

生物有机肥用量对地黄生长和土壤养分的影响

高 添¹, 王 琰¹, 孙 凯¹, 姜慧慧¹, 齐瑞玲¹, 任秀娟¹,
王 菲¹, 刘 星¹, 袁敬平², 张 影¹, 申长卫^{1*}

(1. 河南科技学院资源与环境学院, 河南 新乡 453003;

2. 河南科技学院园艺园林学院, 河南 新乡 453003)

摘 要: 针对黄河地区地黄品种退化、产量下降、功效降低的问题, 从改善地黄产地土壤入手, 以怀地黄为试材, 研究生物有机肥用量对地黄生长、养分含量以及土壤根际与非根际土养分变化的影响。结果表明, 与常规施肥相比, 施用生物有机肥处理显著增加地黄的块根数和根粗, 提高地黄产量和品质。随着生物有机肥用量的增加, 地黄块根中大量元素积累量在增加, 尤其是地黄中全磷(P)积累量远高于全氮(N)和全钾(K)积累量。与常规施肥相比, 施用生物有机肥显著降低根际土的pH值, 提高根际土中有机质、全氮、有效磷和速效钾含量, 改善土壤肥力状况。综合考虑地黄块根产量、品质、养分积累以及土壤肥力变化, 生物有机肥用量为4500 kg/hm²是黄河地区中等肥力地黄田增产稳收的合理施肥方式。

关键词: 地黄; 生物有机肥; 根际土壤; 产量; 土壤养分

地黄(*Rehmannia glutinosa*), 又名生地黄, 怀庆地黄和地髓等, 为玄参科地黄属多年生草本植物, 因其地下块根多呈现黄白色而得名, 分布范围较为广泛, 以其新鲜/干燥块根或其炮制品入药, 分别称为鲜地黄、生地黄和熟地黄, 具有清热凉血、养阴生津、补血滋阴及益精填髓之功效^[1]。地黄是河南四大怀药之一, 我国传统的大宗药材。据统计, 在中药材进出口, 中成药以及保健品市场中地黄占据着重要地位^[2]。随着中药材的国际化与现代化, 地黄的需求量越来越大, 种植前景也越来越好。但由于各地气候以及水土等条件差异过大, 地黄极易出现品种退化、功效降低、病虫害严重等情况, 严重威胁地黄的生产, 引起产量下降, 质量降低^[3-4], 种植效益低下^[5]等问题。

长期的作物种植生产实践证明, 作物品质受到种质和环境的三重影响, 而土壤是影响作物生长发育的主要环境之一, 施用生物有机肥可以有效改善

作物的生长环境, 提高产量并改善品质。有研究表明施用生物有机肥, 能够为土壤带入大量活的有益功能菌, 抑制其他有害菌的生长, 调控土壤微生物区系, 改善土壤生物活性^[6-9], 并且有利于土壤养分的转化和自我修复^[10]。另外, 也可改善作物品质^[11], 增强植株抗逆抗病性, 促进根系建成, 协调作物营养的均衡供养^[12-14]。柳玲玲等^[8]发现施用生物有机肥对钩藤的营养吸收、产量及土壤的理化性质均有显著的改善效果。在苹果^[6]、春茶^[7]、马铃薯^[9]、辣椒^[13]等研究中也证实了生物有机肥可以改善作物品质, 提高产量; 而且在植株的抗逆抗病性、吸收养分等方面也有较好的影响, 但是生物有机肥在药用植物地黄上的应用却鲜有报道。本研究以当地常规施肥为对照, 施用不同量的生物有机肥, 通过研究生物有机肥对地黄生长指标、养分积累、根际和非根际土的养分含量的影响, 分析影响地黄产量的因素, 以期生物有机肥在地黄栽培中的应用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2018年4月在新乡市凤泉区丘腾种植专业合作社进行, 选用怀地黄为供试材料。该区域属于典型的暖温带大陆性半干旱季风型气候, 四季

收稿日期: 2019-11-16; 录用日期: 2020-01-28

基金项目: 河南省本科高校省级大学生创新创业训练计划(S201910467008); 国家自然科学基金(41601250), 河南科技学院2017年高层次人才引进启动项目(2017034)。

作者简介: 高添(1997-), 男, 河南开封人, 大学本科, 主要从事植物营养与施肥方面的研究。E-mail: 2914160148@qq.com。

通讯作者: 申长卫, E-mail: changweishen@163.com。

分明。该地区年平均气温为 14.0℃, 年均降水量为 617.8 mm, 试验前土壤养分状况: pH 值 8.52、有机质 1.70%、全氮 0.11%、有效磷 39.40 mg/kg、速效钾 161.80 mg/kg。土壤类型为石灰性潮土。

