

滴施酸性有机肥浸提液对棉田土壤养分活化和利用效率的影响

罗彤, 李俊华*, 华瑞, 罗自威, 程李洋

(新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室/石河子大学农学院, 新疆石河子 832000)

摘要:【目的】随着水肥一体化施肥方式的应用, 新疆棉花生产化肥投入量大大增加, 有机肥投入不断降低。本研究探索用磷酸和硝酸浸提有机肥养分, 利用酸性有机肥浸提液替代部分化肥的效果, 为增加有机肥施用提供途径。【方法】以腐熟鸡粪有机肥为原料, 在塑料桶内, 分别用 pH 为 1 的硝酸和磷酸, 按照浸提剂与有机肥的质量比为 5 : 1 进行浸提, 恒温箱内保持 25℃ 恒温, 每 8 小时搅拌一次, 浸提持续 2 天。浸提结束后用 0.038 mm 尼龙网过滤, 滤液用于滴灌施肥。以不施肥、施用常规化肥和硝酸有机肥浸提液作对照 (代号依次为 CK、CK1 和 NAE-CK); 设置有机肥浸提液替代全量的磷肥、2/3 磷肥和 1/3 磷肥三个替代量, 施肥量分别为 4950 L/hm²、3300 L/hm²、1650 L/hm² (代号: PAE、2/3PAE、1/3PAE); 再以 pH 为 1 的硝酸和磷酸为对照 (HN-CK、HP-CK), 所有施肥处理以化肥补足至总养分一致。分别在第五次施肥后 5 天 (花铃期), 第八次施肥后 10 天 (吐絮期), 在距滴灌带滴头处 (0 cm) 以及距离滴头 15 cm 和 30 cm 处, 分别采集 0—20 cm、20—40 cm 和 40—60 cm 土壤, 测定土壤有机质、氮、磷、钾等有效养分含量。棉花成熟后每小区取植株 3 株, 测植株氮磷钾吸收量, 以实收产量计产。【结果】1) 施用两种有机肥浸提液与施用硝酸和磷酸浸提剂相比, 土壤有机质含量增加了 1.4%~16.8%, 而单施对应的酸性浸提剂却使土壤有机质含量较 CK 降低 10.2%~25.5%。2) 酸性有机肥浸提液代替部分化肥较常规施肥均不同程度提高了土壤水平 0—30 cm 与垂直 0—60 cm 范围内氮、磷、钾有效养分的含量, 尤其对 0—20 cm 土壤的磷有明显的活化作用, 增加了作物对其吸收量。1/3 磷肥替代量处理对土壤养分最高提升 6.3%, 但差异不显著; 2/3 磷肥替代量和替代全部磷肥处理对土壤养分分别最高提升 35.3% 和 58.1%, 差异均达到显著水平。3) 磷酸有机肥浸提液和磷酸浸提剂处理对土壤磷和钾有明显的活化作用, 磷酸有机肥浸提液效果优于硝酸有机肥浸提液; 有机肥浸提液的 pH 与土壤速效磷呈负相关 (-0.491^*), 浸提液有机质含量与土壤速效钾有显著正相关 (0.497^*)。4) 施用 4950 L/hm² 的硝酸有机肥浸提液对氮的利用效率最高 (53.1%), 4950 L/hm² 的磷酸浸提剂对磷和钾的利用效率最高 (28.9% 和 344.8%)。【结论】有机肥浸提液作为一种新型酸性有机肥料, 不仅适合新疆的滴灌施肥, 还可以增加土壤有机质含量, 活化新疆石灰性土壤的养分, 尤其对于 0—20 cm 土壤的磷钾肥的利用效率提高显著。等施肥量下, 磷酸有机肥浸提液对土壤的磷, 钾活化效率高于硝酸有机浸提液, 磷酸有机肥浸提液施肥量为 3300 L/hm² 时棉花产量最高, 养分农学利用效率最高。

关键词: 有机肥; 酸性有机肥浸提液; 棉花; 养分利用率; 滴灌

Effects of organic fertilizer extract on soil nutrient activation and use efficiency in cotton field

LUO Tong, LI Jun-hua*, HUA Rui, LUO Zi-wei, CHENG Li-yang

(Key Laboratory of Oasis Eco-agriculture, Xinjiang Production and Construction Corps/
College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

Abstract: 【Objectives】Drip irrigation technology in Xinjiang is widely used and mature. With the application of water and fertilizer integrated fertilization methods, input of chemical fertilizers has greatly increased, and proportion of organic fertilizers has continuously decreased. In this study, combination organic manure with drip irrigation system was studied to explore activation of acidic nutrient solution by organic acid fertilizer extracts and the nutrient utilization efficiency of cotton. 【Methods】In this study, the decomposed chicken manure was

收稿日期: 2018-01-09 接受日期: 2018-04-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31660598, 31360501) 资助。

联系方式: 罗彤 Email: 995428404@qq.com; * 通信作者 李俊华 E-mail: ljh630703@163.com

extracted with nitric acid (HN) and phosphoric acid (HP) at pH of 1 and drip-irrigated with chemical fertilizers. The organic fertilizer was used instead of the whole amount of phosphate fertilizer, 2/3 phosphate fertilizers and 1/3 phosphate fertilizers, the fertilization rates were 4950 L/hm², 3300 L/hm², 1650 L/hm², and nitrate and phosphoric acid were used as the control at the same fertilization rate and fertilization gradient with a pH of 1 (other nutrients were supplemented with chemical fertilizers, and the total nutrients of all fertilization treatments were same). In the flowering and boll stage (5 days after the fifth fertilization) and the boll opening stage (10 days after the eighth fertilization), the soil samples were taken at different distances from the dripper level 0–30 cm and vertical 0–60 cm in the cotton field. Samples were taken twice to determine soil organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium and other effective nutrient content, and the activation of soil organic nutrients by the acidic organic fertilizer extract and the utilization efficiency of soil nutrients by cotton were studied. **【 Results 】** The results showed that: 1) Compared with the application of nitric acid and phosphoric acid extractants, the application of organic fertilizer extracts increased the soil organic matter content by 1.4% to 16.8%, while the corresponding application of the acidic extractant resulted in a 10.2%–25.5% decrease in soil organic matter content compared with CK. 2) The acidic organic fertilizer extracts under the replace of part of the chemical fertilizers increased the effective nutrient contents of 0–30 cm and 0–60 cm of vertical soil, especially for available phosphorus at 0–20 cm. The effect was obvious, and increased the absorption of the nutrients by crops. The amount of soil nutrients increased by 6.3% with the replacement amount of the chemical fertilizer was 1/3, but the difference was not significant. The replacement of 2/3 of the total amount of phosphate fertilizer and the replacement of all phosphate fertilizers increased soil nutrient by 35.3% and 58.1%, and the differences all reached significant levels. 3) Soil phosphorus and potassium were significantly activated by the acidic phosphate organic fertilizer extracts and the phosphoric acid extractant, and phosphoric acid organic fertilizer was more effective than the nitric acid. There was a negative correlation between pH of the organic fertilizer extracts and soil available phosphorus (−0.491*), and the organic matter content in the extracts had a significant positive correlation with soil available potassium (0.497*). 4) The application efficiency of nitrogen was the highest (53.1%) in the application of 4950 L/hm² nitric acid organic fertilizer extracts, and the phosphoric acid and potassium use efficiency of the phosphoric acid extractor treatment of 4950 L/hm² was the highest (28.9% and 344.8%). **【 Conclusions 】** As a new type of acidic organic fertilizer, organic fertilizer extracts can not only adapt to drip fertigation in Xinjiang, but also increase soil organic matter content and activate nutrients in Xinjiang calcareous soil, especially for the use efficiencies of phosphorus and potash fertilizers in 0–20 cm soil. Under the same amount of fertilization, the phosphorus and potassium activation efficiencies of phosphate organic fertilizer extract solution were higher than those of the nitrate organic extractant, and the highest yield was obtained when the phosphoric acid organic fertilizer extract solution was 3300 L/hm². The nutrient agronomic efficiency was the highest.

