

生物炭对夏玉米农田土壤有效养分垂直分布及作物利用的影响

俞若涵, 姚 奇, 杨明晓, 王殿武, 王 洋*

(河北农业大学资源与环境科学学院, 河北 保定 071000)

摘 要: 生物炭具有改良耕层土壤理化性质和保水保肥的功效。针对华北地区农田养分利用效率低的问题, 采用田间试验方法, 研究了生物炭不同施用量对夏玉米生长关键期 0 ~ 100 cm 土壤有效态氮、磷、钾垂直分布特征及其对作物养分吸收利用的影响。试验设 B0F (0 t/hm² 生物炭 + 化肥)、B5F (5 t/hm² 生物炭 + 化肥)、B10F (10 t/hm² 生物炭 + 化肥) 和 B20F (20 t/hm² 生物炭 + 化肥) 4 个处理。结果表明: 在施用化肥一致的情况下, 随着生物炭施用量增加, 土壤有效态氮、磷、钾含量总体表现为 B5F>B10F>B20F>B0F, 且在抽雄期高于成熟期。在垂直分布上, 各处理有效态养分含量在 0 ~ 20 cm 最高, 随土层加深而逐渐降低, 40 ~ 60 cm 土层出现累积峰。夏玉米成熟期 0 ~ 100 cm 土壤硝态氮、铵态氮、有效磷和速效钾的累积量于 B5F 处理达到最高, 分别为 51.9、52.2、121.2 和 1184.3 kg/hm²。夏玉米抽雄期和成熟期地上部生物量和氮磷累积量均在 B5F 处理达到最大值, 与 B0F 相比, 分别显著提高 24.5%、58.2%、42.5% 和 13.5%、44.3%、40.8%, 产量在 B5F 达到最大值 9940.6 kg/hm²。不同水平生物炭与无机肥配施均可提升土壤有效养分供应的能力, 但仅在适量 (本研究条件下为 5 t/hm²) 施用生物炭的条件下才能有效促进夏玉米对土壤养分的吸收和高效利用, 进而显著提高夏玉米产量。

关键词: 生物炭; 硝态氮; 铵态氮; 有效磷; 速效钾; 产量

华北平原是我国重要的粮食生产基地, 冬小麦-夏玉米轮作是该地区的主要种植方式。目前, 由于华北平原地区土壤肥力低、施肥不当导致养分比例失调、作物产量不稳等问题^[1]。生物炭作为土壤改良剂, 吸附养分离子以减少土壤有效态氮、磷、钾的流失, 并通过解析作用缓慢释放养分从而更好地供给作物生长所需^[2]。在提升土壤质量, 保持土壤肥力等诸多方面可发挥积极作用, 室内研究发现生物炭能够解析 18% ~ 31% 的 NH₄⁺^[3-8], 且降低养分淋溶^[9-10], 本文是在田间条件下加以验证。

夏玉米地上部氮、磷养分累积量在其全生育期持续增加, 主要累积阶段在抽雄期, 成熟期达到最大^[11]。前人研究大多针对成熟期一个时期得出整个玉米季作物及土壤养分变化情况, 未能反映出夏

玉米养分的动态累积过程。且有关生物炭对土壤养分的影响研究多集中在耕层土壤^[12], 而 0 ~ 100 cm 土层深度的养分垂直分布及运移研究尚少。为此, 本研究通过无机肥与不同水平的生物炭配施, 以揭示其对夏玉米农田土壤 0 ~ 100 cm 有效养分垂直分布及作物吸收利用的影响, 旨在探明我国华北农田生物炭的合理施用量, 为实现作物高产高效提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于河北省宁晋县 (114° 59' E, 37° 36' N), 该区属于暖温带大陆性气候区, 年平均温度和年平均降水量分别为 13℃ 和 501 mm, 年均无霜期约 200 d。夏玉米田间试验开展于 2017 年 6 月 20 日至 9 月 30 日, 气温与降水情况见图 1。

1.2 供试材料

1.2.1 供试土壤

供试土壤为中壤质潮褐土, 表层土壤容重为 1.5 g/cm³, pH 为 8.0, 有机质含量为 15.8 g/kg, 供试土壤 0 ~ 100 cm 土层的化学性质见表 1。

