

生物炭基肥和水分胁迫对花生产量、耗水和养分吸收的影响

王淑君, 夏桂敏, 李永发, 王伟志, 迟道才, 陈涛涛

(沈阳农业大学水利学院, 沈阳 110866)

摘要: 为了探究不同生物炭基肥施用量下水分胁迫对花生栽培的应用潜力, 运用自动遮雨棚花生盆栽试验, 对不同生物炭基肥施用量(0, 750, 1 500 kg/hm²)和不同水分胁迫程度(常规控水, 70%~75%田间持水量; 中度水分胁迫, 60%~65%田间持水量; 重度水分胁迫, 50%~55%田间持水量)对花生产量、耗水和其养分吸收特征的影响进行研究。结果表明: 施入 750, 1 500 kg/hm² 生物炭基肥可提高 0—15 cm 土层土壤铵态氮和速效钾含量、植株地上部分氮钾养分吸收和水分生产率; 除重度水分胁迫外, 其他两种控水水平均能提高土壤速效钾含量, 促进植株营养吸收, 进而提高产量; 中度水分胁迫下, 施入 750, 1 500 kg/hm² 生物炭基肥, 较无生物炭基肥可显著提高植株地上部分氮钾吸收, 增产 40.48% 和 37.71%, 提高水分生产率 53.8% 和 9.9%。研究结果可为生物炭基肥在干旱地区花生生产的应用方面提供理论依据。

关键词: 花生; 生物炭基肥; 水分胁迫; 水分生产率; 养分吸收

中图分类号: S565.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)06-0285-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.06.044

Effect of Biochar-based Fertilizer and Water Stress on Peanut Yield, Water Consumption and Nutrition Absorption

WANG Shujun, XIA Guimin, LI Yongfa, WANG Weizhi, CHI Daocai, CHEN Taotao

(College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866)

Abstract: In order to evaluate the application potential of water stress on peanut cultivation under different application amounts of biochar-based fertilizer, pot experiments were conducted in automatic canopy tanks to determine the effects of different application amounts of biochar-based fertilizer (0, 750, 1 500 kg/hm²) and different water stresses (conventional water control, moderate water control, heavy water control, corresponding soil water contents were 70%~75%, 60%~65% and 50%~55% of field capacity, respectively) on peanut yield, water consumption and nutrition absorption characteristics. The results showed that applying biochar-based fertilizer by 750 and 1 500 kg/hm² could increase the contents of ammonium nitrogen and available potassium in the top 15 cm soil, nitrogen and potassium absorption of above-ground plant as well as water productivity. Except heavy water control treatment, soil available potassium content, plant nutrition uptake and peanut yield were all increased in the other two water control treatments. In the treatment of moderate water control, compared with the treatment without biochar-based fertilizer, treatments of applying biochar-based fertilizer by 750 and 1 500 kg/hm² could significantly increase the above-ground nitrogen and potassium uptake, increase peanut yield by 40.48% and 37.71%, and increase water productivity by 53.8% and 9.9%, respectively. These results could provide theoretical basis for the application of biochar-based fertilizer in peanut cultivation in arid area.

Keywords: peanut; biochar-based fertilizer; water stress; water productivity; nutrition absorption

花生是重要的油料作物和经济作物, 目前全球已经有超过 100 多个国家和地区种植花生。2015 年我国花生单位面积产量为 3 561.68 kg/hm², 而辽宁省

花生单产仅为 1 611.94 kg/hm²[1], 可见, 花生单产具有较大的提升空间。辽宁省花生主要种植区域在辽西北半干旱地区, 93% 以上的种植面积分布在该区

域。水分的有效性是花生增产和稳产的最重要限制因素之一。在不同水分条件对东北风沙土花生生长和水分利用的影响研究中发现,全生育期土壤含水量下限控制在田间持水量 60% 时,水分利用率和产量达到了较高的水平^[2];亦有研究表明^[3],花生叶片水分利用在中度水分胁迫时效果最佳。由于辽西北“十年九旱”的气候特征,寻求充分利用水资源和减少水资源消耗方式尤为重要^[4]。因此,研究花生节水技术具有重要的现实意义。