Key words: organic fertilizer; acid organic fertilizer extract; cotton; nutrient use efficiency; drip irrigation

化肥占我国施肥总量的比例从 20 世纪 70 年代的 50% 已上升为当前的 90% 左右, 2010 年我国农田有机肥提供的养分仅占养分投入总量的 10% 左右。化学肥料长期施用已显现出肥效下降、土壤板结酸化及面源污染等生态环境问题^[1], 国内长期定位施肥试验表明, 有机无机肥配施不但可降低土壤容重, 增加总孔隙度, 而且可显著提升土壤物质生产性能与地力^[2]。

新疆多为石灰性土壤, 石灰性土壤由于碱性反

应和富含钙、镁, 对于磷素等具有强烈的固定作用, 常常发生这些元素供应不足的现象。研究表明, 将灌溉水进行酸化处理, 能够明显提高土壤中原有的磷素的有效性^[3]。此外, 酸化土壤对作物根系分泌物形成有重要作用, 土壤中以根系分泌物为基础发生的生物化学风化作用与 H⁺有密切关系, 根系分泌物通过质子促进效应 (proton promoted mechanism) 与络合促进效应 (oxalate promoted mechanism) 溶解和转化一些难溶性矿物, 达到释放养分、增加生物有

效性的效果^[4]。王妍^[5]研究也表明, 向落叶松苗木外源添有机酸溶液模拟酸性根系分泌物, 可改变落叶松幼苗对暗棕壤中 Fe 的活性及吸收运输, 最终影响植物的生长和产量, 降低养分胁迫的危害。此外, 土壤有机质和作物生产之间呈显著正相关^[6], 土壤有机质可以增加土壤养分的供应, 而作物产量的提高反过来又可以增加土壤根系有机物质的分泌, 增加通过秸秆还田归还到土壤的有机物质数量。章永松等^[7]通过施用有机肥增加了土壤中磷的有效性, 鸡粪有机肥对棉花的干物质和养分吸收有更为明显的提高, 盐碱地中对养分的吸收更佳^[8]。将有机肥或秸秆等废弃物用溶液浸提即可得到堆肥茶^[9-11], 其可提高土壤微生物活性^[12], 增加微量元素含量^[13]等。堆肥茶能显著促进黄瓜和番茄苗的生长, 增加其对养分的吸收^[14]。用酸浸提有机肥制作堆肥茶^[15], 这种酸性有机肥浸提液不仅有较低的 pH, 而且富含有机质以及多种微生物, 还有控制病害等作用^[16], 用浸提液施肥, 对土壤的养分活化以及养分的保持有积极影响。

新疆多石灰性土壤且滴灌系统应用比较成熟, 有机肥浸提液滴灌施肥是施用有机肥的更佳选择。本研究利用两种酸对有机肥进行了浸提, 结合滴灌施肥, 探究其对土壤养分的活化和植株对养分的吸收效率, 旨在为大田有机肥浸提液施肥筛选最佳施肥量和施肥组合。

1 材料与方法

1.1 试验材料

有机肥料: 新疆石河子市宏新生物科技有限公司生产的鸡粪有机肥。其有机质含量为 47.13%、全氮为 3.02%、全磷为 2.01%、全钾为 0.30%。

有机肥浸提液: 有机肥用 pH 为 1 的磷酸和硝酸浸提制得有机肥浸提液。浸提时间: 设计浸提时间为 2 天。恒温箱内保持 25℃ 恒温浸提, 浸提剂与有机肥的质量比为 5 : 1, 浸提容器用优质塑料桶, 遮阴。每日每 8 小时搅拌一次。浸提结束后用 0.038 mm 尼龙网过滤后进行滴施。表 1 为有机肥浸提液的 pH 和养分含量。

1.2 试验方法

试验于 2017 年 4 月 25 日至 2017 年 10 月 1 日在新疆石河子大学农学院试验站进行。土壤基本理化性状为: 有机质 16.0 g/kg、碱解氮 57.7 mg/kg、速效磷 27.3 mg/kg、速效钾 186.1 mg/kg。

大田棉花品种为‘金棉 16’, 采用宽窄行种植, 每小区长 7 m, 宽 3.6 m, 种植两膜, 一膜 4 行两管, 播

表 1 磷酸和硝酸 (pH = 1) 有机肥浸提液 pH 值及养分含量
Table 1 pH and NPK contents in the organic fertilizer extracts with nitric acid and phosphoric acid (pH = 1)

浸提液 Extract	pH	有机质 (g/L) OM	全氮 (g/L) Total N	全磷 (g/L) Total P	全钾 (g/L) Total K
NAE	5.90	1.24	1.49	1.01	1.49
PAE	2.73	1.53	0.59	18.23	1.80

注 (Note): NAE—硝酸浸提液 Organic fertilizer extract with nitric acid; PAE—磷酸浸提液 Organic fertilizer extract with phosphoric acid.

幅内宽、窄行距为 (30 + 60 + 30) cm, 株距为 10 cm, 理论密度为 23.76 万株/hm²。4 月 25 日播种, 5 月 3 日出苗, 6 月 13 日第一次施肥, 10 天浇水一次。生育期共施肥 8 次, 前 2 次和最后 3 次每次施肥量均为总施肥量的 1/11, 3~5 次每次施肥量为总施肥量的 2/11, 共灌水 9 次, 灌水量为 5500 m³/hm²。

施肥量设计: 以常规施肥 (尿素, N 46%; 磷肥为磷酸一铵, N-P-K 比例为 12-61-0; 钾肥为硫酸钾, K₂O 含量为 51%) 量计算全部替代化肥磷的有机肥的浸提液 (磷酸有机肥浸提液磷含量最高) 的施用量为 4950 L/hm², 以该施用量的 1/3、2/3、1 设三个梯度, 分别为 1650 L/hm²、3300 L/hm²、4950 L/hm²。此外, 分别设计与有机肥浸提液施肥量等量的两种浸提剂的处理, 根据有机肥浸提液 (浸提剂) 中的氮、磷、钾含量, 调整化肥的施用量, 保持每个处理有机肥替代化肥后, 氮、磷、钾的总养分量一致。共 8 个处理, 每处理重复 3 次, 随机区组排列, 共计 24 个小区 (表 2)。

1.3 测试指标及方法

分别在第五次施肥后 5 天 (花铃期), 第八次施肥后 10 天 (吐絮期) 取土样。在滴灌带滴头下及距滴头 15 cm、30 cm 处, 采集 0—20 cm、20—40 cm 和 40—60 cm 土壤, 自然风干后, 常规方法测定土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量。棉花成熟后, 以实收产量计产。每小区取植株 3 株, 分为根部、地上部各器官, 烘干粉碎后, 分别测定氮磷钾全量, 计算吸收量。养分利用效率计算公式如下:

养分利用率 (recovery efficiency, RE) = (施肥区植株养分吸收量 - 不施肥区植株养分吸收量) / 总养分投入量 × 100%

养分偏生产力 (partial factor productivity, PFP, kg/kg) = 处理小区皮棉产量 / 养分投入量

养分农学利用效率 (agronomic use efficiency,

表 2 试验处理代码及化肥、有机肥浸提液用量
Table 2 Code and fertilizer rates of each treatment in the experiment

处理 Treatment	代码 Code	化肥用量 (kg/hm ²) Chemical fertilizer			有机肥浸提液/浸提剂 (L/hm ²) Organic fertilizer extract/Extraction agent			
		N	P	K	PAE	磷酸 PA	NAE	硝酸 NA
不施肥 No fertilization	CK				0			
化肥 Chemical fertilizer	CK1	315.00	90.00	45.00				
1/3 PAE 磷 1/3 P from PAE	1/3PAE	312.89	60.15	42.03	1650			
2/3 PAE 磷 2/3 P from PAE	2/3PAE	310.70	30.15	39.06	3300			
PAE 磷 P from PAE	PAE	308.66	0	36.09	4950			
磷酸对照 Phosphoric acid control	HP-CK	315.00	1.60	45.00		4950		
硝酸有机肥浸提液对照 NAE control	NAE-CK	298.97	85.01	37.63			4950	
硝酸对照 Nitric acid control	HN-CK	299.94	90.00	45.00				4950

注 (Note) : PA—Phosphoric acid; NA—Nitric acid; NAE—硝酸浸提液 Organic fertilizer extract with nitric acid; PAE—磷酸浸提液 Organic fertilizer extract with phosphoric acid.