收稿日期: 2019-11-20; 录用日期: 2020-01-11

基金项目: 国家重点研发计划“黄淮海北部小麦-玉米农田耕层调理与土壤肥力提高关键技术”(2017YFD0300905)。

作者简介: 俞若涵 (1994-), 女, 山东人, 在读硕士研究生, 主要从事土壤养分资源与利用研究。E-mail: 514025634@qq.com。

通讯作者: 王洋, E-mail: xiaoyiranwy85@163.com。

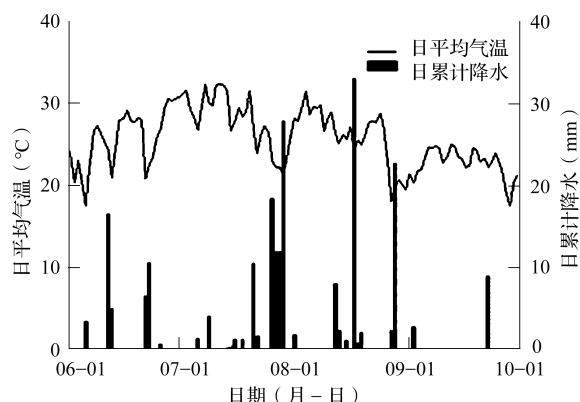


图1 2017年夏玉米生育期日平均气温与日累计降水

表1 供试土壤基本化学性质

土层深度 (cm)	全氮 (g/kg)	硝态氮 (mg/kg)	铵态氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
0 ~ 20	0.8	7.8	3.3	30.1	189.9
20 ~ 40	0.6	3.7	3.6	7.7	179.5
40 ~ 60	0.5	1.9	2.3	4.5	171.0
60 ~ 80	0.4	1.4	2.5	3.1	157.8
80 ~ 100	0.3	1.2	1.8	1.5	116.5

1.2.2 供试生物炭

供试生物炭以果木废弃枝条为原料,在600℃高温厌氧条件下热解制备,全氮含量为0.5 g/kg,全磷含量为0.9 g/kg,有效磷含量为89.3 mg/kg,有效钾含量为251.0 mg/kg。

1.2.3 供试作物

供试夏玉米品种为伟科966。

1.2.4 供试肥料

采用掺混肥作基肥于种植玉米前一次性施入,折合成纯养分用量N、P₂O₅和K₂O分别为156、30和54 kg/hm²。

1.3 方案设计

田间试验共设4个处理,在化肥施用量一致前提下,添加0 (B0F)、5 (B5F)、10 (B10F)和20 t/hm² (B20F)生物炭,各处理设置4次重复,采用随机区组排列,每小区面积34.2 m² (9.5 m × 3.6 m)。生物炭于2017年夏玉米播前一次性撒施于土壤表层并通过翻耕使生物炭与耕层(0~20 cm)土壤混匀,玉米季浇水两次,压苗水一次灌水量450 m³/hm²,拔节水一次灌水量600 m³/hm²,田间管理按当地常规管理方法进行。

于抽雄期和成熟期在每个小区按五点采样法分层(0~20、20~40、40~60、60~80和80~100 cm)采集土壤样品,相同层次的土壤混合为一

个样品后一部分于4℃冰箱保存,剩余部分风干过筛保存。

抽雄期和成熟期采集植物样品,每小区随机选取3株有代表性的夏玉米植株,自基部剪下,抽雄期分成茎、叶、苞叶、籽粒4部分,成熟期分成茎、叶、苞叶、轴、籽粒5部分,烘干后称重,用于分器官测定植株全氮、全磷、全钾养分含量和地上生物量。另外,每小区随机采集3个沿玉米种植行2 m长度地上部植株样品,分别装入网兜用于测定产量及产量相关指标。

1.4 测试项目及方法

生物炭和土壤样品的硝态氮、铵态氮含量用连续流动分析仪测定;全氮含量采用凯氏法测定;全磷含量采用钼锑抗比色法测定;有效磷含量采用0.5 mol/L NaHCO₃浸提,钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用1 mol/L NH₄OAC浸提,火焰光度法测定。

