

DOI: 10.11766/trxb201809260438

生物质炭对贵州黄壤朝天椒减氮的生物效应及氮肥利用率的影响^{*}

张 萌 魏全全 肖厚军 赵 欢 苟久兰[†]

(贵州省农业科学院土壤肥料研究所, 贵阳 550006)

摘 要 为探究生物质炭对贵州黄壤朝天椒减氮的施用效果, 采用大田试验, 研究了生物质炭与氮肥减量配施 (CF₁₀₀B₀ (化肥氮100%)、CF₉₀B₁₀ (化肥氮90%+生物质炭氮10%)、CF₈₅B₁₅ (化肥氮85%+生物质炭氮15%)、CF₈₀B₂₀ (化肥氮80%+生物质炭氮20%)) 对贵州黄壤朝天椒产量、品质、养分积累和氮肥利用率的影响。结果表明: 与常规施肥 (CF₁₀₀B₀) 处理相比, CF₉₀B₁₀ 处理可提高朝天椒产量, 其中鲜椒增产7.3%、干椒增产2.5%, 但是增产效果并不显著, 而CF₈₅B₁₅和CF₈₀B₂₀处理的产量略有降低; 生物质炭与氮肥减量配施处理可显著影响朝天椒果实中的硝酸盐和Vc含量, 其中, CF₉₀B₁₀、CF₈₅B₁₅和CF₈₀B₂₀处理的硝酸盐含量降低了4.8%~8.9%, 而CF₉₀B₁₀处理的Vc含量则较CF₁₀₀B₀处理提高了9.6%, 但还原糖和游离氨基酸含量在各处理间无差异; 此外, 与CF₁₀₀B₀处理相比, 生物质炭与氮肥减量配施可使氮肥偏生产力 (PPFN) 提高2.08~2.62 kg·kg⁻¹, 以CF₉₀B₁₀处理最高, 而氮肥农学效率 (AE_N) 和氮肥表观利用率 (RE_N) 则随着生物质炭替代化学氮肥比例的增加呈降低趋势, 以CF₉₀B₁₀处理的AE_N和RE_N最高, 分别为7.70 kg·kg⁻¹和40.3%。综上, 生物质炭与氮肥减量配施可有效保证贵州朝天椒稳产增效, 因此, 短期条件下推荐生物质炭替代化学氮肥10%作为贵州黄壤朝天椒氮肥减施替代的最适比例。

关键词 生物质炭; 减施氮肥; 产量; 朝天椒品质; 氮肥利用率

中图分类号 S158.3 **文献标识码** A

氮素是作物产量形成和品质提高的重要元素, 合理的氮肥施用是作物优质高产的关键措施之一^[1]。然而, 氮肥利用率偏低仍是制约我国氮肥利用的主要限制因素。据2013年《中国三大粮食作物肥料利用率研究报告》显示, 目前三大粮食作物氮肥当季利用率平均为33%, 尽管较测土配方施肥补贴项目实施前 (2005年) 提高了5个百分点, 但

仍然处于较低的水平, 还有较大的提升空间^[2]。与此同时, 农业部在《全国农业可持续发展规划 (2015—2030年)》中明确提出了“十三五”规划内化肥施用量零增长的目标^[3], 因此, 如何实现化肥减施条件下的肥料利用率提升成为当前我国农业发展亟待解决的问题, 这也是保障我国农业土壤和生态环境可持续发展的重要任务之一。

^{*} 国家自然科学基金项目 (31860594)、贵州省科技计划项目 (黔科合支撑 [2016] 2581号) 和贵州省农业科学院专项 (黔农科学院专项 [2016] 025号) 资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 31860594), the Science and Technology Plan Project of Guizhou Province in China (No. [2016] 2581), and the Special Project of Guizhou Academy of Agricultural Sciences in China (No. [2016] 025)

[†] 通讯作者 Corresponding author, E-mail: 150046390@qq.com

作者简介: 张 萌 (1989—), 男, 山东潍坊人, 硕士, 助理研究员, 主要从事作物养分管理与现代施肥技术研究。

E-mail: zhangmeng1105@163.com

收稿日期: 2018-09-26; 收到修改稿日期: 2018-11-02; 优先数字出版日期 (www.cnki.net): 2018-11-16

农作物秸秆作为一种宝贵的资源,含有丰富的有机质、纤维素、粗蛋白、粗脂肪和氮、磷、钾等各种营养成分,经过高温炭化后制成的生物质炭,不仅可以稳定地将碳元素固定长达数百年,而且应用于农业生产后在改善土壤理化性质^[4]、减少土壤养分转化与损失^[5]以及提高肥料利用率^[6]等方面均表现出明显的优越性。目前,生物质炭在农业生产中的应用效果已在多种作物上有所报道,例如,Liang等^[7]研究发现混合施用稻壳和椰子壳生物质炭可提升小麦和玉米产量4.0%~7.2%;Wang等^[8]对海棠的盆栽试验发现,生物质炭的添加不仅可显著提高海棠叶片叶绿素含量,而且可显著降低胞间CO₂浓度,增强气孔导度和光和效率;Major等^[9]则通过4年连续田间试验表明,生物质炭的添加可使玉米产量连续增产3年,但是对大豆无显著性影响;此外,Jeffery等^[10]采用整合分析法(Meta-analysis)对生物质炭的增产效果分析发现,生物质炭的添加可使作物平均增产10%左右;而肖婧等^[11]也通过Meta-analysis法整合分析了97篇生物质炭施用与土壤改良、作物生长有关的相对独立研究,结果表明生物质炭自身特性对作物产量影响显著,增产范围在9.2%~26.6%之间。由此可见,生物质炭的问世与应用不仅可最大限度地实现秸秆养分高效利用,也能够成为改良土壤环境、提升农作物产量和品质、实现化肥减施增效的一项重要技术手段^[12]。