生物炭是一种具有高度羧酸酯化、芳香化结构的物质,有丰富的孔隙结构、较大的比表面积、较高的阳离子交换量和理化性质稳定等特性^[5]。生物炭基肥是生物炭农用的一种方式,利用生物炭与养分元素进行结合而产生的一种新型复合肥料,具有改良土壤、提高土壤含水量、延缓养分释放和提高作物养分吸收等正效应,并且在不同地区得到了广泛的应用和成效^[6-7]。刘小虎等^[8]在炭基肥对花生产量和土壤养分的研究表明,炭基肥处理较其他处理能显著增加土壤养分含量。Khan 等^[9]采用吸附法,用木炭和 NPK 肥料溶液制备的生物炭基复合肥,发现此复合肥料可缓慢而稳定的释放养分。目前已有生物炭基肥在花生生产上的应用研究,而生物炭基肥和水分胁迫互效对花生的节水、保肥和增产的影响研究还未见相关报道。因此,本研究将生物炭基肥施用量和水分胁迫程度结合在一起,旨在明确不同生物炭基肥用量下,水分胁迫程度对花生产量、耗水及养分吸收的影响,并探究最佳的水肥管理模式,以期干旱半干旱地区花生的高效水肥管理提供理论依据。

1 试验区概况与试验方法

1.1 试验区概况

试验于 2016 年 5—10 月在辽宁省农科院作物抗旱栽培模拟试验场内进行。土壤为粉砂质壤土,0—30 cm 土壤含速效钾 96.67 mg/kg,速效磷 23.17 mg/kg,碱解氮 74.49 mg/kg,全氮 0.76 g/kg,有机质 12.5 g/kg。花生生育期内的逐日平均温度见图 1。

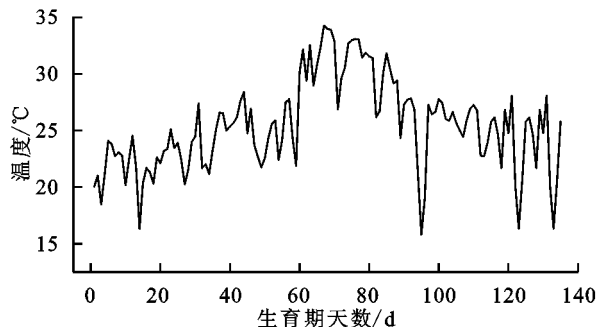


图 1 2016 年花生生育期内逐日平均温度

1.2 试验材料

供试花生品种为农花 12 号,每盆装 15 kg 风干土,灌等量水自然蒸发失水至适宜含水量(田间持水量的 70% 左右)时播种,选取大小、饱满度一致的种子 5 粒,地膜覆盖,于三叶期定苗。供试生物炭基肥为沈阳隆泰生物工程有限公司生产的花生专用复混肥料(N—P₂O₅—K₂O 为 10—13—13,总养分≥36%,C 养分含量为 20%),将其作为基肥一次性施入。

1.3 试验设计

采用裂区试验设计,二因素(生物炭基肥和水分胁迫),3 次重复。主区为生物炭基肥用量,设 3 个水平(BF₀、BF₁ 和 BF₂),分别为 0, 750, 1 500 kg/hm²。子区为水分胁迫程度,设正常供水、中度水分胁迫和重度水分胁迫 3 个水平,控水上限均为田间持水量(θ_f)的 75%,控水下限分别为田间持水量(θ_f)的 70%~75%, 60%~65% 和 50%~55%,用 W₀、W₁ 和 W₂ 表示。采用称重法计算灌水量,每日早 8:00 称重,每次灌水的灌水量由重量之差确定。雨天用自动挡雨棚进行遮雨处理,其他田间管理均按常规进行。

1.3.1 产量和植株地上部分氮钾吸收量 收获期,每盆选取两株样本,将地上部分的茎、叶分解,105 °C 杀青 30 min 后,70 °C 烘干 48 h 至恒重,测定其干重。再经过粉碎、过筛和消煮等处理后,用瑞士步琪公司生产的全自动凯氏定氮仪(BUCHI K-360)测定全氮含量,用英国 Sherwood 公司生产的火焰光度计(M410)测定钾含量,并计算植株地上部分氮钾吸收量;产量单打单收。

1.3.2 耗水量和水分生产率 每日早 8:00 用电子秤称每盆质量,低于设定的下限标准时用量杯补水至灌水上限,并记录每天的盆重和灌水量,盆重之差即为花生的耗水量。水分生产率是指消耗单位水资源量所获得的产量。

$$WP=Y/I$$

式中:WP 为水分生产率(g/kg);Y 为花生每盆实收产量(g);I 为全生育期每盆总耗水量(kg)。

1.3.3 铵态氮和速效钾 花生收获后,每盆采集 3 个点的 0—15 cm 土层土样,组成一个混合土样,每个土样去除植物残体。土壤铵态氮含量用 2 mol/L 50 mL 氯化钾溶液浸提,德国 SEAL 公司生产的 AA3 连续性流动分析仪进行测定;土壤速效钾含量则将土样自然风干后碾磨、过 2 mm 土筛,用 1 mol/L NH₄OAc 浸提,采用英国 Sherwood 公司生产的火焰光度计(M410)测定。

