONDON M A , LEHMANN J , RAMÍREZ J , et al. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions [J]. Biology and fertility of soils, 2007, 43(6):699-708.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [10] PENG X , YE L L , WANG C H , et al. Temperature- and duration-dependent rice straw-derived biochar: characteristics and its effects on soil properties of an ultisol in southern China[J]. Soil & tillage research, 2011, 112(2):159-166.
- [11] KRAMER R W , KUJAWINSKI E B , HATCHER P G. Identification of black carbon derived structures in a volcanic ash soil humic acid by fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry[J]. Environmental science & technology, 2004, 38(12):3387-3395.
- [12] 张子豪, 袁巧霞, 代佩. 畜禽粪便与秸秆混合热解制备生物炭研究[J]. 华中农业大学学报, 2019, 38(1):133-138.
- [13] OGUNTUNDE P G , ABIODUN B J , AJAYI A E , et al. Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana[J]. Journal of plant nutrition & soil science, 2010, 171(4):591-596.
- [14] 姜玉萍, 杨晓峰, 张兆辉, 等. 生物炭对土壤环境及作物生长影响的研究进展[J]. 浙江农业学报, 2013, 25(2):410-415.
- [15] LIANG B , LEHMANN J , SOLOMON D , et al. Black carbon increases cation exchange capacity in soils [J]. Soil science society of America journal, 2006, 70(5):1719-1730.
- [16] 何绪生, 张树清, 余雕, 等. 生物炭对土壤肥料的作用及未来研究[J]. 中国农学通报, 2010, 27(15):16-25.
- [17] 王欢欢, 任天宝, 元野, 等. 生物质炭与氮肥配施对植烟土壤微生物量碳、氮和碳氮比的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(12):52-57.
- [18] MAJOR J , RONDON M , MOLINA D , et al. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol[J]. Plant and soil, 2010, 333(1/2):117-128.

Effects of kinds and application rates of biochar on rice growth and soil nutrients

CHEN Fang ZHANG Kangkang GU Sicheng LIU Ting YUAN Jinzhan HU Liyong

*National Experimental Teaching Demonstration Centre of Crop Science/
College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

Abstract Three kinds of biochar including straw charcoal, husk charcoal and charcoal were compared by pot experiment. Four levels of straw charcoal including 5 t/hm², 10 t/hm², 20 t/hm², 40 t/hm², and two levels of husk charcoal and charcoal including 20 t/hm², 40 t/hm² were set up to study the effects of different treatments on rice growth and soil nutrients. The results showed that three kinds of biomass charcoal promoted dry matter accumulation and yield formation of rice in a certain range, and straw charcoal had the best effect. Compared with the control, the dry matter and yield of straw increased at first and then decreased, reaching the highest at 20 t/hm². The biomass and grain yield increased by 51.45% and 72.55%, respectively. 40 t/hm² was the best application of husk charcoal, and the yield was increased by 60.52%. The application of 20 t/hm² charcoal increased biomass and yield, but application increased to 40 t/hm² decreased biomass and yield significantly. Appropriate application of biomass charcoal could increase the content of available nitrogen, phosphorus, potassium and total nutrients in soil, with straw charcoal as the best, followed by husk charcoal and charcoal. Carbon content of charcoal was up to 74.28%. Excessive application can significantly reduce the content of available nitrogen, phosphorus and potassium in soil, which is unfavorable to rice growth.

Keywords biochar; rice; growth; yield; soil nutrients