朝天椒是贵州遵义的传统种植作物,同时也是贵州山地特色农业的主要经济作物之一,贵州现已成为集种植面积、加工规模和市场占有率均属全国第一的辣椒种植大省^[13]。然而,由于辣椒常年连作栽培以及“重氮肥、轻磷钾肥”等现象的存在,导致贵州黄壤耕地质量和氮肥利用效率持续降低^[14]。近年来,基于氮肥减量化和氮肥有机替代的研究已逐渐成为研究热点,生物质炭配施化肥成为氮肥减量技术之一^[15-16]。然而,目前关于生物质炭的研究主要集中在同等施肥量条件下生物质炭增施后的作用效果上^[17],针对生物质炭替代化学氮肥的研究相对较少,而基于短期条件下生物质炭究竟能否用于化学氮肥替代、替代量有多少等问题的探讨也缺乏足够实践验证。因此,本研究以贵州朝天椒‘艳椒425’为研究对象,从产量、品质、养分吸收及肥料利用率方面来研究生物质炭对化学

氮肥的替代效应,进而综合评估生物质炭的氮肥替代能力,为贵州山区朝天椒氮肥减施增效技术提供技术支撑和科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验概况

试验于2017年4—10月在贵州省遵义市播州区石板镇(106°43′0″E,27°31′29″N,海拔885 m)进行。供试土壤为贵州典型地带性黄壤,其基础理化性质为:pH 6.03,有机质26.80 g·kg⁻¹,全氮2.17 g·kg⁻¹,有效磷48.60 mg·kg⁻¹,速效钾175.0 mg·kg⁻¹。供试肥料包括:尿素(N 46%)、过磷酸钙(P₂O₅ 12%)、硫酸钾(K₂O 50%);供试生物质炭为玉米秸秆炭,炭化温度450℃,其基础理化性质为:pH 7.95,总碳350.2 g·kg⁻¹,总氮12.63 g·kg⁻¹,有效氮2.01 g·kg⁻¹,总磷1.92 g·kg⁻¹,总钾47.48 g·kg⁻¹;供试朝天椒品种为“艳椒425”,由重庆科光种苗有限公司生产。

1.2 试验设计

试验共设置5个处理,分别为:(1)CK:不施氮肥,只施用磷、钾肥,P₂O₅和K₂O用量分别为150 kg·hm⁻²和270 kg·hm⁻²;(2)CF₁₀₀B₀:常规施肥,N、P₂O₅、K₂O施用量分别为300、150、270 kg·hm⁻²;(3)CF₉₀B₁₀:常规施肥施氮90%+生物质炭氮10%(15 t·hm⁻²);(4)CF₈₅B₁₅:常规施肥施氮85%+生物质炭氮15%(22.5 t·hm⁻²);(5)CF₈₀B₂₀:常规施肥施氮80%+生物质炭氮20%(30 t·hm⁻²)。各处理具体肥料和生物质炭施用量见表1。辣椒移栽前先将生物质炭均匀撒施于土壤表层,用锄头翻耕混匀,然后将所有肥料混匀后一次性均匀施用。辣椒种植采用“单垄双行”的栽培方式,单垄1.2 m,辣椒幼苗在起垄覆膜10 d后进行移栽,移栽密度为每公顷5.70万株。各处理设3次重复,随机区组排列,试验小区面积为20 m²。其他田间管理与农民习惯保持一致。

1.3 测定项目和分析方法

辣椒收获前,每个小区采集6株长势相对一致的辣椒植株,用于分析植株养分指标与品质指标。辣椒植株分茎秆、叶片和果实3部分,分别于105℃杀青30 min后,于60℃恒温烘干称量。然后将植物样品磨碎过筛后,采用H₂SO₄-H₂O₂联合消煮,凯

表1 不同施肥处理的肥料和生物质炭施用量

Table 1 Application rates of fertilizer and biochar relative to treatment

处理 Treatment	肥料用量 Fertilizer application rate/(kg·hm ⁻²)			生物质炭 Biochar/(t·hm ⁻²)
	尿素 Urea	过磷酸钙 Calcium superphosphate	硫酸钾 Potassium sulfate	
CK	—	1 250	540	—
CF ₁₀₀ B ₀	652.2	1 250	540	—
CF ₉₀ B ₁₀	587.0	1 250	540	15.00
CF ₈₅ B ₁₅	554.4	1 250	540	22.50
CF ₈₀ B ₂₀	521.7	1 250	540	30.00