1.2 试验设计

试验共设置 4 个处理, 其中 T1 处理为当地农民常规施肥, T2 处理为施用 1500 kg/hm² 的生物有机肥 (有效活菌数 ≥ 0.2 亿 /g; 有机质 40%; N-P₂O₅-K₂O: 3.52-5.44-0.78), T3 处理为施用 3000 kg/hm² 的生物有机肥, T4 处理为施用 4500 kg/hm² 的生物有机肥。T1 处理具体施肥情况: 年前 (2017 年 12 月) 底肥: 15-15-15 复合肥 2250 kg/hm²; 幼苗期 (2018 年 4 ~ 6 月) 15-15-15 复合肥 750 kg/hm²; 盘棵期 (2018 年 6 ~ 7 月) 15-15-15 复合肥 750 kg/hm²; 块根膨大期 (2018 年 7 ~ 9 月) 15-15-15 复合肥 1050 kg/hm², 过磷酸钙 375 kg/hm²。其他 3 个处理的化肥施用量与 T1 处理相统一。T2、T3 和 T4 处理中生物有机肥于播种期 (2018 年 4 月上旬) 在地黄块根底部集中施用。每个处理分别设置 3 个重复小区, 每个小区面积均为 32 m² (3.2 m × 10 m)。小区畦宽 3.2 m, 畦四周起埂, 埂高 30 cm, 按株距 20 cm、行距 25 cm 栽种。

1.3 样品采集与处理

取样时期: 地黄成熟期时 (12 月左右)。取样方法: 每个小区随机取 5 株地黄, 并按照地上部叶片和地下部块根分为两部分, 清洗干净, 装入自封袋中, 带回实验室, 在烘箱中于 105℃ 杀青 30 min, 转至 70℃ 烘干至恒重, 烘干之后的地黄样品用粉碎机进行粉碎, 装入自封袋, 待养分测定。待地黄集中采收时, 准备好游标卡尺、卷尺、电子称等测量仪器, 每个重复小区随机抽取 5 株进行单株块根数、总株数、主根根长、主根根粗、最大块根质量和最小块根质量等性状的测定, 同时测定每个小区的产量以及地黄块根的品质。

土壤非根际土的采集: 用土钻取 0 ~ 20 cm 土壤样品, 作为供试土样。每个小区取 5 个样点, 混合均匀, 作为一个重复。土壤根际土的采集: 采用抖根法, 即用铲子挖出完整地黄块根, 用力抖动去除块根表面疏松土壤, 再用刷子刷取紧贴地黄块根表面的土壤 (50 g/株) 作为根际土壤。取得土壤样品后, 挑出土壤中石块和动植物残体, 风干, 研磨, 分别过 1 和 0.25 mm 筛, 用于土壤养分的测定。

1.4 测定指标与方法

品质指标测定: 地黄块根可溶性糖含量采用硫酸-蒽酮比色法测定; 地黄块根可溶性蛋白的含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定。养分指标测定: 植株中全氮含量采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-AA3 流动分析仪测定; 植株中全磷含量采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-钼锑抗比色法测定; 植株中全钾含量采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-火焰光度法测定; 植株中微量元素采用 HNO₃-HClO₄ 消煮-ICP 进行测定; 土壤样品 pH 值采用电位法测定; 土壤全氮采用硫酸消化-半微量凯氏定氮法测定; 土壤有机质采用外加热重铬酸钾容量法测定; 土壤有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定; 土壤速效钾采样醋酸铵浸提-火焰光度法测定^[15]。

1.5 数据分析

使用 SPSS 18.0 分析软件和 Excel 2010 对数据进行分析, 其中方差分析中 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 生物有机肥用量对地黄生长指标的影响

2.1.1 地黄单株块根数和总株数

由图 1 可知, 与 T1 处理相比, T2、T3 和 T4 处理下的地黄单株块根数存在显著性差异。随着有机肥用量的增加, 地黄的单株块根数呈现出逐渐增加的趋势, T2、T3 和 T4 处理相比 T1 处理下的地黄单株块根数分别显著提高 92.71%、175.00% 和 229.16%。

由图 1 可知, 与 T1 处理相比, T2 处理下的地黄总株数无明显差异, T3 和 T4 处理下的地黄总株数存在显著差异。相比 T1 处理, T3 和 T4 处理下的地黄总株数分别显著降低 27.84% 和 34.54%。T2、T3、T4 处理中随着生物有机肥用量的增加, 地黄的总株数呈下降趋势, 说明施用生物有机肥能提高地黄产量, 但小区单株数有所降低。

2.1.2 地黄主根根长和根粗

由图 2 可知, 与 T1 处理相比, T2、T3 和 T4 处理下的地黄主根根长无明显差异。随着生物有机肥用量的增加, 地黄的主根根长无显著变化。与 T1 处理相比, T2 和 T3 处理下的地黄主根根粗无明显差异, T4 处理下的地黄主根根粗存在显著差异, T4 处理相比 T1 处理下的地黄主根根粗增加 10.75%。随着生物有机肥用量的增加, 地黄的主根根粗有增加的趋势。