植物样品的全氮含量采用半微量凯氏定氮法测定;全磷含量采用钼锑抗比色法测定;全钾含量采用火焰分光光度法测定。土壤养分累积量计算公式为:

$$A=h \times \rho \times C \times 10/100$$

式中:A为土壤养分累积量(kg/hm²);h为土层厚度(cm);ρ为土壤容重(g/cm³);C为养分浓度(mg/kg)。

1.5 统计方法

采用Excel 2010进行数据处理和制图,采用SPSS 19.0进行数据的正态分布检验和显著性分析。

2 结果与分析

2.1 生物炭对土壤有效养分垂直分布的影响

2.1.1 生物炭对硝态氮和铵态氮垂直分布的影响

随生物炭施用量的增加,0~100 cm各土层土壤硝态氮含量整体表现为B5F>B10F>B0F>B20F的趋势,各处理土壤剖面的硝态氮含量均随土层深度的增加而减小,并于40~60 cm出现累积峰(图2)。在抽雄期,0~20 cm土壤硝态氮含量介于6.3~10.5 mg/kg, B5F显著高于B0F、B10F和B20F,分别显著增高46.8%、18.2%和67.1%;在40~60 cm的累积峰层,B0F、B5F、B10F、B20F处理硝态氮含量分别为2.6、4.6、4.1和3.0 mg/kg, B5F处理硝态氮含量显著高于B0F、B10F和B20F,分别显著增高75.6%、13.1%和51.5% (P<0.05)。在成熟期,土壤硝态氮0~100 cm的累积量于B5F达到最大值51.9 kg/hm²。

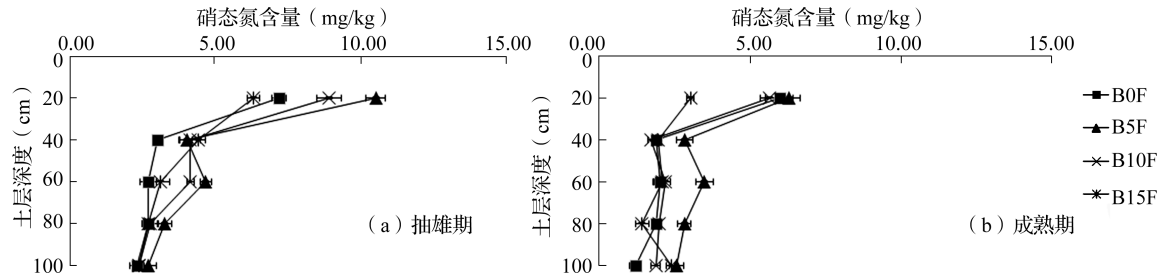


图2 玉米抽雄期和成熟期0~100 cm 土层硝态氮含量

土壤铵态氮含量在夏玉米不同生育期均表现为施用生物炭后显著提高,各处理呈现B5F>B10F>B20F>B0F的趋势,土壤铵态氮0~100 cm剖面分布在40~60 cm处出现累积峰(图3)。与B0F相比,B5F处理0~20、20~40和40~60 cm 土层铵态氮含量在两个时期平均分

别显著升高36.3%、47.4%和37.1%,60 cm以下土层铵态氮浓度维持在小于3.6 mg/kg的较低水平且各处理无显著差异。成熟期土壤铵态氮在0~100 cm的累积量于B5F达到最大值52.2 kg/hm²,较B0F、B10F和B20F分别显著提高37.3%、18.0%和33.1%(表2)。

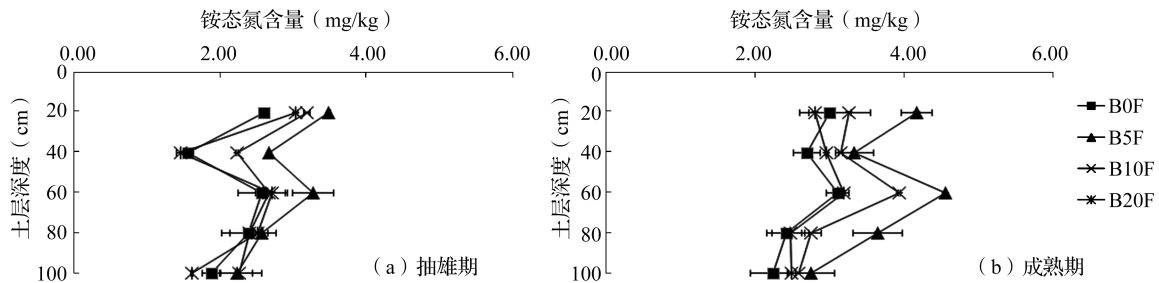


图3 玉米抽雄期和成熟期0~100 cm 土层铵态氮含量

表2 夏玉米成熟期0~100 cm 土壤有效态养分累积量 (kg/hm²)