注：CK表示不施氮肥；CF₁₀₀B₀表示施用化肥氮100%；CF₉₀B₁₀表示施用化肥氮90%+生物炭氮10%；CF₈₅B₁₅表示施用化肥氮85%+生物炭氮15%；CF₈₀B₂₀表示施用化肥氮80%+生物炭氮20%。下同Note: CK means no nitrogen; CF₁₀₀B₀ means application of 100% nitrogen fertilizer; CF₉₀B₁₀ means application of 90% nitrogen fertilizer+10% biochar; CF₈₅B₁₅ means application of 85% nitrogen fertilizer+15% biochar; CF₈₀B₂₀ means application of 80% nitrogen fertilizer+20% biochar. The same below

氏定氮仪 (Foss 2200, 瑞典) 测定全氮含量, 并计算植株氮素积累量^[18]。同时, 取部分辣椒果实鲜样用于测定品质指标, 包括硝酸盐、Vc、还原糖和游离氨基酸, 测定方法参照文献[18]。辣椒产量经过分批采收后于收获期计算辣椒的最终产量。

1.4 数据处理

各相关参数的计算公式如下:

植株氮素积累量 (kg·hm⁻²) = 植株N含量 (%) × 生物量 (kg·hm⁻²) / 100;

氮肥偏生产力 (PFP_N, kg·kg⁻¹) = 施氮处理辣椒产量 / 施氮量;

氮肥农学效率 (AE_N, kg·kg⁻¹) = (施氮处理辣椒产量 - 不施氮处理辣椒产量) / 施氮量;

氮肥表观利用率 (RE_N, %) = (施氮处理地上部吸氮总量 - 不施氮处理地上部吸氮总量) / 施氮量 × 100%;

以上公式中辣椒产量均按照干椒产量计算。

试验数据均采用Excel 2003软件进行计算处理, 利用DPS软件进行统计分析, 采用Origin 8.0软件作图, 差异显著分析用最小显著差异 (LSD) 法进行分析, 显著水平为0.05。

2 结果

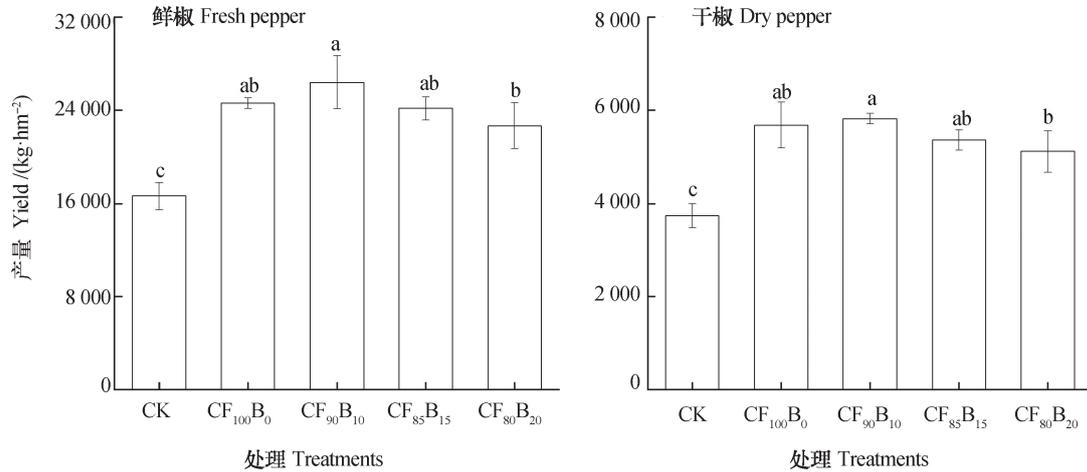
2.1 生物质炭与氮肥减量配施对朝天椒产量的影响

图1显示了生物质炭替代化学氮肥对朝天椒

鲜椒和干椒产量的影响。就鲜椒产量而言, 与常规施肥CF₁₀₀B₀处理相比, 仅CF₉₀B₁₀处理实现增产, 增幅为7.3%, 但差异未达显著水平; CF₈₅B₁₅和CF₈₀B₂₀处理均出现减产, 减产幅度分别为1.8%和7.8%。干椒产量变化趋势与鲜椒产量类似, 与常规施肥CF₁₀₀B₀处理相比较, 仅CF₉₀B₁₀处理增产2.5%, CF₈₅B₁₅和CF₈₀B₂₀处理则分别减产5.7%和10.0%。

2.2 生物质炭与氮肥减量配施对朝天椒品质的影响

从朝天椒果实品质指标来看 (表2), 生物质炭与化学氮肥配施可显著影响朝天椒果实的硝酸盐和Vc含量, 但对还原糖和游离氨基酸含量无影响。从硝酸盐含量来看, 与CK处理相比, 常规施肥CF₁₀₀B₀处理的硝酸盐含量显著提高了3.1%, 而CF₉₀B₁₀、CF₈₅B₁₅和CF₈₀B₂₀处理则显著降低了朝天椒果实中硝酸盐含量, 且三者较CF₁₀₀B₀处理相比分别下降8.9%、5.2%和4.8%, 且显著低于CK处理。从Vc含量来看, 与CK处理相比较, 常规施肥CF₁₀₀B₀及生物质炭替代氮肥处理均可显著提高朝天椒果实中的Vc含量, 增幅为3.5%~24.9%, 依次表现为: CF₉₀B₁₀>CF₁₀₀B₀>CF₈₅B₁₅>CF₈₀B₂₀>CK, 以CF₉₀B₁₀处理的Vc含量最高, 达到111.5 mg·100 g⁻¹, 且显著高于其他处理, CF₈₅B₁₅和CF₈₀B₂₀处理的Vc含量则较CF₁₀₀B₀处理分别降低了4.9%和9.1%。