1.4 数据分析

方差分析采用 SAS 9.2 软件实现。裂区试验设

计多层次模型的固定因子分别为生物炭基肥(BF)和水分胁迫(W),随机因子为区组(B)。因此,该模型的主区和子区误差项分别为: $B \times BF$ 和 $B \times BF \times W$ 。主因子和交互因子事后均值差异检测采用 Tukey's HSD 方法,显著性水平为 $P < 0.05$ 。绘图采用 Origin 9 软件实现。

表 1 生物炭基肥和水分胁迫对花生耗水、产量及水肥利用的方差分析

误差源	不同生育阶段耗水量				总耗水	产量	水分 生产率	吸氮量	吸钾量
	苗期	花针期	结荚期	饱果期					
BF	0.62 ^{ns}	1.42 ^{ns}	0.68 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.26 ^{ns}	11.37 [*]	51.98 ^{**}	8.54 [*]	89.52 ^{**}
W	5.15 [*]	13.93 ^{**}	21.83 ^{**}	31.37 ^{**}	26.61 ^{**}	33.88 ^{**}	4.88 [*]	35.52 ^{**}	42.05 ^{**}
BF×W	0.28 ^{ns}	2.72 ^{ns}	2.96 ^{ns}	4.97 ^{**}	4.50 [*]	6.27 ^{**}	3.32 [*]	6.47 ^{**}	6.91 ^{**}

注:B 为区组;BF 为生物炭基肥;W 为水分胁迫;在每个数据区内,ns、* 和 ** 分别表示 F 值无显著性影响、显著性影响($P < 0.05$)和极显著性影响($P < 0.01$)水平。

2.1 生物炭基肥和水分胁迫对花生产量的影响

由表 1 可知,生物炭基肥施用量、水分胁迫程度及其交互因子对花生产量均有显著影响。通过 Tukey's HSD 检测结果表明(表 2),施用生物炭基肥显著提高花生产量,同不施生物炭基肥相比,施入 750 kg/hm² 生物炭基肥可显著增产 31.36%,然而继续增施生物炭基肥(1 500 kg/hm²),增产效果不明显,较 750 kg/m² 水平甚至略有降低。中度水分胁迫对产量没有显著的影响,但在重度水分胁迫下减产极为显著(23.73%)。

2 结果与分析

生物炭基肥和水分胁迫对花生不同生育阶段耗水、总耗水、产量、水分生产率、植株地上部分氮钾吸收量共 9 个核心响应变量的裂区试验设计方差分析,结果见表 1。

显著交互效应是因为不同水分胁迫下花生产量对生物炭基肥施用量的响应不成比例变化(表 3)。在 W₀ 和 W₁ 下,3 个生物炭基肥施用量水平的花生产量呈先增高后降低的趋势,施入 750 kg/hm² 生物炭基肥产量最高。而在 W₂ 下,花生产量随生物炭基肥施用量的增加而增加。交互作用下最大花生产量出现在 BF₁W₀ 处理,同 BF₁W₁、BF₂W₀ 和 BF₂W₁ 3 个处理差异不大,但增产效果要显著高于其他处理($P < 0.05$),较之对照(BF₀W₀)增产 43.07%,28.27%,17.67%和 25.74%。

表 2 各主因子不同水平间多重比较分析(Tukey's HSD 检验)

主因子	不同生育阶段每盆耗水量/kg				每盆总 耗水/kg	每盆 产量/g	水分生产率/ (g·kg ⁻¹)	每盆 吸氮量/g	每盆 吸钾量/g
	苗期	花针期	结荚期	饱果期					
BF ₀	4.67a	12.64a	10.47a	5.66a	33.55a	54.30b	1.65c	0.8281b	0.2357b
BF ₁	4.36a	11.42a	10.26a	5.68a	31.83a	71.33a	2.29a	1.0489a	0.6610a
BF ₂	4.24a	11.45a	11.12a	6.38a	33.52a	67.01ab	2.05b	0.9812ab	0.8087a
W ₀	5.15a	14.34a	12.87a	7.10a	39.47a	70.83a	1.82b	1.0304a	0.6327a
W ₁	4.09b	11.77b	10.87b	6.13b	33.30b	67.80a	2.07ab	1.0404a	0.6609a
W ₂	4.03b	9.41b	8.10c	4.48c	26.14c	54.02b	2.09a	0.7874b	0.4117b