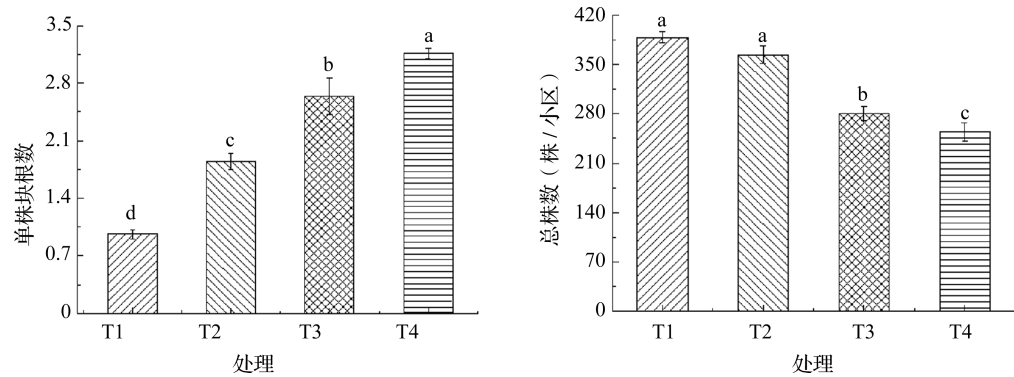


图1 生物有机肥用量对地黄单株块根数和总株数的影响

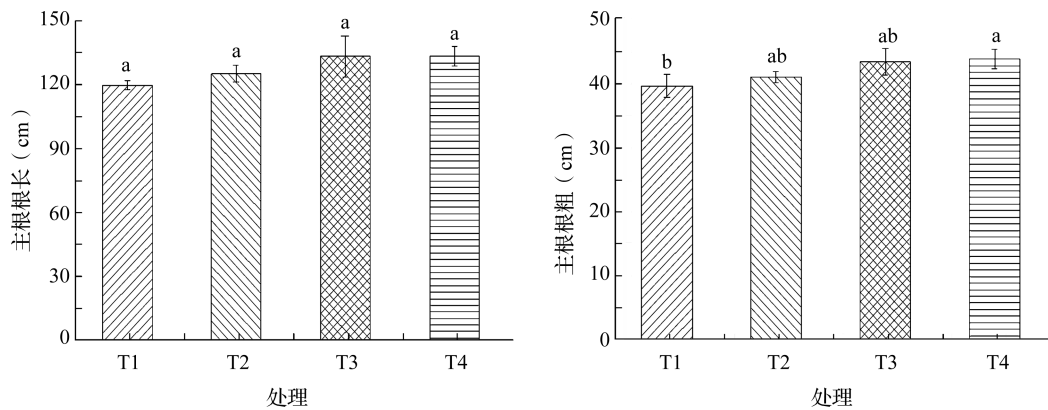
注: 图中不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

图2 生物有机肥用量对地黄主根根长和根粗的影响

2.1.3 地黄主块根质量

由图3可知, 与T1处理相比, T3和T4处理下的地黄最小块根质量无显著性差异, T2处理下的地黄最小块根质量存在显著差异, T2处理相比

T1处理下的地黄最小块根质量显著降低40.00%。随着生物有机肥用量的增加, 地黄最小块根质量呈先下降后上升的趋势, 在T2处理下, 地黄的最小块根质量最小, T4处理下地黄最小块根质量最大。

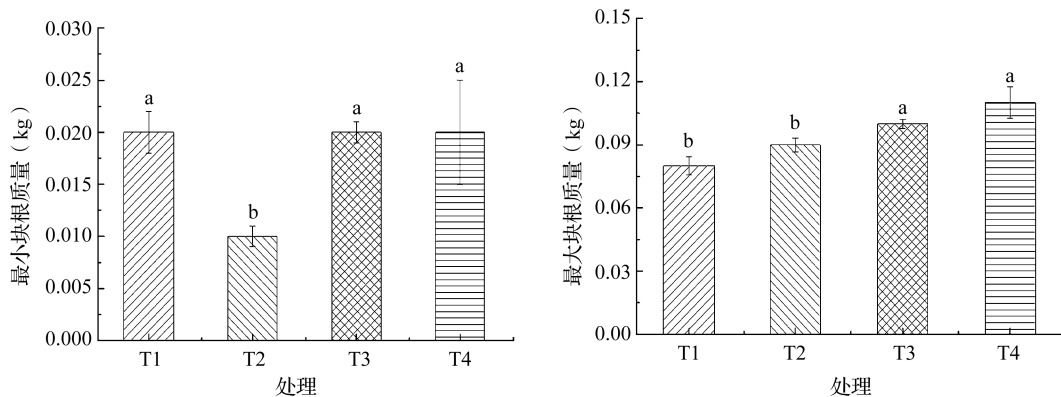


图3 生物有机肥用量对地黄主块根质量的影响

与T1处理相比, T2处理下的地黄最大块根质量无显著性差异, T3和T4处理与T1处理下的地黄最大块根质量存在显著性差异, 分别显著增加23.17%和31.71%。随着生物有机肥用量的增加, 地黄最大块根