注：不同字母表示处理间差异达5%显著水平。下同 Note: Different letters indicate significant difference at 5% level. The same below

图1 不同施肥处理的朝天椒产量

Fig. 1 Yield of pod pepper relative to treatment

表2 不同施肥处理的朝天椒果实品质

Table 2 Quality of pod pepper relative to treatment

处理 Treatment	硝酸盐 Nitrate/(kg·kg ⁻¹)	Vc /(mg·100 g ⁻¹)	还原糖 Reducing sugar/(g·kg ⁻¹)	游离氨基酸 Free amino acid/(g·kg ⁻¹)
CK	90.67 ± 1.14b	89.34 ± 0.33e	20.59 ± 0.55a	5.85 ± 0.13a
CF ₁₀₀ B ₀	93.49 ± 0.54a	101.8 ± 0.19b	21.70 ± 0.62a	5.78 ± 0.38a
CF ₉₀ B ₁₀	85.21 ± 0.92d	111.5 ± 0.41a	21.18 ± 0.59a	5.83 ± 0.11a
CF ₈₅ B ₁₅	88.65 ± 0.21c	96.78 ± 0.41c	20.38 ± 0.77a	5.74 ± 0.23a
CF ₈₀ B ₂₀	89.02 ± 0.63c	92.45 ± 1.56d	20.79 ± 0.51a	5.59 ± 0.44a

注：同列不同字母表示处理间差异达5%显著水平。下同 Note: Different letters in the same column means significant difference at 5% level. The same below

2.3 生物质炭与氮肥减量配施对朝天椒氮素积累的影响

图2显示了生物质炭替代化学氮肥对朝天椒各器官氮素积累的影响。从茎秆氮素积累看，与常规施肥CF₁₀₀B₀处理相比，CF₉₀B₁₀、CF₈₅B₁₅和CF₈₀B₂₀处理的茎秆氮素积累量分别提高了25.2%、12.8%和1.9%，其中，CF₉₀B₁₀和CF₈₅B₁₅处理增加显著；从叶片氮素积累看，与常规施肥CF₁₀₀B₀处理相比，生物质炭与氮肥配施处理的叶片氮素积累均出现显著降低，CF₉₀B₁₀、CF₈₅B₁₅和CF₈₀B₂₀处理较CF₁₀₀B₀处理分别降低了22.4%、14.3%和28.3%；从果实氮素积累看，与常规施肥CF₁₀₀B₀处理相比，CF₉₀B₁₀处理的氮素积累量仅提高了1.4%，但两者无显著差异，CF₈₅B₁₅和CF₈₀B₂₀处理的氮素积累则显著降低，降幅分别为12.2%和16.4%。

2.4 生物质炭与氮肥减量配施对朝天椒氮肥利用率的影响

由表3可看出，不同施肥处理的氮肥利用率存在明显差异。从偏生产力看，与常规施肥CF₁₀₀B₀处理相比，生物质炭与氮肥配施处理的PFP_N提高了2.08~2.62 kg·kg⁻¹，其中CF₉₀B₁₀处理的偏生产力最高，且显著高于CF₁₀₀B₀处理，而CF₈₅B₁₅和CF₈₀B₂₀处理则与CF₁₀₀B₀处理无差异。从农学效率看，CF₉₀B₁₀处理最高（7.70 kg·kg⁻¹），但与CF₁₀₀B₀和CF₈₅B₁₅处理间无差异，CF₈₀B₂₀的AE_N最低，仅为5.73 kg·kg⁻¹，显著低于CF₉₀B₁₀处理。从表观利用率看，各施肥处理的RE_N大小依次为：CF₉₀B₁₀>CF₁₀₀B₀>CF₈₅B₁₅>CF₈₀B₂₀，其中，CF₉₀B₁₀处理的RE_N最高（40.9%），较CF₁₀₀B₀处理提高了4.45个百分点，且显著高于其他处理，CF₈₀B₂₀处理的RE_N最低，仅为24.9%。

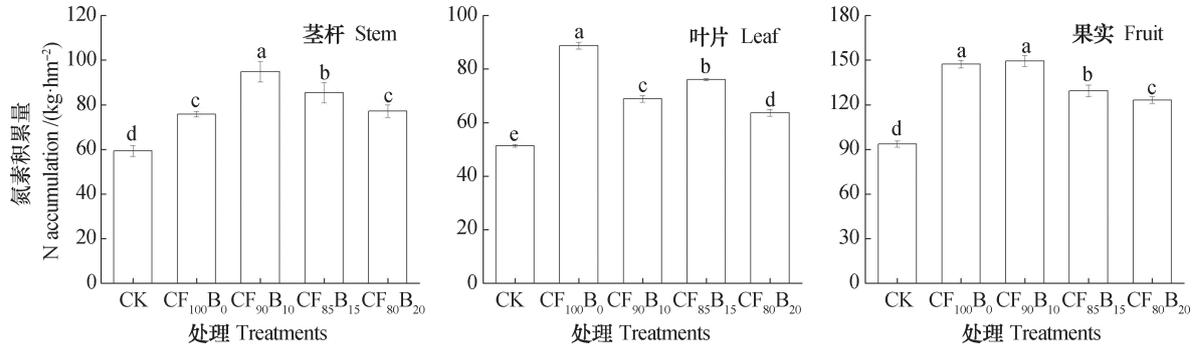


图2 不同施肥处理的氮素积累量

Fig. 2 N accumulation in various parts of the pod pepper plant relative to treatment