注:BF 为生物炭基肥;W 为水分胁迫;BF₀ 为不施肥;BF₁ 为生物炭基肥施用量为 750 kg/hm²;BF₂ 为生物炭基肥施用量为 1 500 kg/hm²;W₀ 为 70%~75%θ_f;W₁ 为 60%~65%θ_f;W₂ 为 50%~55%θ_f;在不同水平主因子内,同列数据后不同小写字母表示处理间有显著差异($P < 0.05$)。

表 3 不同水肥处理对每盆花生耗水、产量及水分生产率的交互效应分析

处理		饱果期	总耗水/	产量/	水分生产率/
		耗水/kg	kg	g	(g·kg ⁻¹)
BF ₀	W ₀	6.71abc	40.48ab	58.90cd	1.48c
	W ₁	5.68bcd	31.59abcd	53.78d	1.71bc
	W ₂	4.59cd	28.57cd	50.21d	1.76bc
BF ₁	W ₀	7.89a	42.39a	84.27a	1.99bc
	W ₁	5.23cd	28.80bcd	75.55ab	2.63a
	W ₂	3.91d	24.30d	54.19d	2.24ab
BF ₂	W ₀	6.70abc	35.54abcd	69.31bc	1.98bc
	W ₁	7.48ab	39.49abc	74.06ab	1.88bc
	W ₂	4.96cd	25.55d	57.67cd	2.28ab

注:同列数据后不同字母表示处理间差异达到 5%显著水平。

2.2 生物炭基肥和水分胁迫对花生耗水和水分生产率的影响

水分胁迫程度对花生不同生育期及全生育期耗水量均有着显著的影响,而生物炭基肥施用量对花生耗水影响不大($P < 0.05$)(表 1)。不同水分胁迫水平间 HSD 均值检测表明(表 2),中度、重度水分胁迫显著降低了水分消耗,较对照分别降低 20.58%和 21.75%(苗期)、17.92%和 34.38%(花针期)、15.54%和 37.06%(结荚期)、13.66%和 36.90%(饱果期)、15.63%和 33.77%(总耗水)。生物炭基肥通过与水的交互对花生饱果期耗水和总耗水的交互效应达显著性水平(表 3),而显著交互作用是因为在生物炭基肥不同施用量下,花生饱果期耗水量和总耗水量的耗水规律对水分

胁迫的响应是不一致的。

生物炭基肥施用量、水分胁迫程度及其交互因子对水分生产率均具有显著性影响(表 1)。施入 750, 1 500 kg/hm² 生物炭基肥显著提高了水分生产率, 较不施生物炭基肥提高 38.79% 和 24.24%(表 2)。水分生产率随水分胁迫程度的增加而增加, 这种表现是因为水分胁迫降低了水分消耗。生物炭基肥不同施用量下, 加大水分胁迫程度能提高水分生产率, 但重度水分胁迫下的水分生产率的提高却显著降低了花生产量。较 BF₁W₀ 处理, BF₁W₁ 在不影响产量的情况下可降低 32.06% 的耗水量, 提高 32.16% 的水分生产率(表 3)。

2.3 生物炭基肥和水分胁迫对土壤铵态氮和速效钾的影响

生物炭基肥施用量和水分胁迫的交互作用, 显著影响了花生成熟期土壤 0—15 cm 土层铵态氮的含量(图 2)。在不施生物炭基肥的情况下, 3 种水分胁迫水平的土壤铵态氮的含量无显著性差异; 而在施入 750, 1 500 kg/hm² 生物炭基肥后, 3 种水分胁迫水平的土壤铵态氮含量显著增加。在不同水分胁迫下, 土