质量呈上升趋势, 在T4处理下地黄最大块根质量达到最大, T2处理时地黄最大块根质量最小, T2处理相比T4处理下的地黄最大块根质量显著降低19.44%。总体来看, 施用生物有机肥可以提高地黄最大块根质量。

2.1.4 地黄实际产量

由图4可知,与T1处理相比,T2、T3和T4处理下的地黄实际产量显著增加。随着生物有机肥用量的增加,T2、T3和T4处理相比T1处理下的地黄实际产量分别显著增加81.67%、109.58%和122.12%。其中T4处理下地黄的实际产量最大,T2处理时地黄的实际产量最低,T2处理相比T4处理下的地黄实际产量显著降低18.21%。

2.1.5 地黄品质指标

由图5可知,与T1处理相比,T2、T3和T4处理下地黄可溶性糖的含量显著增加。随着生物有机肥用量的增加,地黄可溶性糖的含量逐渐增加,相比T1处理,T2、T3和T4处理下地黄可溶性糖的含量分别显著提高12.18%、19.95%和22.57%。

与T1处理相比,T2、T3和T4处理下可溶性蛋白的含量差异不显著。

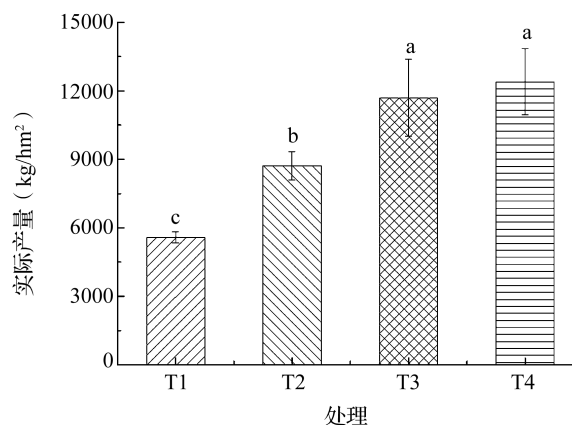


图4 生物有机肥用量对地黄产量的影响

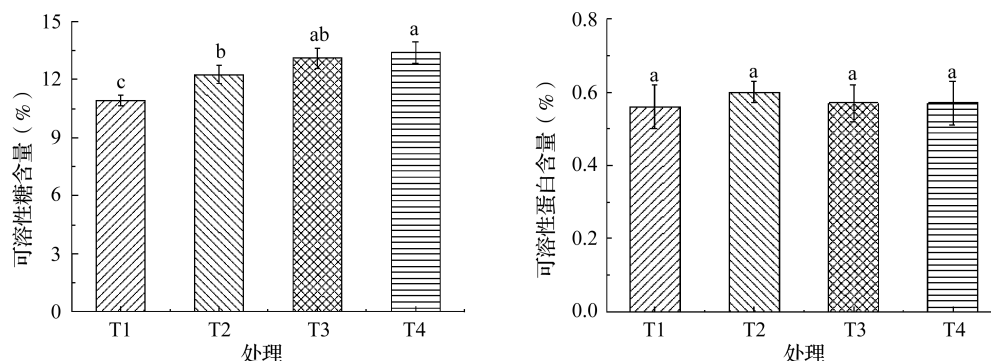


图5 生物有机肥用量对地黄可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响

2.2 生物有机肥用量对地黄块根养分积累量的影响

与T1处理相比,T2、T3和T4处理下的地黄块根养分在大量元素全氮、全磷和全钾积累量方面存在显著差异。由表1可知,随着有机肥用量的增加,地黄块根大量元素积累量逐渐增加,特别是磷元素积累量增加最为显著。T2、T3和T4处理下地

黄养分与T1处理在中量元素全钙和全镁积累量方面存在显著差异,随着有机肥用量的增加,地黄块根中全钙和全镁积累量逐渐下降。此外,T2处理下的地黄块根养分在微量元素铁、锰和锌积累量方面与T1处理无显著差异,然而T3和T4处理下的地黄块根养分在微量元素铁、锰和锌积累量方面存在显著差异,随着有机肥用量的增加,地黄块根