表3 不同施肥处理的氮肥利用率

Table 3 Nitrogen fertilizer utilization efficiency of pod pepper relative to treatment

处理 Treatment	PPF _N /(kg·kg ⁻¹)	AE _N /(kg·kg ⁻¹)	RE _N /%
CK	—	—	—
CF ₁₀₀ B ₀	18.93 ± 1.64b	6.47 ± 0.82ab	35.8 ± 0.4b
CF ₉₀ B ₁₀	21.55 ± 0.40a	7.70 ± 1.35a	40.9 ± 2.5a
CF ₈₅ B ₁₅	21.01 ± 0.86ab	6.35 ± 0.30ab	33.9 ± 1.3b
CF ₈₀ B ₂₀	21.30 ± 1.85ab	5.73 ± 1.02b	24.9 ± 1.9c

注：PPF_N表示氮肥偏生产力；AE_N表示氮肥农学效率；RE_N表示氮肥表观利用率 Note: PPF_N means partial factor productivity from applied N; AE_N means agronomic efficiency of applied N; RE_N means apparent recovery efficiency of applied N

3 讨论

贵州山地农业作物秸秆资源非常丰富，但是秸秆还田率并不高，其主要原因一方面是由于贵州山地农业土地分散，无法使用大型机械，从而导致秸秆不能就地粉碎还田；另一方面，贵州山区属于典型的雨养农业区，降雨分配极不均匀，因此，即便秸秆粉碎还田后，也会由于缺水而导致秸秆无法及时分解和有效利用^[19]。秸秆炭化制成的生物质炭，不仅可解决农作物秸秆综合利用的问题，而且可用来实现化肥有机替代，是一项符合贵州山地农业实际需求的重要技术措施。本研究中，与常规施肥CF₁₀₀B₀处理相比，CF₉₀B₁₀处理的鲜椒和干椒产量分别提高了7.3%和2.5%，而CF₈₅B₁₅和CF₈₀B₂₀处理则出现略微减产，但与CF₁₀₀B₀处理相比差异不明显，这说明在当前试验条件下，用生物质炭替代10%~20%化学氮肥具有一定的可行性。生物质炭替代化学氮肥增产或稳产的主要原因一方面是生物质炭本身含有丰富的氮素（总氮含量在1.0~78

g·kg⁻¹）^[20]，尽管这些氮素并非均是易分解或可有效利用的，但由于氮素含量高，故而可替代部分化学氮肥^[21]；另一方面，生物质炭除了含有氮、磷、钾等大量元素外，还富含钙、镁、锌等多种矿物质养分，有利于多养分的平衡供应^[22]，因此可以保证作物实现增产或稳产。而生物质炭替代化学氮肥15%和20%（CF₈₅B₁₅和CF₈₀B₂₀）处理的朝天椒产量出现略微减产，分析其主要原因可能是，大量生物质炭施入导致土壤可溶性有机碳含量增加，从而加剧了土壤微生物与作物根系对氮素的竞争^[23]，而且过高的生物质炭可导致次生根总根长和生物量明显增加，需要消耗大量的光合产物，故而导致产量出现下降^[24]。

研究发现，生物质炭的施用可以改善作物品质^[25]，本研究结果与前人研究结果类似。本研究中，施用生物质炭替代化学氮肥使朝天椒的硝酸盐含量降低了4.8%~8.9%，同时使朝天椒Vc含量提高了3.5%~24.8%，这可能是由于生物质炭抑制了NH₄⁺向NO₃⁻的转化速率，避免作物在短期内吸收过

多的氮素而造成硝酸盐积累^[26]，而生物质炭中较高的钾素含量以及钙、锰、锌等多种微量元素能够促进相关酶在植株体内的合成，均有利于改善朝天椒的品质^[27]。

从本研究结果看，与常规施肥CF₁₀₀B₀处理相比，生物质炭替代氮肥处理使氮肥偏生产力提高了2.08~2.62 kg·kg⁻¹，而且CF₉₀B₁₀处理的AE_N和RE_N均为最高，分别为7.70 kg·kg⁻¹和40.3%，说明适量生物质炭可替代化学氮肥并明显提高氮肥利用率。分析原因可能包括：首先，贵州黄壤黏粒含量高、土壤较为紧实，当生物质炭施入土壤后与供试土壤形成炭-土双层结构，不仅能够提高土壤孔隙结构和水分传导孔隙度，而且可以增加上层土壤的蓄水能力和下层土壤的持水性能，改善作物根系的水肥生长环境^[4, 28]；其次，由于生物质炭具有巨大的比表面积、丰富的孔隙和较高的离子交换量、羧基、羟基等官能团，能够提高对NH₄⁺-N和NO₃⁻-N的吸附固持作用，减少了氮素的流失^[29]，而被生物质炭吸附的氮素又可以被再次释放，形成可供植物吸收利用的有效态氮，从而提高氮素利用率^[30]；第三，生物质炭的施用在改变土壤理化性质的同时，还直接或间接地提高了与土壤氮素转化有关的酶活性、氨氧化细菌丰度与活性等，从而提高了氮素的生物有效性^[31]。但是，生物质炭替代化学氮肥比例过高则会使氮肥利用率出现降低，可能原因包括：一方面施用生物质炭后的短时间内，土壤自身碳矿化速率加剧，进而导致土壤碳含量激增，当土壤中现有的含氮物质不足以维持平衡时，土壤中的固氮菌就会固定更多的氮素，进而加剧了土壤微生物与作物对氮素的竞争^[21, 32]；另一方面，随着生物质炭施用量的增加，进一步提高了土壤pH，从而促进了NH₃挥发^[33-34]。