AUE, kg/kg) = (施肥处理小区皮棉产量 - 不施肥小区皮棉产量) / 养分投入量

1.4 统计分析

试验结果用算术平均数和标准误表示 ($\bar{X} \pm SD$)。利用 Microsoft Excel 2010 软件、SPSS19.0 数据分析软件进行试验数据的统计计算、统计检验和方差分析等。

2 结果与分析

2.1 不同酸及酸性有机肥浸提液对土壤有机质的影响

图 1 可以看出, 0—20 cm 土壤, 离滴头越远, 土壤有机质含量越低, 只有 HN-CK 除外。浸提液和化肥处理的滴头下, 花铃期土壤有机质含量均显著低于 CK; 15 cm 处, 2/3PAE 和 HN-CK、NAE-CK 分别较 CK 显著低了 8.6% 和 9.7%、10.5%, 其他处理与 CK 差异不显著。在吐絮期, 滴头下 PAE 处理的有机质含量最高, 2/3PAE 最低, 且两者差异显著。

20—40 cm 土壤, 花铃期化肥对照的有机质含量最高, 滴头下施肥处理均显著低于 CK。15 cm 处, CK、2/3PAE 和 HN-CK 处理分别较化肥对照显著低 16.8%、9.6% 和 17.0%, HN-CK 与对照差异不显著。30 cm 处, HN-CK 和 NAE-CK 土壤有机质含量较高, 分别较 CK 与 CK1 显著高 9.3% 和 11.6%, 但后二者间差异不显著。吐絮期, 滴头下 1/3PAE 和 NAE-CK 均显著低于 CK, 其他各处理与 CK 差异不显著。15 cm 处, 磷酸和硝酸对照土壤有机质含量均显

著低于 CK, 其他处理与 CK 差异不显著。30 cm 处, PAE 和 NAE-CK 与 CK、CK1 差异均不显著, 但与其他处理差异显著。

花铃期滴头下 40—60 cm 深土壤各处理有机质含量, 1/3PAE 最高, 与 CK 和 2/3PAE、PAE 差异显著, 但与其他各处理无显著差异; 15 cm 处, 1/3PAE 最高, 且与 CK、HP-CK 差异显著, 但其他各处理之间差异不显著; 30 cm 处, 各施肥处理有机质含量均显著高于 CK, 但各施肥处理之间差异不显著。吐絮期滴头下有机质含量以 2/3PAE 最高, 其次为 PAE、1/3PAE、NAE-CK, 2/3PAE 与 PAE 差异不显著; PAE > HP-CK, NAE-CK > HN-CK, 且差异显著。对比两个生育期, 滴头处吐絮期 1/3PAE、2/3PAE、PAE、NAE-CK 的有机质含量较花铃期分别提高了 12.9%, 43.2%, 40.6% 和 16.1%, 但其他处理均无显著差异。

2.2 不同酸及酸性有机肥浸提液对土壤碱解氮的影响

土壤碱解氮含量随着与滴头距离的增加而降低 (图 2)。花铃期 0—20 cm 土壤中, 滴头处 PAE 的碱解氮含量分别较 2/3PAE、1/3PAE 高 13.9% 和 14.7%, 且差异显著, 但其与 CK、CK1 差异不显著。PAE 和 NAE-CK 分别较 HP-CK 和 HN-CK 高 6.1% 和 11.2%, HP-CK 和 HN-CK 差异显著, 但 PAE 与 HP-CK 差异不显著。15 cm 和 30 cm 处与滴头处规律相似。而吐絮期滴头处 NAE-CK 处理的土壤碱解氮含量均显著高于 CK, 其他各处理间无显著差异。在 15 cm 处各处理间均无显著差异, 而 30 cm 处 PAE 最高,

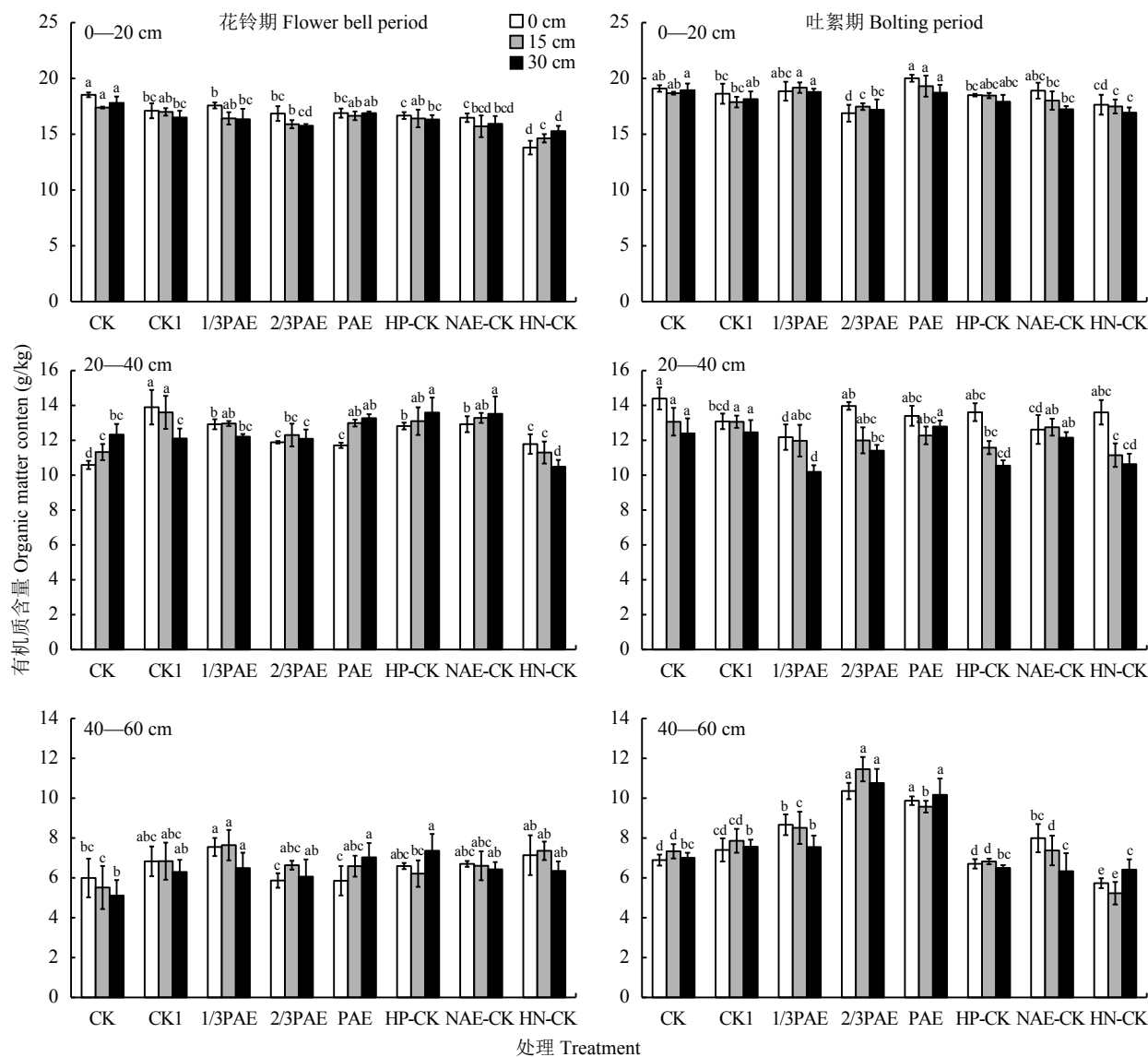


图1 花铃期和吐絮期各处理0—60 cm 土壤有机质含量

Fig.1 Organic matter contents in 0—60 cm deep of soil at flowering and boltingstages