处理	土壤硝态氮	土壤铵态氮	土壤有效磷	土壤速效钾
B0F	37.7 ± 2.7b	38.0 ± 2.2c	84.5 ± 1.5d	1007.4 ± 84.4b
B5F	51.9 ± 0.8a	52.2 ± 1.5a	121.2 ± 6.0a	1184.3 ± 68.2a
B10F	38.6 ± 1.6b	44.2 ± 1.5b	96.4 ± 3.0c	993.4 ± 88.2b
B20F	31.1 ± 1.6c	39.2 ± 1.4c	104.1 ± 6.7b	885.6 ± 122.7b

注: 同列数字后不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。

2.1.2 生物炭对有效磷垂直分布的影响

随生物炭施用量的增加,土壤有效磷含量呈现B5F>B10F>B0F>B20F的趋势(图4)。在0~100 cm

土壤剖面上,表层(0~20 cm)土壤有效磷含量最高,占剖面有效磷总含量的56.6%~73.5%,20 cm以下土壤有效磷含量迅速下降,除成熟期40~60 cm处出现累积峰外,土壤有效磷含量均维持在小于5.0 mg/kg水平。与B0F相比,B5F处理0~20和40~60 cm 土壤有效磷含量在抽雄期分别显著升高32.3%和44.5%,并在成熟期分别显著升高43.2%和66.4%。成熟期土壤有效磷在0~100 cm的累积量于B5F达到最大值121.2 kg/hm²,且显著高于其他处理,较B0F、B10F和B20F分别显著提高43.5%、25.7%和16.4%(表2)。

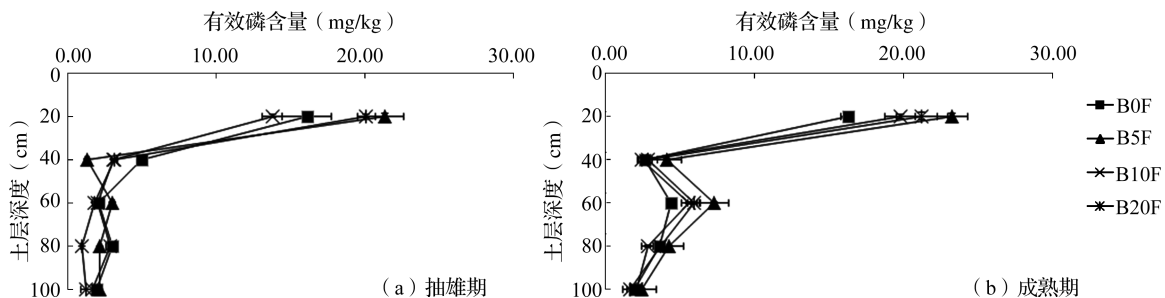


图4 玉米抽雄期和成熟期0~100 cm 土层有效磷含量

2.1.3 生物炭对速效钾垂直分布的影响

在抽雄期和成熟期, 土壤速效钾含量整体呈现 B5F>B20F>B0F>B10F 的趋势(图 5), 土壤速效钾在 20 cm 土层以下迅速下降, 土壤剖面 40 ~ 60 cm 处出现累积峰。抽雄期, 与 B0F 相比, B5F 处理在 0 ~ 20、20 ~ 40 和 40 ~ 60 cm 土层速效钾含量平均升高 3.6%, 60 cm 以下土层速效钾含量维持在小于 126.3 mg/kg 的较低水平。成熟

期, 与 B0F 相比, B5F 处理 0 ~ 60 cm 土层速效钾含量平均升高 15.3%, 60 cm 以下土层速效钾含量维持在小于 62.7 mg/kg 的较低水平, 表明土壤速效钾主要淋溶至 60 cm 土层。成熟期 0 ~ 100 cm 土层土壤速效钾累积量在 B5F 达到最大值(1184.3 kg/hm²)且显著高于其他处理, 较 B0F、B10F 和 B20F 分别显著提高 17.6%、19.2% 和 33.7%(表 2)。