4 结 论

与常规施肥处理相比，生物质炭替代化学氮肥10%（CF₉₀B₁₀处理）可使朝天椒产量提高7.3%，氮肥表观利用率提升4.45个百分点，并且可明显改善朝天椒品质，但生物质炭替代化学氮肥比例过高（CF₈₅B₁₅和CF₈₀B₂₀）则会有减产风险，因此，在短期条件下，利用生物质炭替代10%的化学氮肥来实现贵州黄壤朝天椒氮肥减施增效具有一定的可行

性，但是，由于生物质炭对土壤环境及作物生长的影响是一个长期积累的过程，本研究下阶段将会进一步研究生物质炭替代化学氮肥的长期效应，以期为氮肥有机替代及氮肥减施增效技术提供更为可靠的技术支撑。

参 考 文 献

- [1] 杨晓梅, 尹昌斌, 李贵春, 等. 氮肥减量及秸秆替代过量氮肥下冬小麦/夏玉米轮作体系氮素淋失风险研究. 中国农业资源与区划, 2016, 37 (7): 116—122
Yang X M, Yin C B, Li G C, et al. Effects of reducing application and replacing part of nitrogen fertilizer by crop residue on nitrogen leaching in winter wheat-summer corn system (In Chinese). Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2016, 37 (7): 116—122
- [2] 农业部新闻办公室. 科学施肥促进肥料利用率稳步提高, 我国肥料利用率达33%. http://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/201310/t20131010_3625203.htm. 2018-10-30
Information Office of the Ministry of Agriculture. Scientific fertilization promoted the utilization rate of fertilizer steadily, and the utilization rate of fertilizer in China reached 33% (In Chinese). http://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/201310/t20131010_3625203.htm. 2018-10-30
- [3] 农业部种植业管理司. 到2020年化肥使用零增长行动方案. http://www.moa.gov.cn/zwl/m/tzgg/tz/201503/t20150318_4444765.htm. 2018-10-30
Planting Management, Ministry of Agriculture, China. Action plan of zero growth on the chemical fertilizer use in 2020 (In Chinese). http://www.moa.gov.cn/zwl/m/tzgg/tz/201503/t20150318_4444765.htm. 2018-10-30
- [4] Liu Y X, Lu H H, Yang S M, et al. Impacts of biochar addition on rice yield and soil properties in a cold waterlogged paddy for two crop seasons. Field Crops Research, 2016, 191: 161—167
- [5] 高学振, 张丛志, 张佳宝, 等. 生物炭、秸秆和有机肥对砂姜黑土改性效果的对比研究. 土壤, 2016, 48 (3): 468—474
Gao X Z, Zhang C Z, Zhang J B, et al. Comparison of biochar, straw and manure in improving Shajiang black soil (In Chinese). Soils, 2016, 48 (3): 468—474
- [6] Andrenelli M C, Maienza A, Genesio L, et al. Field application of pelletized biochar: short term effect on