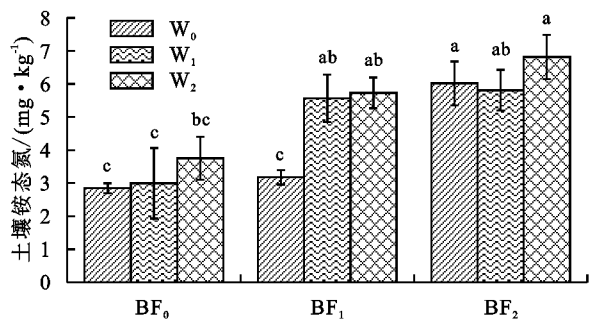


图 2 不同处理 0—15 cm 土层铵态氮、速效钾含量

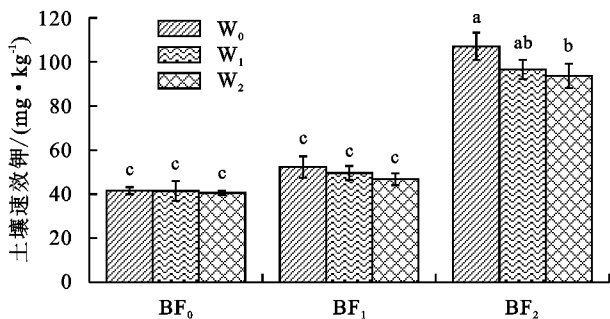
2.4 生物炭基肥和水分胁迫对花生地上部分 N、K 养分吸收的影响

生物炭基肥施用量、水分胁迫程度及其两者的交互均显著影响了花生地上部分 N、K 养分的吸收(表 1)。从生物炭基肥用量来看(表 2), 施入 750, 1 500 kg/hm² 生物炭基肥, 花生地上部分吸氮量较不施生物炭基肥分别提高了 26.66% 和 18.49%。W₀、W₁ 水平植株地上部分吸氮量显著高于 W₂ 水平。交互分析表明(图 3), 在不施生物炭基肥下, 水分胁迫程度的加大降低了植株地上部分吸氮量。在施入 750, 1 500 kg/hm² 生物炭基肥下, W₁ 水平植株地上部分吸氮量较 W₀ 水平提高了 0.97%, 显著高于重度水分胁迫。在 W₀、W₁ 下, 施入 750 kg/hm² 生物炭基肥地上部分吸氮量最高, 其次是 1 500 kg/hm² 生物炭基肥施用量, 而不施生物炭基肥的吸氮量最低。在 W₂ 下, 3 个水平的生物炭基肥施用量植株地上部分吸氮量无显著差异。

由表 2 可知, 植株地上部分吸钾量随生物炭基肥

壤铵态氮含量随着生物炭基肥施用量的增加而增加。BF₁W₀ 与 BF₁W₁ 处理产生显著性差异, 一方面是因为花生植株对氮素需求量的增加, 致使铵态氮的含量较低; 另一方面可能是水分充足时, 在无氧环境下产生反硝化作用。

结合生物炭基肥施用量和不同水分胁迫程度分析(图 2), 在施入 1 500 kg/hm² 生物炭基肥下, 3 种水分胁迫下的土壤速效钾含量显著高于其他处理; 而不施生物炭基肥和施入 750 kg/hm² 生物炭基肥下的各处理无显著性差异。不同水分胁迫下, 施入生物炭基肥提高了土壤速效钾含量。施入 750 kg/hm² 生物炭基肥的各处理与施入 1 500 kg/hm² 生物炭基肥的各处理间差异显著, 分析其原因, 是因为生物炭基肥中的生物炭成分中含有大量的钾, 增加了土壤中速效钾的含量, 而植物吸收的钾都来自土壤, 且在花生生长旺盛的需钾高峰期, 供给植株充足的钾素可促进叶绿体发育, 提高光合作用。当炭基肥的施入量为 1 500 kg/hm² 时, 施入量的增加和生物炭本身携带的钾, 使土壤中速效钾含量升高。



施用量的增加而增加。较不施生物炭基肥, 施入 750, 1 500 kg/hm² 生物炭基肥显著提高了植株地上部分吸钾量。同 W₀ 水平相比, W₁ 提高了 4.46% 植株地上部分吸钾量, 而 W₂ 显著降低了 34.93% 植株地上部分吸钾量。吸钾量在不同水分胁迫程度下随着生物炭基肥的施用量的增加而提高。尤其在施入生物炭基肥后, 中度水分胁迫均提高了植株地上部分的吸钾量(图 3)。

2.5 花生地上部分氮钾吸收的响应面分析及其与产量的关系

为了反映花生产量对地上部分氮吸收和钾吸收的响应关系, 绘制了不同氮吸收和钾吸收量对花生产量响应的等值线图(图 4), 并通过逐步回归分析拟合, 响应面逐步回归方程为: $Y = 63.75 - 82.41N + 51.75K + 82.03N^2 + 16.50K^2 - 58.93NK$, $R^2 = 0.791$, $P < 0.01$ 。式中: Y 为每盆花生产量(g); N 为每盆地上部分吸氮量(g); K 为每盆地上部分吸钾量(g)。