[注 (Note): 柱上不同小写字母表示同一土层不同处理间差异在 0.05 水平显著]

Different small letters above the bars mean significant difference among treatments for the same soil layers at the 0.05 level.]

其次为 HN-CK, 且与除 HN-CK 外其他处理均有显著差异。

20—40 cm 土壤中, 花铃期滴头处 HP-CK 碱解氮含量最高, 分别较 CK1 和 HN-CK 提高了 15.1% 和 12.9%, 且差异显著, 其他处理之间无显著差异。15 cm 与 30 cm 处与滴头处规律相似。吐絮期滴头处 2/3PAE、PAE、HP-CK、NAE-CK、HN-CK 均显著高于 CK、CK1 和 1/3PAE, 且差异显著。而 15 cm 处施肥处理均显著高于 CK、施肥处理间无显著差异。30 cm 处, CK1、2/3PAE、PAE、HP-CK 均与 CK 差异显著, 其他处理与 CK 无显著差异。

40—60 cm 土壤中, 花铃期各处理之间均无显著

差异。吐絮期滴头处 PAE 碱解氮含量最高, 随着有机肥浸提液施用量的增加, 1/3PAE, 2/3PAE 与 PAE 的碱解氮含量呈 U 型趋势, PAE 最高, 较 CK 和 CK1 分别提高了 92.2% 和 46.1%, 且差异显著。HP-CK 和 HN-CK 分别较 CK 提高了 39.4% 和 44.7%, 且差异显著。15 cm 和 30 cm 处与滴头处规律相似, PAE > HP-CK, NAE-CK < HN-CK。

2.3 不同酸及酸性有机肥浸提液对土壤速效磷的影响

由图 3 可知, 花铃期 0—20 cm 土壤中速效磷含量随着与滴头距离的增加呈下降趋势。滴头处 2/3PAE 和 PAE 的速效磷含量显著高于其他处理。

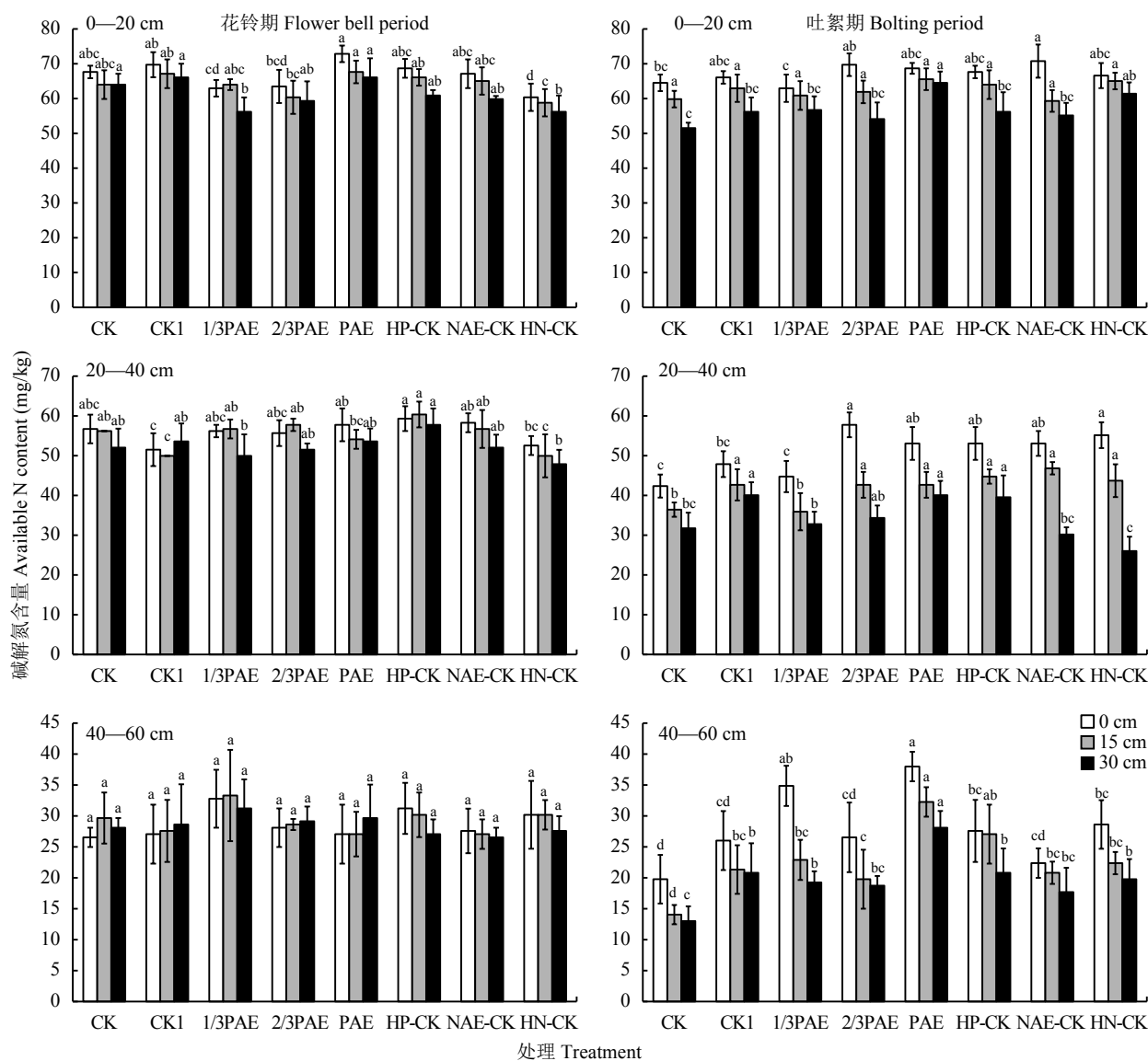


图2 不同生育期0—60 cm土壤中的碱解氮含量

Fig. 2 Available N contents in 0—60 cm soil at different growth stages

[注 (Note): 柱上不同小写字母表示同一土层不同处理间差异在 0.05 水平显著]

Different small letters above the bars mean significant difference among treatments for the same soil layers at the 0.05 level.]