- the hydrological properties of a silty clay loam soil. *Agricultural Water Management*, 2016, 163: 190—196
- [7] Liang F, Li G T, Lin Q M, et al. Crop yield and soil properties in the first 3 years after biochar application to a calcareous soil. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13: 525—532
- [8] Wang Y, Pan F, Wang G, et al. Effects of biochar on photosynthesis and antioxidative system of *Malus hupehensis* Rehd. seedling under replant conditions. *Scientia Horticulturae*, 2014, 175: 9—15
- [9] Major J, Rondon M, Molina D, et al. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*, 2010, 333 (10): 117—128
- [10] Jeffery S, Verheijen F G A, van der Velde M, et al. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2011, 144 (1): 175—187
- [11] 肖婧, 徐虎, 蔡岸冬, 等. 生物质炭特性及施用管理措施对作物产量影响的整合分析. *中国农业科学*, 2017, 50 (10): 1827—1837
- Xiao J, Xu H, Cai A D, et al. A meta-analysis of effects of biochar properties and management practices on crop yield (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50 (10): 1827—1837
- [12] 孔丝纺, 姚兴成, 张江勇, 等. 生物质炭的特性及其应用的研究进展. *生态环境学报*, 2015, 24 (4): 716—723
- Kong S F, Yao X C, Zhang J Y, et al. Review of characteristics of biochar and research progress of its applications (In Chinese). *Ecology and Environmental Sciences*, 2015, 24 (4): 716—723
- [13] 张萌, 肖厚军, 赵欢, 等. 贵州黄壤区辣椒干物质、氮素积累与分配及氮素利用对新型肥料的响应. *应用生态学报*, 2016, 27 (9): 2983—2990
- Zhang M, Xiao H J, Zhao H, et al. Responses of dry matter, nitrogen accumulation and distribution and nitrogen utilization of pepper to new-type fertilizers in Guizhou yellow soil (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27 (9): 2983—2990
- [14] 刘方, 刘水根, 刘元生, 等. 早期水肥耦合对贵州山区辣椒生长及产量的影响. *中国土壤与肥料*, 2014 (6): 59—62
- Liu F, Liu S G, Liu Y S, et al. Effect of water and fertilizer coupling on growth and yield of chili at dry period (In Chinese). *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2014 (6): 59—62
- [15] 韩继明, 潘根兴, 刘志伟, 等. 减氮条件下秸秆炭化与直接还田对旱地作物产量及综合温室效应的影响. *南京农业大学学报*, 2016, 39 (6): 986—995
- Han J M, Pan G X, Liu Z W, et al. Contrasting effect of straw return and its biochar on changes in crop yield and integrated global warming effects under different nitrogen levels (In Chinese). *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2016, 39 (6): 986—995
- [16] 黄志浩, 曹国军, 耿玉辉, 等. 有机肥部分替代氮肥土壤硝态氮动态变化特征及玉米产量效应研究. *玉米科学*, 2019, 27 (1): 151—158
- Huang Z H, Cao G J, Geng Y H, et al. Effects of organic manure partial substitution for nitrogen fertilizer on the dynamic change characteristics of soil nitrate nitrogen and the maize yield effect (In Chinese). *Journal of Maize Science*, 2019, 27 (1): 151—158
- [17] 王贺东, 吕泽先, 刘成, 等. 生物质炭施用对马铃薯产量和品质的影响. *土壤*, 2017, 49 (5): 888—892
- Wang H D, Lü Z X, Liu C, et al. Effects of biochar amendment on yield and quality of potato (In Chinese). *Soils*, 2017, 49 (5): 888—892
- [18] 鲍士旦. *土壤农化分析*. 北京: 中国农业出版社, 2000
- Bao S D. *Soil and agricultural chemistry analysis* (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2000
- [19] 刘晓永, 李书田. 中国秸秆养分资源及还田的时空分布特征. *农业工程学报*, 2017, 33 (21): 1—19
- Liu X Y, Li S T. Temporal and spatial distribution characteristics of crop straw nutrient resources and returning to farmland in China (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33 (21): 1—19
- [20] 吴伟祥, 孙雪, 董达, 等. 生物质炭土壤环境效应. 北京: 中国农业出版社, 2015
- Wu W X, Sun X, Dong D, et al. *Environmental effects of biochar in soil* (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2015
- [21] Ouyang L, Yu L Q, Zhang R D. Effects of amendment of different biochars on soil carbon mineralisation and sequestration. *Soil Research*, 2014, 52 (1): 46—54
- [22] 廖上强, 陈延华, 李艳梅, 等. 生物炭基尿素对芹菜产量、品质及土壤硝态氮含量的影响. *农业资源与环境学报*, 2015, 32 (5): 443—448
- Liao S Q, Chen Y H, Li Y M, et al. Effect of biochar-based urea on yield and quality of celery and soil NO₃-N Content (In Chinese). *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2015, 32 (5): 443—448
- [23] Yao F X, Arbestain M C, Virgel S, et al. Simulated