由图 4 中逐步递增趋势可以看出, 植株地上部分

氮吸收和钾吸收均能显著提高花生生产量,尤其在每盆吸氮量为 1.2 g,吸钾量 0.8 g 时增效极为明显。由此可见,花生产量的提高是因为在水分胁迫时,施用生物炭基肥提高了地上部分营养体养分元素的吸收。

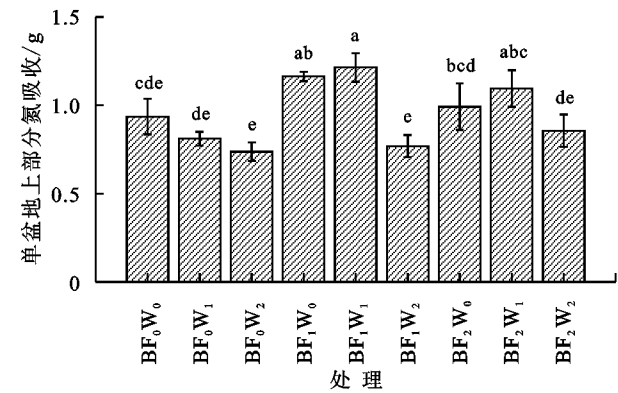


图 3 不同处理下花生植株地上部分氮、钾吸收的交互分析

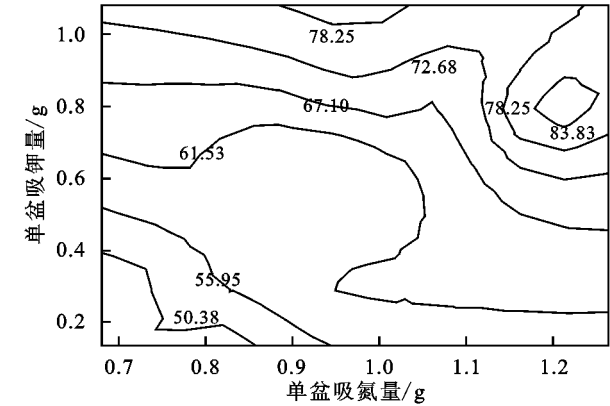


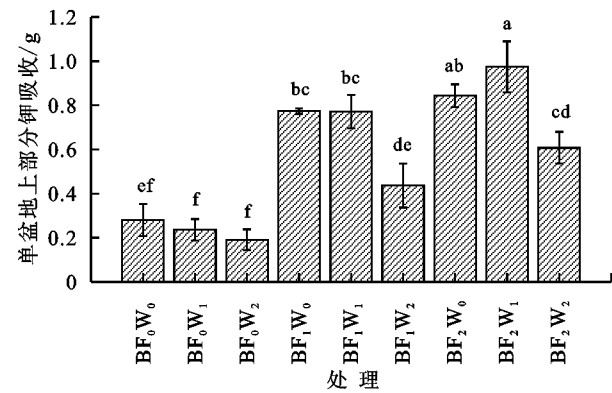
图 4 花生植株地上部分氮钾吸收对产量的响应

3 讨论

3.1 生物炭基肥和水分胁迫对花生耗水和水分生产率的影响

生物炭大量的孔隙结构,使其密度远小于土壤的密度,故生物炭的施入改变了原土样的孔隙状况,减小其容重,增加土壤孔隙度,增大土壤持水量^[10-11]。生物炭可以增加土壤水分滞留减少淋溶作用,是因为生物炭含有羧基和羟基等亲水集团,当生物炭在土壤中逐渐氧化,羧基集团会越多,生物炭的亲水性增强。在施用一定量的生物炭时表现为亲水性,而当土壤中生物炭含量过高时这种亲水性就会减弱,导致过高的生物炭施用量情况下的土壤含水率反而较中等施用量时有所下降。生物炭自身固有的结构特征和理化特性,使其添加到土壤中,有效地提高了土壤的含水量^[12]和持水能力^[13],从而影响土壤水环境,进而对作物的耗水产生一定的影响。李中阳等^[14]和李昌见等^[15]研究认为,生物炭的施用量对耗水量影响较大。此外,水分胁迫程度的增加必然会引起耗水量的减少,夏桂敏等^[16]研究表明,当减少灌水量时,花生不同生育时期的耗水量和总耗水量均降低了。本研究