而 HN-CK 却较 CK 低 11.8%，且差异显著，其他处理之间无显著差异。15 cm 处 2/3PAE, PAE 和 HP-CK 显著高于其他处理，其他处理间规律与滴头处相似。30 cm 处 PAE 最高，较 CK1、HN-CK 高 29.0%、31.3%，且差异显著。吐絮期滴头处土壤速效磷含量随有机肥浸提液施肥量的增加而增加。各施肥处理均显著高于 CK。而 15 cm 处，却是 2/3PAE 最高，其次为 1/3PAE，分别比 CK 高 54.2% 和 40.2%，且差异显著。CK、CK1、NAE-CK、HN-CK 之间差异不显著。30 cm 处 HP-CK 速效磷含量最高，且与除 PAE 外的其他处理差异显著，但其他处理之间无显著差异。

随着有机肥浸提液施肥量的增加，20—40 cm 土壤中滴头处的速效磷含量随之增加。PAE 最高，HN-CK 最低，且低于 CK。而 CK, CK1, 1/3PAE, NAE-CK 间无显著差异。15 cm 与 30 cm 点的规律与滴头处相似。吐絮期相较于花铃期，土壤速效磷含量较花铃期有所降低，滴头处 1/3PAE 速效磷含量最高，但与 HP-CK 差异不显著。除 NAE-CK 外，各施肥处理均与 CK 差异显著。15 cm、30 cm 处，均以 HP-CK 为最高。

花铃期 40—60 cm 土壤中各处理以及各水平位置点的速效磷含量均无显著差异。而在吐絮期，滴头处和 15 cm 处施用磷酸有机肥浸提液处理的速效

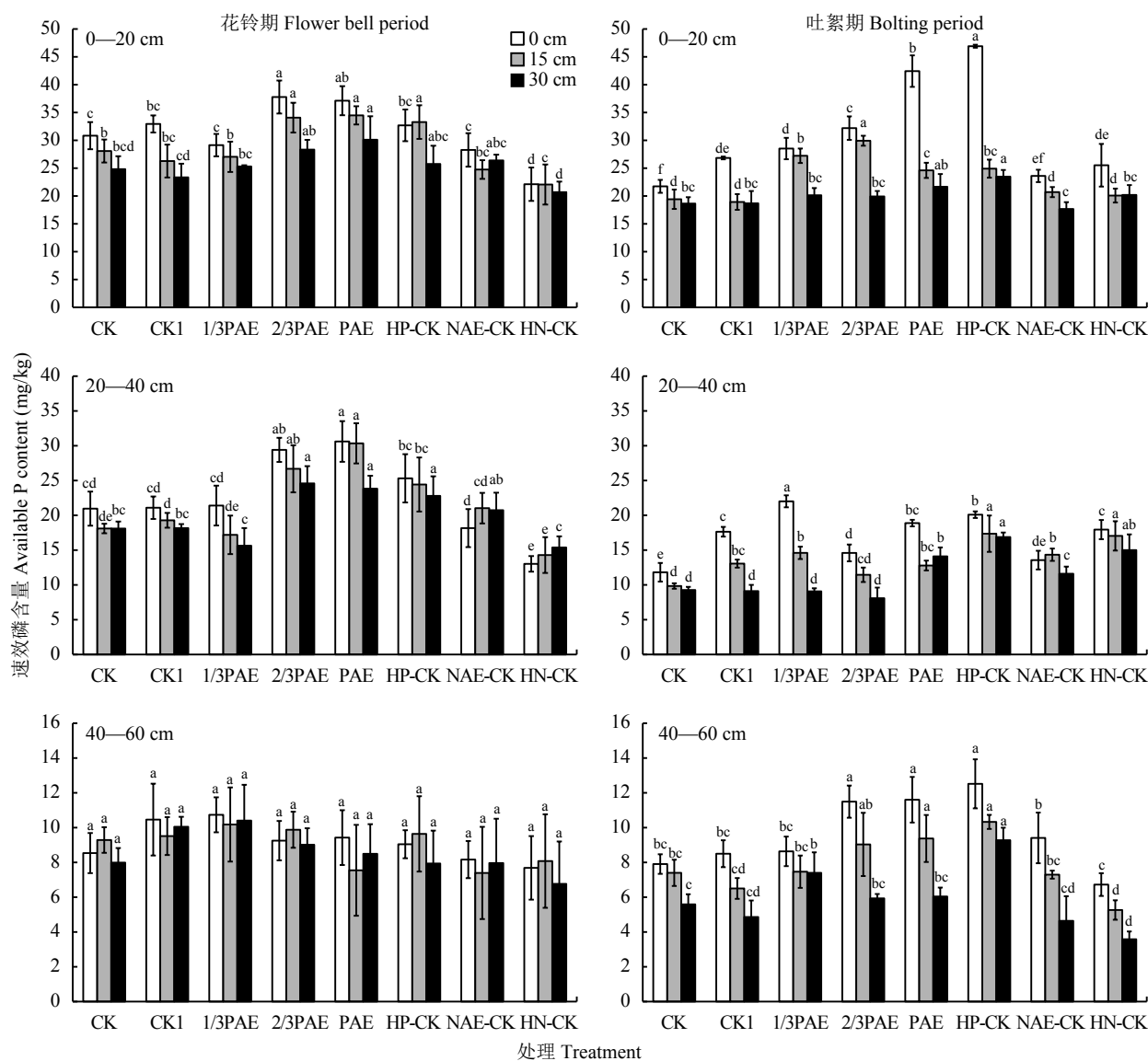


图3 不同生育期0—60 cm 土壤中的速效磷含量

Fig. 3 Available phosphorus contents in 0—60 cm soil at different growth stages

[注 (Note): 柱上不同小写字母表示同一土层不同处理间差异在 0.05 水平显著]

Different small letters above the bars mean significant difference among treatments for the same soil layers at the 0.05 level.]

磷含量随着施肥量的增加而增加, 而 30 cm 处却是酸性更强的 HP-CK 最高, 且与 2/3PAE、1/3PAE 差异不显著。滴头处 2/3PAE、PAE、HP-CK 三个处理显著高于 CK 与 CK1, 但三者之间无显著差异。水平 15 cm 处, HN-CK 显著低于 CK; 30 cm 处, HP-CK 最高, HN-CK 最低, 除 1/3PAE 外, 其他各处理间无显著差异。

2.4 不同酸及酸性有机肥浸提液对土壤速效钾的影响

土壤速效钾的分布规律与其他养分不同, 滴头处养分含量最低, 向外逐渐增高 (图 4)。花铃期滴头处的速效钾含量以 HP-CK 最高, 且显著高于 CK;

其次为 CK1, 但两者差异不显著。15 cm 处, CK1、HP-CK、HN-CK 三个处理速效钾含量较高, 且与 CK 和 2/3PAE、NAE-CK 差异显著, 但与其他处理差异不显著。30 cm 处, NAE-CK 最高, 且与 CK、1/3PAE、2/3PAE、HN-CK 差异显著, 与其余各处理无显著差异。吐絮期滴头处 PAE > HP-CK、NAE-CK > HN-CK 且差异显著。15 cm 处, 1/3PAE、2/3PAE、HN-CK 分别较 CK 低 12.2%、8.4% 和 27.5%, 且差异显著。30 cm 处, CK1 最高, 且与除 NAE-CK 外的其他处理均有显著差异。