表1 生物有机肥用量对地黄块根养分积累量的影响

项目		T1	T2	T3	T4
大量元素积累量 (kg/hm ²)	全氮 (N)	5.66 ± 0.20c	8.92 ± 0.52b	10.62 ± 1.25ab	12.01 ± 1.14a
	全磷 (P)	9.59 ± 0.34d	20.36 ± 1.20c	50.95 ± 6.00b	74.33 ± 7.06a
	全钾 (K)	12.43 ± 0.44c	21.21 ± 1.25b	24.14 ± 2.84ab	26.55 ± 2.52a
中量元素积累量 (kg/hm ²)	全钙 (Ca)	1.26 ± 0.04a	0.72 ± 0.04b	0.54 ± 0.06c	0.36 ± 0.03d
	全镁 (Mg)	1.15 ± 0.04a	0.94 ± 0.06b	0.81 ± 0.10b	0.60 ± 0.06c
微量元素积累量 (g/hm ²)	铁 (Fe)	255.53 ± 9.11a	244.47 ± 14.37a	149.78 ± 17.64b	36.99 ± 3.51c
	锰 (Mn)	17.15 ± 0.61a	16.90 ± 0.99a	8.55 ± 1.01b	2.83 ± 0.27c
	铜 (Cu)	10.30 ± 0.37b	7.34 ± 0.43c	3.01 ± 0.35d	15.04 ± 1.43a
	锌 (Zn)	23.55 ± 0.84a	21.63 ± 1.27a	15.17 ± 1.79b	11.22 ± 1.07c

注:表中数据为平均值 ± 标准差。同行数据后小写字母不同表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

养分在微量元素铜元素积累量方面呈现出先下降再上升的趋势。

2.3 生物有机肥用量对地黄根际土和非根际土 pH 值的影响

由图 6 可知, T2、T3 和 T4 处理下地黄非根际土的 pH 值相对 T1 处理都有所上升。随着有机肥用量的增加, 地黄非根际土的 pH 值呈现出先上升再下降的趋势。在 T2 处理下地黄非根际土的 pH 值为 8.60, 相对 T1 处理增加 9.83%。T3 和 T4 处理地黄非根际土的 pH 值分别为 8.48 和 8.25。在根际土中, T2、T3 和 T4 处理下地黄根际土的 pH 值与 T1 处理相比都有所下降, T2、T3 和 T4 处理相对 T1 处理 pH 值分别降低 2.79%、2.31% 和 2.03%。

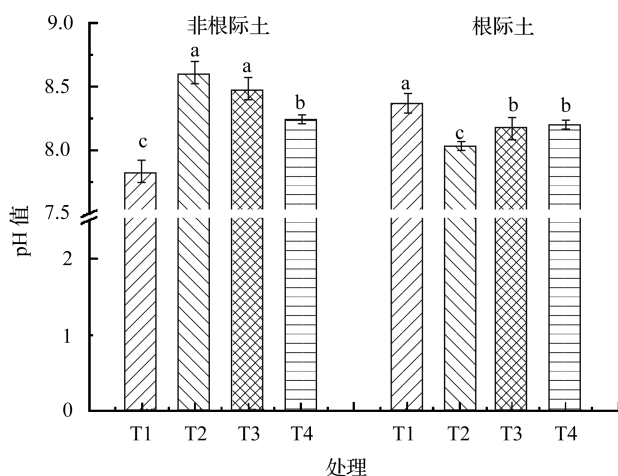


图 6 生物有机肥用量对地黄非根际土和根际土 pH 值的影响

2.4 生物有机肥用量对地黄根际土和非根际土有机质含量的影响

在非根际土中, T1、T2、T3 和 T4 处理下的地黄非根际土有机质的含量无显著变化 (图 7)。然而, 在根际土中, 随着有机肥用量的增加, 地黄根际土有机质含量呈现出上升趋势, T2、T3 和 T4 处理的有机质含量比 T1 处理分别增加了 4.51%、7.49% 和 9.30%。

2.5 生物有机肥用量对地黄根际土和非根际土全氮含量的影响

在非根际土中, T1 处理与 T2 处理下的地黄非根际土全氮含量无显著差异, 但 T3 和 T4 处理下的地黄非根际土全氮含量相对 T1 处理显著提高, 且随着有机肥用量的增加, 地黄非根际土全氮含

量呈现上升的趋势。从图 8 可知, T4 处理下地黄非根际土全氮含量为 0.11%, 相对 T1 处理增加了 146.09%。在根际土中, 不同处理下地黄根际土全氮含量无显著差异。