此外,回归方程的决定系数 $R^2=0.791$,表明地上部分氮吸收和钾吸收解释了 79.1% 的产量变化。因此,生物炭基肥在水分胁迫下是通过显著提高植株地上部分氮吸收和钾吸收来提高花生产量的。



中,施入 750,1 500 kg/hm² 生物炭基肥降低了花生全生育期总耗水量,施入 750 kg/hm² 生物炭基肥降低总耗水量幅度最大,但并未达到显著性水平;而水分胁迫程度对花生不同生育期的耗水量和总耗水量均存在显著影响。本研究通过盆栽试验发现,生物炭基肥和水分胁迫对花生总耗水显著的交互作用表现在生物炭基肥不同施用量下花生总耗水的耗水规律对水分胁迫的响应不一致。另外,本研究还表明,同不施生物炭基肥相比,施入 750,1 500 kg/hm² 生物炭基肥,可提高 3 种水分胁迫水平的花生水分生产率,提高幅度为 9.94%~53.80%;在施入 750 kg/hm² 生物炭基肥时,中度水分胁迫提高花生水分生产率效果最明显;重度水分胁迫虽提高了水分生产率,却显著降低了花生产量。

3.2 生物炭基肥和水分胁迫对土壤肥力的影响

土壤肥力的变化不仅与土壤养分含量有关,还与土壤中水的有效性有关^[17]。大量实践应用表明,生物炭在农业土壤中施用能有效提高土壤阳离子交换量(CEC)而利于土壤肥力的提高^[18-19]。张文娟等^[20]研究表明,在相同生物炭添加量下,灌水量的增加减少了土壤铵态氮含量,生物炭添加量、灌水量及其交互作用对铵态氮含量均有显著影响。生物炭本身含有大量的钾元素,且对土壤 NH₄⁺、K⁺ 有较强的吸附能力^[21-22]。将生物炭基肥应用在花生生产中,可明显提高土壤铵态氮和速效钾含量^[8]。本研究表明,生物炭基肥的施用在常规控水、中度水分胁迫和重度水分胁迫时对土壤铵态氮和速效钾含量均有显著促进作用,这与人研究结果一致。同不施生物炭基肥相比,施入 750 kg/hm² 生物炭基肥在常规控水、中度水分胁迫和重度水分胁迫时土壤铵态氮含量分别提高了 11.58%,85.33%和 52.80%,土壤速效钾含量分别提高了 25.65%,19.60%和 15.35%;施入 1 500

kg/hm² 生物炭基肥在常规控水、中度水分胁迫和重度水分胁迫时土壤铵态氮含量分别提高了 111.22%, 93.67% 和 81.66%, 土壤速效钾含量分别提高了 160.76%, 132.77% 和 131.11%。水肥是影响土壤中钾释放和固定的重要因素, 随着水分胁迫程度的降低和生物炭基肥施用量的增加, 进入土壤水、肥量增大, 溶质运移量增多, 土壤速效钾含量增大^[23]。生物炭基肥的施入提高了土壤养分含量及有效性, 其原因有: (1) 生物炭基肥本身的有效养分含量, 决定了其对土壤肥力的改良效果; (2) 其本身具有较多的孔隙和较强的吸附作用, 使之具有较优的营养元素的吸附能力; (3) 生物炭成分可以通过改变土壤环境, 间接影响矿质养分的有效性^[24]。