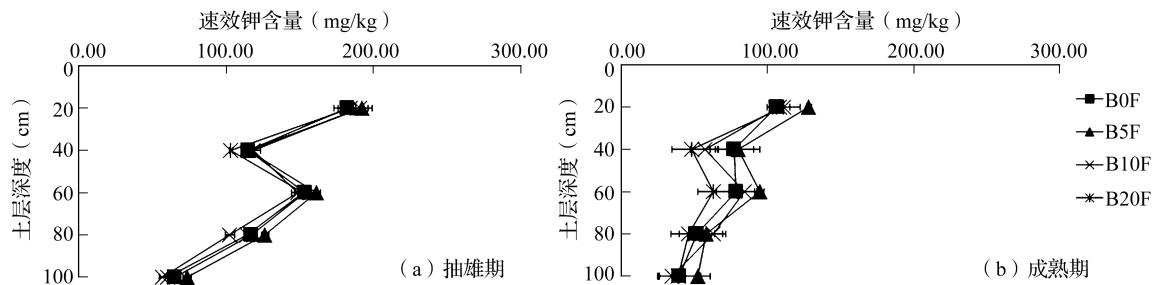


图 5 玉米抽雄期和成熟期 0 ~ 100 cm 土层速效钾含量

2.2 生物炭对夏玉米养分吸收及产量的影响

与 B0F 相比, B5F 可以显著提高抽雄期和成熟期夏玉米氮、磷累积量(表 3)。抽雄期内, 与 B0F 相比, B5F 和 B10F 的地上部生物量显著增加, B5F 的氮、磷累积量分别显著提高 58.2% 和 42.5%, B10F 和 B5F 的钾累积量分别显著升高 36.0% 和 67.6%, B20F、B10F 和 B5F 的籽粒含氮量和含钾

量分别显著提高 20.9%、36.6%、49.5% 和 17.9%、33.3%、56.0%, 但只有 B10F 和 B5F 的籽粒含磷量显著提高, 分别显著提高了 21.6% 和 29.7%; 成熟期内, 与 B0F 相比, B5F 的地上部生物量、籽粒氮、磷含量及氮、磷累积量分别显著提高 13.5%、28.6%、33.3%、44.3% 和 40.8%, B10F、B20F 未表现出显著差异。

表 3 生物炭对玉米成熟期各器官养分吸收的影响

夏玉米生育期	处理	地上部生物量 (kg/hm ²)	含氮量(%)					氮累积量 (kg/hm ²)	含磷量(%)					磷累积量 (kg/hm ²)	含钾量(%)					钾累积量 (kg/hm ²)
			茎	叶	苞叶	轴	籽粒		茎	叶	苞叶	轴	籽粒		茎	叶	苞叶	轴	籽粒	
抽雄期	B0F	6221.77b	0.66b	2.31a	1.07b		2.10d	78.53b	0.20a	0.24a	0.28a		0.37b	14.85b	2.36d	1.63b	1.67a		1.89d	128.18c
	B5F	7751.99a	0.96a	2.39a	1.36a		3.14a	124.22a	0.22a	0.29a	0.26a		0.48a	21.18a	3.35a	2.04a	1.86a		2.95a	214.90a
	B10F	7059.34a	0.64b	2.31a	1.18ab		2.87b	96.56b	0.19a	0.25a	0.24a		0.45a	17.27b	3.02b	1.73b	1.72a		2.52b	174.38b
	B20F	6784.88ab	0.68b	2.07a	1.07ab		2.54c	87.59b	0.19a	0.23a	0.20a		0.42ab	16.03b	2.77c	1.72b	1.69a		2.23c	157.20bc
成熟期	B0F	17323.6b	0.6ab	1.7a	0.4a	0.4a	1.4bc	197.5b	0.1b	0.2a	0.2a	0.2a	0.3b	38.5b	2.2b	1.6a	1.4a	1.5a	0.4a	183.1a
	B5F	19666.3a	0.6a	1.9a	0.5a	0.5a	1.8a	285.0a	0.1ab	0.2a	0.1b	0.1b	0.4a	54.2a	2.2b	1.6a	1.6a	1.5a	0.4a	200.5a
	B10F	17941.4ab	0.8a	1.6a	0.4a	0.4a	1.7b	241.2ab	0.1ab	0.2a	0.1a	0.1b	0.3ab	43.9b	2.5ab	1.6a	1.5a	1.3b	0.4a	192.1a
	B20F	17280.7ab	0.4b	1.4a	0.4a	0.5a	1.5c	199.5ab	0.2a	0.2a	0.1a	0.2b	0.3b	37.9b	2.8a	1.6a	1.4a	1.3ab	0.4a	192.1a