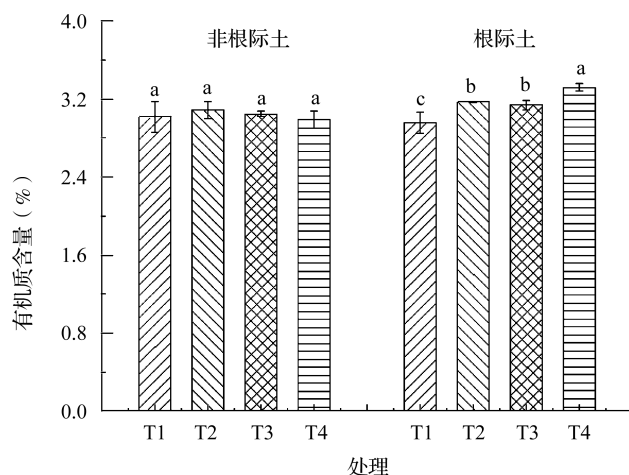


图 7 生物有机肥用量对地黄非根际土和根际土有机质含量的影响

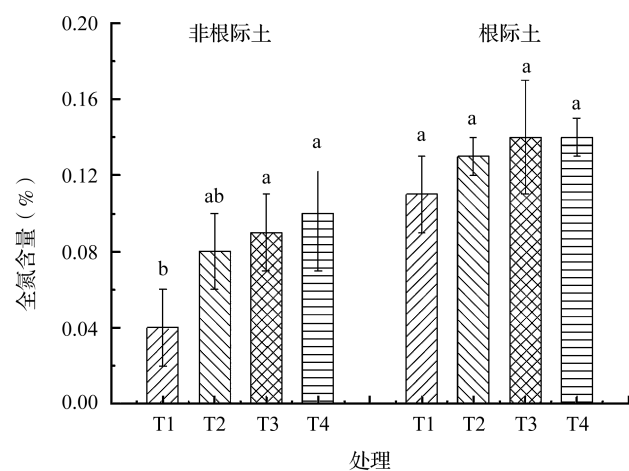


图 8 生物有机肥用量对地黄非根际土和根际土全氮含量的影响

2.6 生物有机肥用量对地黄根际土和非根际土有效磷含量的影响

在地黄非根际土中, T2、T3 和 T4 处理与 T1 处理下的有效磷含量存在显著性差异, 随着有机肥用量的增加, 地黄非根际土有效磷含量呈现上升的趋势 (图 9), T4 处理下地黄非根际土有效磷含量最高 (18.51 mg/kg), 相比 T1 处理地黄非根际土有效磷含量增加了 98.39%。在地黄根际土中, 随着有机肥用量的增加, 地黄根际土有效磷含量呈现出缓慢上升的趋势。与 T1 处理相比, T2 和 T3 处理下的地黄根际土有效磷含量无显著变

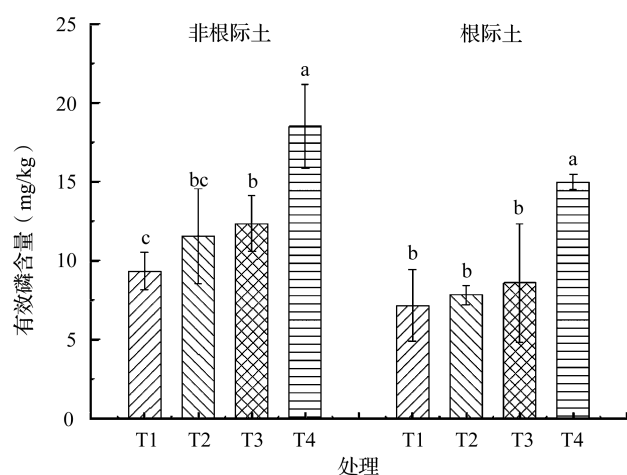


图9 生物有机肥用量对地黄非根际土和根际土有效磷含量的影响

化, 而 T4 处理下的地黄根际土有效磷含量增加 109.43%。

2.7 生物有机肥用量对地黄根际土和非根际土速效钾含量的影响

由图 10 可知, 与 T1 处理相比, T2、T3 和 T4 处理下的地黄非根际土速效钾含量差异不显著。随着有机肥用量的增加, 地黄根际土速效钾含量呈现上升的趋势。与 T1 处理相比, T2 和 T3 处理下的地黄根际土速效钾含量差异不显著, 但 T4 处理下地黄根际土速效钾含量存在显著差异, 显著增加 14.10%。