20—40 cm 土壤的速效钾的规律与 0—20 cm 相似, 滴头处 pH 最低的 HP-CK 处理的速效钾含量最

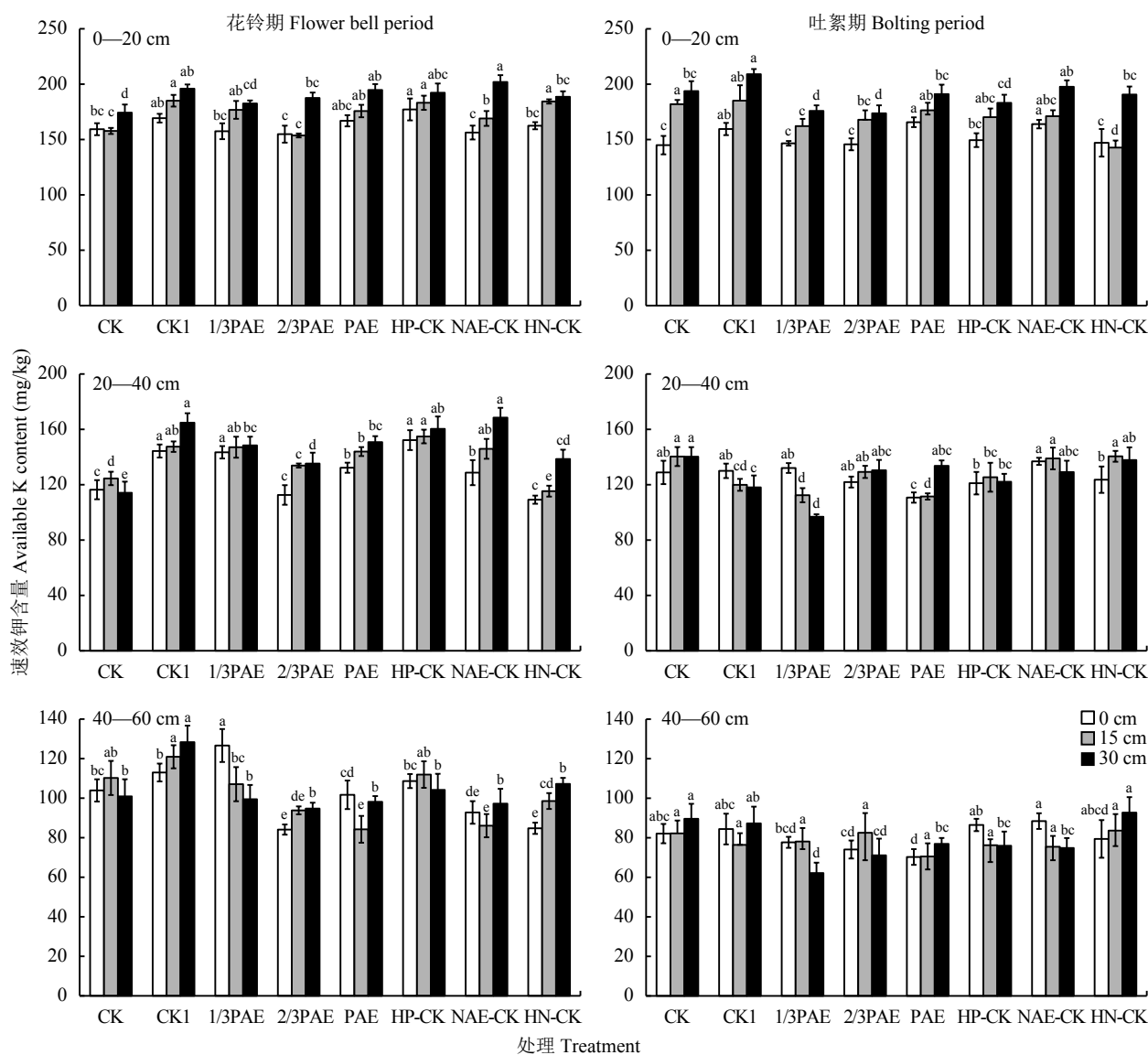


图4 不同生育期0—60 cm土壤中的速效钾含量

Fig. 4 Available K contents in 0—60 cm soil at different growth stages

[注 (Note): 柱上不同小写字母表示同一土层不同处理间差异在 0.05 水平显著]

Different small letters above the bars mean significant difference among treatments for the same soil layers at the 0.05 level.]

高, 较 2/3PAE 高 35.7% 且差异显著, 但 2/3PAE 与 CK、HN-CK 差异不显著。施肥处理 15 和 30 cm 处速效钾均高于滴头处。40—60 cm 土壤中, 花铃期施用 3300 L/hm²、4950 L/hm² 酸性有机肥浸提液的施肥处理速效钾含量较施用化肥低 3.8%~25.6%。吐絮期滴头处的 1/3PAE、2/3PAE、PAE 分别较 NAE-CK 低 12.2%、16.2%、20.5%, 且差异显著, 其余各处理之间无显著差异。水平 15 cm 处各处理之间差异不显著, 30 cm 处施用酸性有机肥浸提液的处理中除 HN-CK 外, 均显著低于 CK。

2.5 酸性有机肥浸提液对土壤养分的活化分析

对图1~图4分析可知, 酸性有机肥浸提液除给

土壤和植株提供一定的养分外, 对土壤被固定的养分也起到了活化作用。吐絮期 20 cm 土壤中的有机质施用有机肥浸提液的处理较 CK1 提高 1.5%~7.5%, 而单施两种酸却较 CK1 降低 0.4%~5.3%。说明施用有机肥浸提液增加了土壤有机质含量, 而单施对应的浸提酸反而降低了土壤有机质。碱解氮包括矿物态的氮和有机质中易分解、比较简单的有机态氮, 是作物氮素营养的主要来源, 能被作物直接吸收。吐絮期 20 cm 土壤中, PAE 和 NAE-CK 的碱解氮含量较 CK1 提高了 3.9% 和 7.1%, 且 NAE-CK 与 CK1 差异显著; 20—40 cm 土壤中, 施用有机肥浸提液的处理的碱解氮含量均显著高于 CK1。肖艳^[17]

等研究表明外源酸的施入对土壤磷有不同程度的活化作用。本研究中酸性较强的磷酸有机肥浸提液施肥处理中, 土壤速效磷随施肥量的增加而增加, 且显著高于 CK1。此外, HN-CK > NAE-CK, 表明酸性有机肥浸提液对土壤中被固定的磷有活化作用。相同 pH 时, 施肥量越高土壤速效磷含量越高, 相同施肥量时, pH 越低速效磷含量越高。而土壤速效钾规律却不同 (图 4), 施用了酸性有机肥浸提液的处理速效钾含量均低于 CK1。这是因为棉花对土壤中钾的吸收量高于施肥量, 新疆该施肥量下系统钾素为负平衡, 造成土壤钾素亏损^[18]。将土壤中被固定的钾活化后吸收, 导致土壤中速效钾含量下降, 这也说明酸性有机肥浸提液对钾有一定活化作用。综上所述, 在同等施肥量下, 酸性有机肥浸提液将土壤中被固定的、不易被吸收的养分部分转化为有效养分, 提高了土壤中速效养分的含量, 较常规施肥对土壤养分有更好的活化效果。

2.6 有机肥浸提液性质与土壤养分相关分析

由表 3 可知, 有机肥浸提液的 pH 与土壤速效磷呈显著负相关 (-0.491^*), 与土壤速效钾有显著正相关 (0.497^*), 土壤速效钾的规律与夏东旭等^[19]研究结果不一致, 这是因为钾肥的施肥量 (45 kg/hm^2) 低^[20], 棉花对土壤中的钾吸收量大于供给量, 使土壤中的速效钾含量降低 (图 4)。有机肥浸提液有机质含量与土壤速效钾呈显著正相关 (0.441^*), 有机肥浸提液性质与土壤碱解氮和土壤有机质并无显著相关性。

2.7 养分吸收利用率

由表 4 可知, 施用硝酸有机肥浸提液 (NAE-CK) 对氮肥有较高的养分利用率, 且显著高于 CK1, 硝态氮替代部分有机态氮可以提高氮肥利用率, 但是以硝态氮为主的 HN-CK 的氮肥利用率却较低, 这可能是因为硝态氮量过多以及它的不稳定导致氮的流失。而对于磷肥而言, 以磷酸浸提剂为主的 HP-CK

表 3 有机肥浸提液的 pH 和有机质与土壤各养分的相关关系 (r)
Table 3 Correlation coefficients between pH, the organic matter of the extracts, organic fertilizer and soil nutrients

项目 Item	浸提液 pH pH	浸提液有机质 EOM	土壤有机质 SOM	土壤碱解氮 SAN	土壤速效磷 SAP	土壤速效钾 SAK
浸提液 pH	1.00					
浸提液有机质 EOM	0.086	1.00				
土壤有机质 SOM	0.191	0.304	1.00			
土壤碱解氮 SAN	0.071	0.001	0.331	1.00		
土壤速效磷 SAP	-0.491*	0.077	0.257	0.346	1.00	
土壤速效钾 SAK	0.497*	0.441*	0.415	-0.099	0.022	1.00

注 (Note): EOM—Extracts organic matter content; SOM—Soil organic matter content; SAN—Soil alkaline nitrogen; SAP—Soil available phosphorus; SAK—Soil available potassium. *表示在 0.05 水平上显著相关 * indicates significant at the 0.05 level.