- geochemical weathering of a mineral ash-rich biochar in a modified Soxhlet reactor. *Chemosphere*, 2010, 80 (7): 724—732
- [24] 李瑞霞, 李洪杰, 霍艳丽, 等. 生物炭对华北冬小麦根系形态和内生真菌多样性的影响. *农业机械学报*, 2018, 49 (3): 235—242
Li R X, Li H J, Huo Y L, et al. Effect of biochar on root morphology and endophytic fungal diversity of winter wheat in north China (In Chinese). *Journal of Agricultural Machinery*, 2018, 49 (3): 235—242
- [25] 黄连喜, 魏岚, 李衍亮, 等. 花生壳生物炭对土壤改良、蔬菜增产及其持续效应研究. *中国土壤与肥料*, 2018 (1): 101—107
Huang L X, Wei L, Li Y L, et al. Study on soil quality improvement, vegetable yield increasing of peanut shell biochar and its residual effect (In Chinese). *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2018 (1): 101—107
- [26] 李大伟, 周加顺, 潘根兴, 等. 生物质炭基肥施用对蔬菜产量和品质以及氮素农学利用率的影响. *南京农业大学学报*, 2016, 39 (3): 433—440
Li D W, Zhou J S, Pan G X, et al. Effect of biochar-based compound fertilizer on the yield, fruit quality and N use efficiency of vegetables (In Chinese). *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2016, 39 (3): 433—440
- [27] Khan M A, Kim K W, Wang M Z, et al. Nutrient-impregnated charcoal: an environmentally friendly slow-release fertilizer. *Environmentalist*, 2008, 28 (3): 231—236
- [28] 王艳阳, 魏永霞, 孙继鹏, 等. 不同生物炭施加量的土壤水分入渗及其分布特性. *农业工程学报*, 2016, 32 (8): 113—119
Wang Y Y, Wei Y X, Sun J P, et al. Soil water infiltration and distribution characteristics under different biochar addition amount (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32 (8): 113—119
- [29] 王洪媛, 盖霞普, 翟丽梅, 等. 生物炭对土壤氮循环的影响研究进展. *生态学报*, 2016, 36 (19): 5998—6011
Wang H Y, Gai X P, Zhai L M, et al. Effect of biochar on soil nitrogen cycling: a review (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36 (19): 5998—6011
- [30] 薛利红, 何世颖, 段婧婧, 等. 基于养分回用-化肥替代的农业面源污染氮负荷削减策略及技术. *农业环境科学学报*, 2017, 36 (7): 1226—1231
Xue L H, He S Y, Duan J J, et al. Agricultural non-point source pollution nitrogen load reduction strategy and technology of nutrient reusing in agricultural fields to replace fertilizer (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36 (7): 1226—1231
- [31] 王雪玉, 刘金泉, 胡云, 等. 生物炭对黄瓜根际土壤细菌丰度、速效养分含量及酶活性的影响. *核农学报*, 2018, 32 (2): 370—376
Wang X Y, Liu J Q, Hu Y, et al. Effect of biochar on microorganism, nutrient content and enzyme activity of cucumber rhizosphere soil (In Chinese). *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2018, 32 (2): 370—376
- [32] 武爱莲, 王劲松, 董二伟, 等. 施用生物炭和秸秆对石灰性褐土氮肥去向的影响. *土壤学报*, 2019, 56 (1): 176—185
Wu A L, Wang J S, Dong E W, et al. Effect of application of biochar and straw on fate of fertilizer N in cinnamon soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2019, 56 (1): 176—185
- [33] 董玉兵, 吴震, 李博, 等. 追施生物炭对稻麦轮作中麦季氨挥发和氮肥利用率的影响. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23 (5): 1258—1267
Dong Y B, Wu Z, Li B, et al. Effects of biochar reapplication on ammonia volatilization and nitrogen use efficiency during wheat season in a rice-wheat annual rotation system (In Chinese). *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2017, 23 (5): 1258—1267
- [34] 许欣, 陈晨, 熊正琴. 生物炭与氮肥对稻田甲烷产生与氧化菌数量和潜在活性的影响. *土壤学报*, 2016, 53 (6): 1517—1527
Xu X, Chen C, Xiong Z Q. Effects of biochar and nitrogen fertilizer amendment on abundance and potential activity of methanotrophs and methanogens in paddy field (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2016, 53 (6): 1517—1527

Biological Effects of Biochar on Nitrogen Fertilizer Reduction and Nitrogen Fertilizer Utilization Efficiency of Pod Pepper in Yellow Soil of Guizhou

ZHANG Meng WEI Quanquan XIAO Houjun ZHAO Huan GOU Jiulan[†]

(*Institute of Soil and Fertilizer, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China*)

Abstract 【Objective】 In recent years, biochar has extensively been used as an important fertilization amendment to improve crop quality and fertilizer use efficiency, but little is applied in the yellow soil for pod pepper cultivation in Guizhou. Therefore, this paper was oriented mainly to explore effects of application of biochar on nitrogen content in pod pepper growing in yellow soil of Guizhou. 【Method】 A field experiment was conducted to study effects of combined application of biochar and N fertilization on yield, quality, nutrient accumulation and nitrogen fertilizer utilization efficiency of pod pepper. The experiment was designed to have four treatments, different in combination ratio, i.e., CF₁₀₀B₀ (Chemical N fertilizer 100% and Biochar 0%), CF₉₀B₁₀ (Chemical N fertilizer 90% and Biochar 10%), CF₈₅B₁₅ (Chemical N fertilizer 85% and Biochar 15%) and CF₈₀B₂₀ (Chemical N fertilizer 80% and Biochar 20%). 【Result】 Results show that compared with Treatment CF₁₀₀B₀, Treatment CF₉₀B₁₀ increased the yield of pod pepper, by 7.3% in fresh weight and by 2.5% in dry weight while Treatments CF₈₅B₁₅ and CF₈₀B₂₀ decreased the yield slightly. Combined application significantly affected the contents of nitrate and Vc in the fruit of pod pepper. The content of nitrate in the fruit decreased by 4.8% ~ 8.9% in Treatments CF₉₀B₁₀, CF₈₅B₁₅ and CF₈₀B₂₀, while the content of Vc increased by 9.6% only in Treatment CF₉₀B₁₀. But no difference was found between the treatments in content of reducing sugar and free amino acids. In addition, the treatments, especially CF₉₀B₁₀, increases PFP_N by 2.08 ~ 2.62 kg·kg⁻¹, but lowered AE_N and RE_N in a trend with rising biochar ratio, so Treatment CF₉₀B₁₀ was the highest in AE_N and RE_N, being 7.7 kg·kg⁻¹ and 40.3% respectively. 【Conclusion】 On the whole, the application of biochar to substitute portion of nitrogen fertilizer can effectively ensure stable yield and N utilization efficiency of pod pepper in Guizhou. The use of biochar to substitute 10% of the chemical nitrogen fertilizer is the best in biological effect and hence recommended as the most suitable formula of fertilization for pod pepper production in the yellow soil of Guizhou.

Key words Biochar; Nitrogen fertilizer reduction; Yield; Pod pepper quality; Nitrogen fertilizer utilization efficiency

(责任编辑：陈荣府)