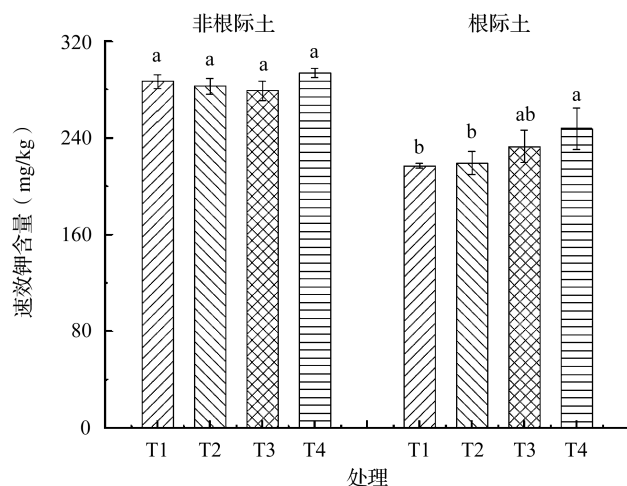


图10 生物有机肥用量对地黄非根际土和根际土速效钾含量的影响

3 结论与讨论

生物有机肥是药用植物提质增效的有力保障。

生物有机肥是有机物料和微生物的有机结合体, 其养分种类丰富, 以微生物活动来改善土壤生态环境从而产生特定肥效的新型产品, 已成为重要的土壤特效肥源。有研究表明生物有机肥可以显著提高药用植物生姜、人参、白术和川麦冬等药材产量和品质^[16-19]。地黄在生长过程中地上部分光合速率对地下部块根的形成起着重要的作用, 已有研究表明, 生物有机肥的增施能有效地提高地黄的块根形成期及块根膨大期的光合速率, 从而提高块根鲜重及地黄产量^[20], 这与罗兴录等^[21-22]和韦茂贵等^[23]研究的结果相一致, 他们认为生物有机肥能提高叶片叶绿素含量和光合强度, 促进块根生长, 进而提高地黄产量。本研究也发现, 与当地农民习惯性施肥相比, 生物有机肥的施用能显著增加地黄块根鲜重、产量以及可溶性糖含量, 并且随着生物有机肥用量的增加, 地黄的产量和可溶性糖含量也随之增加。

生物有机肥中营养丰富, 富含有益微生物, 能够为植物提供充足养分。生物有机肥的增施能有效提高地黄根系活力, 增加根系物质积累^[24]。这与姜蓉等^[25]和郑少玲等^[26]研究的结果一致, 配施有机肥能显著促进植株养分的吸收、累积、转运以及提高了向生殖器官的分配。地黄在膨大后期对养分的需求急剧上升, 尤其是大量元素(氮、磷和钾), 其中对磷元素的需求最大, 本研究发现 T4 处理下块根中全磷的积累量高于全氮和全钾的积累量。从基础土样中可以知道, 土壤中有效磷的含量偏低, 地黄后期对磷的需求较大, 因此生物有机肥用量的增加有利于块根的膨大, 增加地黄根系养分积累, 从而增加产量。生物有机肥对土壤重金属含量的降低有影响, 减少对作物的危害, 对维持土壤中有益微生物菌群起到重要作用^[27]。本研究发现块根中微量元素铁、锰和锌的积累量随着施肥量的增加而降低。

生物有机肥的增施能有效促进作物周围微生物大量繁殖, 发挥自生固氮或联合固氮溶解土壤中难溶化合物供给作物吸收, 增加土壤向作物提供营养的能力, 促进作物生长^[28]。孔涛等^[29]认为追施有机肥不同程度提高土壤有机质、全氮、有效磷的含量及根系生物量、根系分泌物, 增加土壤养分。本研究也发现, 与当地农民习惯性施肥相比, 生物有机肥的施用能降低根际土壤 pH, 提高土壤养分有效性, 从而促进地黄根系对养分的吸收利用, 达到