B5F 比 B0F 的籽粒产量显著增加 24.1%, 但随着生物炭施用量的增加并未达到持续提升作物产量的目的, B10F、B20F 与 B0F 相比未表现出显

著差异, 说明夏玉米产量构成因素(穗数、百粒重和穗粒数)受不同水平生物炭施用影响并不显著(表 4)。

表 4 不同处理对夏玉米产量和产量要素的影响

处理	穗数 (个/hm ²)	百粒重 (g)	穗粒数 (个)	产量 (kg/hm ²)
B0F	514183 ± 21174a	27.5 ± 0.7a	469 ± 35a	8011.3 ± 495.0b
B5F	530769 ± 18057a	27.8 ± 0.8a	519 ± 41a	9940.6 ± 985.5a
B10F	536298 ± 11058a	28.4 ± 0.5a	496 ± 41a	9462.9 ± 982.8ab
B20F	536298 ± 11058a	28.4 ± 0.8a	464 ± 25a	8840.2 ± 656.9ab

3 讨论与结论

在土壤有效养分垂直分布上,不同水平生物炭处理于抽雄期和成熟期均在 40 ~ 60 cm 处出现累积峰,说明在该季节的降雨和灌溉作用下,有效养分集中迁移到 40 ~ 60 cm 土层。

在 0 ~ 60 cm 土层, B5F、B10F 和 B20F 处理各有效养分含量均高于 B0F 处理,可见,生物炭对土壤速效养分有吸附作用,并缓慢释放,可以减少由于降水灌溉对土壤养分的流失,增加土壤中速效养分含量。然而, B5F 处理的有效养分含量高于 B10F 和 B20F 处理,这说明中高量生物炭施入土壤导致土壤高 C/N,加剧了土壤中有效态养分的微生物固定^[13-14],引发微生物与作物对氮养分的竞争,从而减少地上部生物量和吸氮量。此外, Yao 等^[15]指出中高量生物炭施用会引入大量的碱金属离子到土壤中,特别是 Ca²⁺,促进磷酸根沉降反应而引起土壤有效磷的化学固定^[16],这可能是中高量生物炭施用降低土壤中有效磷含量的原因。

生物炭具有缓控作用,在一次性施用大量化肥情况下,通过生物炭的吸附-解吸过程,使肥料的释放过程更加符合作物养分吸收变化,使作物养分吸收累积得到了增强。本研究发现,向土壤中施入一定范围内生物炭可显著促进作物的生长发育,从而为作物的增产增收奠定基础。但当施用量达到一定量后,增产效果呈减弱趋势,与前人的研究结果相同^[17-20]。这可能是由于过量生物炭施用下,提高土壤中的 C/N,加剧了速效养分的生物固定,土壤微生物与作物竞争有效态养分,进而抑制作物生长发育,减弱产量的增加^[15]。

在施用化肥一致的情况下,低量生物炭(5 t/hm²)施用显著提高夏玉米抽雄期和成熟期土壤 0 ~ 100 cm 氮、磷和钾有效养分垂直分布和氮、磷、钾养分吸收量,并显著提高产量 24.1%;而高

量生物炭抑制夏玉米养分的吸收,也不能增加产量。因此,华北地区夏玉米单季生物炭施用量以 5 t/hm² 为宜。

参考文献:

- [1] 张向前. 耕作方式对华北平原麦玉两熟农田土壤固碳及作物生长的影响 [D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- [2] Sun J N, He F H, Zhang Z H, et al. Temperature and moisture responses to carbon mineralization in the biochar amended saline soil [J]. Science of the Total Environment, 2016, 569-570: 390-394.
- [3] Topoliantz S, Ponge J F, Ballof S. Manioc peel and charcoal: a potential organic amendment for sustainable soil fertility in the tropics [J]. Biology and Fertility of Soils, 2004, 41 (1): 15-21.
- [4] Gai X P, Wang H Y, Liu J, et al. Effects of feedstock and pyrolysis temperature on biochar adsorption of ammonium and nitrate [J]. PLoS ONE, 2014, 9 (12): e113888.
- [5] 刘玮晶, 刘焯, 高晓荔, 等. 外源生物炭对土壤中铵态氮素滞留效应的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(5): 962-968.
- [6] 葛顺峰, 周乐, 门永阁, 等. 添加不同碳源对苹果园土壤氮磷淋溶损失的影响 [J]. 水土保持学报, 2013, 27 (2): 31-35.
- [7] 熊荟菁, 张乃明, 赵学通, 等. 秸秆生物炭对葡萄园土壤改良效应及葡萄品质的影响 [J]. 土壤通报, 2018, 49 (4): 936-941.
- [8] Zhang H, Voroney R P, Price G W. Effects of temperature and processing conditions on biochar chemical properties and their influence on soil C and N transformations [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2015, 83: 19-28.
- [9] 袁金华, 徐仁扣. 稻壳制备的生物炭对红壤和黄棕壤酸度的改良效果 [J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26 (5): 472-476.
- [10] Kameyama K, Miyamoto T, Shinogi Y. Influence of sugarcane bagasse-derived biochar application on nitrate leaching in calcareous dark red soil [J]. Environ Qual, 2012, 41 (4): 1131-1137.
- [11] 赵营. 冬小麦/夏玉米轮作体系下作物养分吸收利用与累积规律及优化施肥 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006. 1-68.
- [12] 牟金明, 姜亦梅, 王明辉, 等. 玉米根茬还田对玉米根系垂直分布的影响 [J]. 吉林农业科学, 1999, 24 (2): 25-27.
- [13] Deenik J L, McClellan A T, Uehara G, et al. Biochar volatile matter content effects on plant growth and nitrogen transformations in a tropical soil [J]. Crop and Soil Science, 2010, 74: 1259-1270.
- [14] 赵殿峰. 不同生物炭施用量对烤烟土壤理化性状及烤烟生长的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014. 1-45.
- [15] Yao Y, Gao B, Zhang M, et al. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a

- sandy soil [J]. Chemosphere, 2012, 89 (11): 1467–1471.
- [16] Steiner C, Teixeira W G, Lehmann J, et al. Long term effects of manure, charcoal, and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil [J]. Plant and Soil, 2007, 291: 275–290.
- [17] Glaser C, Kukulski Z, Kalaitzidis S, et al. Relations between environmental black carbon sorption and geochemical sorbent characteristics [J]. Environmental Science & Technology, 2004, 38 (13): 3632–3640.
- [18] 吕一甲, 生物炭肥对土壤性质、玉米生长及水肥利用效率影响试验研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014. 1–93.
- [19] 张文玲, 李桂花, 高卫东. 生物炭对土壤性状和作物产量的影响 [J]. 中国农学通报, 2009, 25 (17): 153–157.
- [20] 陈敏, 杜相革. 生物炭对土壤特性及烟草产量和品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2015 (1): 80–83.

Effect of biochar on vertical distribution of available nutrients in soil and crop nutrient utilization in summer maize season

YU Ruo-han, YAO Qi, YANG Ming-xiao, WANG Dian-wu, WANG Yang* (School of Resources and Environmental Sciences, Hebei Agricultural University, Baoding Hebei 071000)

Abstract: Biochar can improve soil physical and chemical properties and improve soil water and fertilizer conservation in plough layer. Therefore, the vertical distribution of available nitrogen, phosphorus and potassium in 0 ~ 100 cm soil under different dose of biochar were studied in a summer maize field to increase nutrient use efficiency in North China. The results showed that, in case of consistent application of chemical fertilizer, the content of available nitrogen, phosphorus and potassium in the soil was in order of B5F>B10F>B20F>B0F. For the vertical distribution, the effective nutrient content was the highest in 0 ~ 20 cm layer, and gradually decreased with the deeper layer, and there was a accumulated layer at 40 ~ 60 cm. The maximum contents of nitrate nitrogen (51.9 kg/hm^2), ammonium nitrogen (52.2 kg/hm^2), available phosphorus (121.2 kg/hm^2) and available potassium (1184.3 kg/hm^2) in 0 ~ 100 cm soil profile were achieved under B5F treatment, the biomass and content of nitrogen and phosphorus during the shoot stage were 24.5%, 58.2% and 42.5%, respectively, higher than those of B0F; while they were 13.5%, 44.3% and 40.8%, respectively, higher during maturation period; and the maximum yield was 9940.6 kg/hm^2 under B5F. Therefore, 5 t/hm^2 of biochar application effectively promoted nutrient absorption in soil profile and of nutrients use efficiency of summer maize, and significantly increased summer maize yield.

Key words: biochar; nitrate nitrogen; ammonium nitrogen; available phosphorus; available potassium; yield