3.3 生物炭基肥和水分胁迫对花生地上部分养分吸收和产量的影响

水分和肥料之间复杂的相互作用影响着花生的产量形成。高海英等^[25]通过电镜扫描结果发现, 水溶浸泡制备的生物炭基氮肥, 溶解后的氮肥能有效进入生物炭的孔隙中。廖上强等^[26]研究表明, 两个灌溉量下的生物炭基氮肥处理均提高了番茄的吸氮量。本研究通过水分胁迫程度与生物炭基肥施用量的交互试验表明, 施入生物炭基肥, 中度水分胁迫显著提高了花生植株地上部分的 N、K 养分的吸收, 与常规控水无显著性差异, 而重度水分胁迫始终与其他两种控水水平具有显著性差异。因作物营养特性的差异, 不同作物类型对生物炭施加的反馈作用不尽相同, 如 Van Zwieten 等^[27]于盆栽试验的研究显示, 生物炭与肥料配施提高了大豆对氮的吸收和产量, 却对小麦和萝卜产量有抑制作用; 乔志刚等^[28]和战秀梅等^[29]研究表明, 生物炭基肥是以提高氮素利用率、产量构成达到花生和水稻高产的原因所在。本研究表明, 较不施生物炭基肥, 施用生物炭基肥在中度水分胁迫时提高了花生产量, 且提高幅度分别为 40.48% 和 37.71%。这表明生物炭基肥中生物炭通过其自身较强的阳离子交换量、丰富的孔隙及官能团, 改善土壤水分、养分状况, 为作物的生长提供了适时、充足的水分和养分, 尤其在水分亏缺时, 生物炭的特性使其在减少水分供应下能维持作物的生产力^[30]。本研究还发现, 在生物炭基肥不同施用量时, 不同水分胁迫程度下花生产量提高的主要原因是显著提高了花生植株地上部分的氮钾吸收量。

4 结论

本文通过盆栽试验, 研究了生物炭基肥和水分胁迫对花生产量、耗水及养分吸收的影响。主要结论为:

(1) 水分胁迫可减少花生的耗水量, 在施入 750 kg/hm² 和 1 500 kg/hm² 生物炭基肥均能提高花生水分生产率, 且施入 750 kg/hm² 生物炭基肥效果更明显。

(2) 施入不同量的生物炭基肥, 可提高 3 种水分胁迫

水平下 0—15 cm 土壤铵态氮、速效钾含量, 且均随生物炭基肥施用量的增加而增加, 改善了土壤营养条件。

(3) 施入生物炭基肥显著提高了花生植株地上部分对氮、钾的吸收, 且中度水分胁迫水平的显著性最明显。综合考虑花生地上部分养分吸收、产量及水分生产率, 可采用施用 750 kg/hm² 生物炭基肥, 水分胁迫下限为中度水分胁迫水平 (60%~65% θ_f) 的水肥管理模式。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 2016 年中国统计年鉴. [EB/OL] (2017-03-28) [2017-04-10]. <http://data.stats.gov.cn/search.htm>
- [2] 杨志孟, 邹洪涛, 周子铨, 等. 不同水分条件对东北风沙土花生生长发育及水分利用率的影响[J]. 水土保持研究, 2015, 22(4): 52-55.
- [3] 姚珍珠, 夏桂敏, 王淑君, 等. 水分胁迫和斜发沸石应用对花生叶片光合特性及水分利用的影响[J]. 中国农村水利水电, 2016(9): 105-110.
- [4] 潘德成, 孔雪梅, 赵阳. 辽宁省花生生产增产潜力分析[J]. 辽宁农业科学, 2012(3): 35-38.
- [5] 陈温福, 张伟明, 孟军. 农用生物炭研究进展与前景[J]. 中国农业科学, 2013, 46(16): 3324-3333.
- [6] 任少勇, 王姣, 黄美华, 等. 炭基肥对马铃薯品质和产量的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(6): 233-237.
- [7] Saqib S A, Guitong L, Mathias N A, et al. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation[J]. Agricultural Water Management, 2014, 138(2): 37-44.
- [8] 刘小虎, 赖鸿雁, 韩晓日, 等. 炭基缓释花生专用肥对花生产量和土壤养分的影响[J]. 土壤通报, 2013, 44(3): 698-702.
- [9] Khan M A, Kim K M, Mingzhi W, et al. Nutrient-impregnated charcoal: An environmentally friendly slow-release fertilizer[J]. The Environmentalist, 2008, 28(3): 231-235.
- [10] 徐楠楠, 林大松, 徐应明, 等. 生物炭在土壤改良和重金属污染治理中的应用[J]. 农业环境与发展, 2013, 33(4): 29-34.
- [11] 潘全良, 陈坤, 宋涛, 等. 生物炭及炭基肥对棕壤持水能力的影响[J]. 水土保持研究, 2017, 24(1): 115-121.
- [12] 李培培, 韩燕来, 金修宽, 等. 生物炭对砂质潮土养分及玉米产量的影响[J]. 土壤通报, 2014, 45(5): 1164-1169.
- [13] 颜永毫, 郑纪勇, 张兴昌, 等. 生物炭添加对黄土高原典型土壤田间持水量的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(4): 120-124.
- [14] 李中阳, 齐学斌, 樊向阳, 等. 生物质炭对冬小麦产量、水分利用效率及根系形态的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(12): 119-124.