增加产量的效果。

生物有机肥的施用一方面能为地黄提供营养,更重要的是生物有机肥作为有益微生物的载体,可以调整土壤微生物群落结构,改善土壤生物环境,促进养分的释放,从而培肥地力^[30]。本研究表明施用生物有机肥对地黄块根有促生效果,当施用量为 4500 kg/hm² 时,可以提高地黄块根产量和品质,有利于地黄大量元素的积累。但是从中微量元素积累量来看,生物有机肥与化肥按一定比例配施,才能获得高产优质的地黄。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010. 115-117.
- [2] 楚延. 中药新药的现况与对策 [J]. 四川生理科学杂志, 1999, 21 (4): 10-11.
- [3] 柳红, 严生德, 景慧. 怀地黄栽培试验初报 [J]. 青海农技推广, 2013, 117 (3): 28-30.
- [4] 温学森, 李允尧, 陈沪宁. 地黄栽培研究进展 [J]. 中药材, 2000, 23 (7): 427-429.
- [5] 刘峰, 温学森. 土壤微生态失衡与地黄连作障碍研究—水苏糖对土壤细菌的影响 [C] // 全国第二届中药资源生态学学术研讨会论文集. 北京: 中药资源生态专业委员会, 2006. 168-171.
- [6] 丛桂华. “黄元帅”苹果施用生物有机肥试验初报 [J]. 农业开发与装备, 2019 (2): 123.
- [7] 陈默涵, 何腾兵, 舒英格. 不同生物有机肥对春茶生长影响及其土壤改良效果分析 [J]. 山地农业生物学报, 2018, 37 (2): 70-73, 94.
- [8] 柳玲玲, 王文华, 杨再刚, 等. 不同生物有机肥对钩藤产量、品质及土壤生物性状的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2018 (3): 116-121.
- [9] 张立超, 何昌福, 张文明, 等. 不同施肥处理对马铃薯土壤有机质含量及微生物区系的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52 (2): 27-33.
- [10] Kennedy A C, Stubbs T L. Soil microbial communities as indicators of soil health [J]. Annals of Arid Zone, 2006, 45 (3-4): 287-308.
- [11] Mesorley R, Gallaher R N. Effect of yard waste compost on nematode densities and maize yield [J]. Journal of Nematology, 1996, 28 (4S): 655-660.
- [12] 胡诚, 刘东海, 乔艳, 等. 施用生物有机肥对土壤酶活性及作物产量的影响 [J]. 华北农学报, 2017, 32 (S1): 308-312.
- [13] 韩晶锋. “生物有机肥”在辣椒上的肥效试验 [J]. 河南农业, 2018 (34): 21.
- [14] 赵晓艳. 不同生物有机肥应用效果及机理的比较研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2003.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第3版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [16] 孔祥波, 徐坤, 尚庆文, 等. 生物有机肥对生姜生长及产量、品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2007 (2): 64-67.
- [17] 张鹏, 刘春明, 常际良, 等. 润堡生物有机肥在人参上应用试验报告 [J]. 人参研究, 2010, 22 (1): 43.
- [18] 潘秋祥, 潘显能, 袁伯新, 等. “连作”生物有机肥在白术重茬中的应用效果 [J]. 河北农业科学, 2008, 12 (5): 57, 59.
- [19] 李思佳, 杨正明, 雷飞益, 等. 有机无机肥配施对川麦冬农艺性状、产量与品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2019 (4): 67-77.
- [20] 陈会鲜, 曹升, 严华兵, 等. 增施生物有机肥对食用木薯产量及品质的影响 [J]. 热带作物学报, 2019, 40 (3): 417-424.
- [21] 罗兴录, 岑忠用, 潘英华, 等. 木薯施用生物有机肥的增产效应 [J]. 中国农学通报, 2006, 22 (6): 240-244.
- [22] 罗兴录, 岑忠用, 谢和霞, 等. 生物有机肥对土壤理化、生物性状和木薯生长的影响 [J]. 西北农业学报, 2008, 17 (1): 167-173.
- [23] 韦茂贵, 罗兴录, 黄秋凤. 生物有机肥对木薯产量及土壤理化性状的影响 [J]. 中国农学通报, 2011, 27 (9): 242-248.
- [24] 罗伟. 生物有机肥穴施对烤烟生长及产质量的影响 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017.
- [25] 姜蓉, 徐智, 汤利, 等. 化肥减量配施生物有机肥对设施菊花养分吸收转运及产量的影响 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学), 2016, 31 (5): 910-916.
- [26] 郑少玲, 陈琼贤, 梅凤娴, 等. 生物有机肥对芥蓝生长及土壤中氮、磷、钾含量的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2007, 28 (3): 15-19.
- [27] 张连忠, 路克国, 王宏伟, 等. 重金属和生物有机肥对苹果根区土壤微生物的影响 [J]. 水土保持学报, 2005, 19 (2): 92-95.
- [28] 岳超, 王怀义, 滕松, 等. 马铃薯施用缓控释肥、生物有机肥肥效试验 [J]. 中国马铃薯, 2017, 31 (6): 341-345.
- [29] 孔涛, 马瑜, 刘民, 等. 生物有机肥对土壤养分和土壤微生物的影响 [J]. 干旱区研究, 2016, 33 (4): 884-891.
- [30] 薛超, 黄启为, 凌宁, 等. 连作土壤微生物区系分析、调控及高通量研究方法 [J]. 土壤学报, 2011, 48 (3): 612-618.

Effects of different application rates of bio-organic fertilizers on the growth and soil nutrients of *Rehmannia glutinosa*

GAO Tian¹, WANG Yan¹, SUN Kai¹, JIANG Hui-hui¹, QI Rui-ling¹, REN Xiu-juan¹, WANG Fei¹, LIU Xing¹, YUAN Jing-ping², ZHANG Ying¹, SHEN Chang-wei^{1*} (1. School of Resources and Environmental Sciences, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang Henan 453003; 2. School of Horticulture and Landscape Architecture, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang Henan 453003)

Abstract: In view of the problems of the degradation of *Rehmannia glutinosa* varieties, the decline of yield and the reduction of efficacy in the Yellow River region, the effects of different application rates of bio-organic fertilizers on the growth and nutrient content of *Rehmannia glutinosa* and the changes of soil nutrients in rhizosphere and non-rhizosphere soil were studied. The results showed that the number of root tubers, root diameter, yield and quality of *Rehmannia glutinosa* were significantly increased by applying bio-organic fertilizer when compared with conventional fertilization. With the increase of bio-organic fertilizer application, the accumulation of macro elements in the rhizome of *Rehmannia glutinosa* increased, especially the accumulation of total phosphorus (P) in *Rehmannia glutinosa* was much higher than the accumulation of total nitrogen (N) and potassium (K). Compared with conventional fertilization, the pH value of rhizosphere soil was significantly decreased by the application of bio-organic fertilizer, and the contents of organic matter, total nitrogen, available phosphorus and available potassium in rhizosphere soil were increased, and soil fertility was improved. Considering the changes of the yield, quality, nutrient accumulation and soil fertility of *Rehmannia glutinosa*, the application rate of bio-organic fertilizer 4500 kg/hm² is a reasonable fertilizer application method for medium fertility rehmannia fields in the Yellow River region.

Key words: *Rehmannia glutinosa*; bio-organic fertilizer; rhizosphere soil; yield; soil nutrient