表 4 同施肥处理对棉花养分利用效率的影响
Table 4 Effects of different fertilization treatments on nutrient use efficiencies of cotton

处理 Treatment	养分利用率 RE (%)			养分偏生产力 PFP (kg/kg)			养分农学利用效率 AUE (kg/kg)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK1	31.80 bc	7.46 c	60.83 c	7.39 bc	25.85 bc	51.70 bc	0.33 bc	1.15 bc	2.30 bc
1/3 PAE	30.34 bc	10.42 bc	64.92 c	8.17 a	28.59 a	57.18 a	1.11 a	3.88 a	7.77 a
2/3 PAE	32.27 bc	16.32 bc	124.56 bc	8.30 a	29.07 a	58.14 a	1.28 a	4.36 a	8.74 a
PAE	48.24 ab	18.46 b	187.95 b	7.60 b	26.60 b	53.20 b	0.54 b	1.90 b	3.80 b
HP-CK	25.71 bc	28.91 a	344.84 a	7.24 c	25.32 c	50.65 c	0.18 c	0.62 c	1.24 c
NAE-CK	53.06 a	10.17 bcc	157 bc	7.35 c	25.72 c	51.44 c	0.29 bc	1.02 bc	2.03 bc
HN-CK	27.25 c	19.33 b	195.82 b	7.21 c	25.23 c	50.47 c	0.15 c	0.53 c	1.06 c

注 (Note): RE—Recovery efficiency; PFP—Partial fertilizer nutrient productivity; AUE—Agronomic use efficiency; 同列数据后不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著 Values followed by different small letters mean significant difference among treatments at the 0.05 level.

处理对 P_2O_5 的养分利用率最高, 其次为 HN-CK 和 PAE, 这几个处理的 pH 为 HP-CK < HN-CK < PAE, 这说明养分的利用效率与土壤的 pH 有着密切联系, 降低碱性土壤的 pH 对土壤养分的活化和提高养分的吸收利用率有重要影响^[19]。而上述规律与 K_2O 的利用率规律相似, 这也与陈钦程^[21]的研究结果相似。

偏生产力 (PFP) 是反映当地土壤基础养分水平和化肥施用量综合效应的重要指标。由表 4 可知, 2/3PAE 的养分偏生产力最高, 其次为 1/3PAE, 当施肥处理主要为有机肥时, PAE 和 NAE-CK 的偏生产力低于 2/3PAE。养分农学利用效 2/3PAE 的养分农学利用效率最高, 较 CK1 提高了 287.37%, 且差异显著。其他处理中 2/3PAE > 1/3PAE > PAE > NAE-CK, 施用磷酸浸提液处理均高于硝酸浸提液处理。

3 讨论

有机肥浸提液作为一种酸性有机肥料, 且富含有机质, 且是一种适合滴灌施用的液体肥料。本研究中, 施用酸性有机肥浸提液处理的垂直 0—20 cm 土壤在花铃期有机质较 CK 有所降低, 且随着滴头距离增加呈降低趋势, 这是因为有机质在滴头处积累, 并向外逐渐降低, 而酸导致土壤 pH 降低, 从而使有机质的分解, 土壤有机质含量降低^[22], 邓玉龙等^[23]的研究也表明土壤的 pH 与有机质含量呈负相关。本研究结果表明, 在相同施肥量情况下, 磷酸有机肥浸提液对土壤有机质的增加作用大于硝酸有机肥浸提液, 每种等量有机肥浸提液施肥较单施其对应的浸提剂提高了 7.4%~8.2%。综上, 施用有机肥浸提液对土壤有机质有增加作用, 但单施对应的酸却加快了土壤有机质的分解; 有机肥浸提液施肥量相同时, 磷酸有机肥浸提液效果优于硝酸有机肥浸提液, 这与不同浸提液中的有机质含量高低有关 (表 1)。

土壤碱解氮随着与滴头距离 (0—30 cm) 的增加而降低。0—20 cm 土壤中, 花铃期 PAE 最高, 但吐絮期 NAE-CK 最高, 这是因为随着施肥的持续, 有机无机结合施肥的 NAE-CK 较氮肥以尿素为主的 PAE 对氮的淋溶更低。花铃期 1/3PAE 和 2/3PAE 低于处 HN-CK 外的其他施肥处理, 且这两个处理的氮肥的养分偏生产力和养分农学利用效率较高 (表 4), 这是因为棉花对这两个施肥组合的养分吸收较大, 棉花产量较高。20—40 cm 土壤中, 花铃期 PAE 碱解氮含量较高, 但在吐絮期除 1/3PAE 外, 各施肥处理平均较 CK 和 CK1 提高 22.1% 和 11.9%, 但使用

有机肥浸提液和单施有机肥浸提剂的处理却无显著差异, 这说明增加土壤有机质和降低土壤 pH 均能增加土壤对碱解氮的贮存效果^[24], 但是两者谁是的主导因素还有待研究。

施用磷酸有机肥浸提液对土壤速效磷含量有较大影响。随着有机肥浸提液替代量的增加, 酸性更强的 PAE 和 HP-CK 较 1/3PAE 速效磷呈增加了 48.8%~64.5%, 这与肥料的 pH 有关。pH 较低的磷酸有机肥浸提液和磷酸溶液增加了土壤的速效磷含量和磷的养分利用率, 这也与杨绍琼等^[25]研究结果相似。

土壤速效钾水平距离变化趋势与其他养分不同, 随着与滴头距离增加呈上升趋势, 说明有机质和酸对土壤速效钾含量均有影响。土壤速效钾与有机质呈正相关, 与 pH 呈负相关^[20], 所以在同时有这两个因素时, 在磷酸有机肥浸提液中 (pH 为 2.73), pH 为主要因素; 硝酸有机肥浸提液中 (pH 为 5.9), 对速效钾含量影响较大的为有机质。

4 结论

与施用化肥相比, 施用硝酸和磷酸有机肥浸提液替代部分化肥分别提高了氮、磷的利用率, 提高了棉花产量。在水平 0—30 cm、垂直 0—60 cm 范围土壤中有有机质, 碱解氮, 速效磷均有不同程度提高, 有机肥浸提液中的有机质和酸对钾有不同程度的活化和保持作用, 磷酸有机肥浸提液效果优于硝酸有机肥浸提液。其中, 有机肥浸提液对化肥磷的替代量为 2/3 时, 养分偏生产力与养分农学利用效率最高。

参 考 文 献:

- [1] 陶瑞, 李锐, 谭亮, 等. 减少化肥配施有机肥对滴灌棉花 N、P 吸收和产量的影响[J]. 棉花学报, 2014, 26(4): 342-349.
Tao R, Li R, Tan L, *et al.* Effects of application of different organic manures with chemical fertilizer on cotton yield, N and P utilization efficiency under drip irrigation[J]. Cotton Science, 2014, 26(4): 342-349.
- [2] 陶磊, 褚贵新, 刘涛, 等. 有机肥替代部分化肥对长期连作棉田产量、土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(21): 6137-6146.
Tao L, Chu G X, Liu T, *et al.* Impacts of organic manure partial substitution for chemical fertilizer on cotton yield, soil microbial community and enzyme activities in mono-cropping system in drip irrigation condition[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(21): 6137-6146.
- [3] 曹秀华, 曲东. 土壤养分活化途径的探讨[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(4): 9-14.
Cao X H, Qu D. A method study of activating potential nutrient components in soil[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1998,

- 16(4): 9–14.
- [4] 贾玲侠, 李绍才, 赵秀兰. 根系分泌物活化岩石养分[J]. 微量元素与健康研究, 2006, 23(3): 52–54.
- Jia L X, Li S C, Zhao X L. Root exudates activated rock nutrients[J]. Studies of Trace Elements and Health, 2006, 23(3): 52–54.
- [5] 王妍. 养分缺乏下有机酸对暗棕壤铁活化和落叶松幼苗吸收铁的影响[J]. 林业科技情报, 2012, 44(4): 18–21.
- Wang Y. Effect of organic acid on ferrum activation in dark brown earth and larch seedling ferrum absorbing under the condition of nutrient deficiency[J]. Journal of Forestry Science and Technology of China, 2012, 44(4): 18–21.
- [6] 孟凡乔, 吴文良, 辛德惠. 高产农田土壤有机质、养分的变化规律与作物产量的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 370–374.
- Meng F Q, Wu W L, Xin D H. Changes of soil organic matter and nutrients and their relationship with crop yield in high yield farmland[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2000, 6(4): 370–374.
- [7] 章永松, 林咸永, 罗安程, 苏玲. 有机肥(物)对土壤中磷的活化作用及机理研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(2): 145–150.
- Zhang Y S, Lin X Y, Luo A C, Su L. Study on activation of phosphorous by organic manure in soils and its mechanisms[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(2): 145–150.
- [8] 罗佳, 陈波浪, 向光荣, 等. 有机肥对盐渍化耕地棉花干物质积累、养分吸收及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017, 2(2): 107–113.
- Luo J, Chen B L, Xiang G R, *et al.* Effects of organic manure on dry matter accumulation, nutrient absorption and yield of salinized cultivated cotton[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2017, 2(2): 107–113.
- [9] Gross A, Arusi R, Fine P, Nejdat A. Assessment of extraction methods with fowl manure for the production of liquid organic fertilizers[J]. Bioresource Technology, 2008, 99: 327–334.
- [10] Islam M K, Yaseen T, Traversa A, *et al.* Effects of the main extraction parameters on chemical and microbial characteristics of compost tea[J]. Waste Management, 2016, 52: 62–68.
- [11] Selvam G G, Sivakumar K. Influence of seaweed extract as an organic fertilizer on the growth and yield of *Arachis hypogaea* L. and their elemental composition using SEM-Energy Dispersive Spectroscopic analysis[J]. Asian Pacific Journal of Reproduction, 2014, 3(1): 18–22.
- [12] Poulsen P H B, Magid J, Luxhoi J, *et al.* Effects of fertilization with urban and agricultural organic wastes in a field trial—Waste imprint on soil microbial activity[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2013, 57: 794–802.
- [13] Rajaie M, Tavakoly A R. Effects of municipal waste compost and nitrogen fertilizer on growth and mineral composition of tomato[J]. International Journal of Recycling and Organic Waste in Agriculture, 2016, 5: 339–347.
- [14] 李惠, 李建明, 丁明, 等. 堆肥浸提液对番茄、黄瓜种苗生长及养分吸收的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017, 45(2): 121–127.
- Li H, Li J M, Ding M, *et al.* Effect of compost extracts on growth and nutrition absorption of tomato and cucumber seedlings[J]. Journal of northwest A&F university (Nat. Sci. Ed), 2017, 45(2): 121–127.
- [15] 罗彤, 李俊华, 华瑞, 等. 不同酸性有机肥浸提液对棉花生长及土壤性质的影响[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(10): 1839–1846.
- Luo T, Li J H, Hua R, *et al.* Effects of different acidic extracts of organic fertilizers on cotton growth and soil properties[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2017, 54(10): 1839–1846.
- [16] Seddigha S, Kianib L, Tafaghodinac B, *et al.* Using aerated compost tea in comparison with a chemical pesticide for controlling rose powdery mildew[J]. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2014, 47(6): 658–664.
- [17] 肖艳, 张怀文, 王克武, 等. 柠檬酸对土壤养分的活化及对作物吸收 Fe、P 的影响[J]. 生态环境, 2004, 13(4): 638–640.
- Xiao Y, Zhang H W, Wang K W, *et al.* Effect of citrate on nutrient activation in calcareous soil and on P and Fe uptake by crops[J]. Environmental and Environment, 2004, 13(4): 638–640.
- [18] 李书田, 邢素丽, 张炎, 崔荣宗. 钾肥用量和施用时期对棉花产量品质和棉田钾素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(1): 111–121.
- Li S T, Yin S L, Zhang Y, Cui R Z. Application rate and time of potash for high cotton yield, quality and balance of soil potassium[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2016, 22(1): 111–121.
- [19] 夏东旭, 王建安, 刘国顺, 等. 永德烟区土壤 pH 值分布特点及其与土壤有效养分的关系[J]. 河南农业大学学报, 2012, 46(2): 121–126.
- Xia D X, Wang J A, Liu G S, *et al.* Correlation between pH value distribution and soil nutrients in Yongde tobacco-growing area[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2012, 46(2): 121–126.
- [20] 张水清, 杨莉, 黄绍敏, 等. 长期施肥下潮土速效钾含量与钾素投入水平关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(3): 773–777.
- Zhang S Q, Yang L, Huang S M, *et al.* Relationship between available K content and K input levels in fluvo-aquic soil under long term fertilization[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(3): 773–777.
- [21] 陈钦程, 徐福利, 王渭玲, 程治文. 秦岭北麓不同林龄华北落叶松土壤速效钾变化规律[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5): 1243–1249.
- Cheng Q C, Xu F L, Wang Wei L, Cheng Z W. Seasonal dynamics of available K in soil for different ages of *Larix principis-rupprechtii* in the northern foot of the Qinling[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(5): 1243–1249.
- [22] 苑宏英, 吴丽杰, 员建, 等. 酸碱联合调节剩余污泥过程中氮、磷和有机质的释放[J]. 环境工程学报, 2012, 6(9): 3288–3293.
- Yuan H Y, Wu L J, Yuan J, *et al.* Release of ammonia, phosphate and organic matter during process of co-controlling excess sludge with acid and alkaline[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012, 6(9): 3288–3293.
- [23] 邓玉龙, 张乃明. 设施土壤 pH 值与有机质演变特征研究[J]. 生态环境, 2006, 15(2): 367–370.
- Deng Y L, Zhang N M. Soil pH and organic matter in greenhouse[J]. Ecological and Environment, 2006, 15(2): 367–370.
- [24] 沈灵凤, 白玲玉, 曾希柏, 王玉忠. 施肥对设施菜地土壤硝态氮累积及 pH 的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(7): 1350–1356.
- Shen L F, Bai L Y, Zeng X B, Wang Y Z. Effects of fertilization on NO_3^- -N accumulation in greenhouse soils[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(7): 1350–1356.
- [25] 杨绍琼, 党廷辉, 戚瑞生, 马瑞萍. 低分子量有机酸对石灰性土壤有机磷组成及有效性的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(4): 167–171.
- Yang S Q, Dang T H, Qi R S, Ma R P. Effects of low molecular weight organic acids on organic composition phosphorus fraction and availability in calcareous soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26(4): 167–171.