

裴瑞杰,王俊忠,冀建华,等. 腐殖酸肥料与氮肥配施对土壤理化性质的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(19):331-334.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.19.084

腐殖酸肥料与氮肥配施对土壤理化性质的影响

裴瑞杰¹, 王俊忠², 冀建华², 王志勇², 袁天佑², 孙笑梅², 闫军营²

(1. 南阳农业职业学院, 河南南阳 473000; 2. 河南省土壤肥料站, 河南郑州 450002)

摘要:为了探究腐殖酸肥料与氮肥配施对土壤理化性质的影响,于 2014 年始在河南省焦作市博爱县孝敬镇开展田间定位试验,共设置单施磷钾肥(T₁)、常规施肥(T₂)、单施腐殖酸肥料 3 000 kg/hm²(T₃)、常规施肥 + 腐殖酸肥料 3 000 kg/hm²(T₄)、常规施肥减氮 15% + 腐殖酸肥料 3 000 kg/hm²(T₅)、常规施肥减氮 30% + 腐殖酸肥料 3 000 kg/hm²(T₆)等 6 个处理,分析了不同施肥处理下土壤理化性质的变化特征。结果表明,腐殖酸肥料与氮肥配施可以有效改善土壤的理化性质,以常规施肥减氮 15% 配施腐殖酸肥料(T₅)的效果最佳。T₅ 处理的土壤容重最低,显著低于其他处理 3.67% ~ 8.88% ($P < 0.05$);而 T₅ 处理的土壤有机质含量、氮素含量、有效磷含量和速效钾含量最高,与常规施肥相比,土壤有机质含量增加了 0.44%,土壤全氮和碱解氮含量分别显著增加了 5.41% 和 21.76% ($P < 0.05$),土壤有效磷含量增加了 4.66%,土壤速效钾含量增加了 1.65%,土壤的 pH 值以 T₁ 处理最高,T₅ 处理最低,较 T₁ 处理低 8.98% ($P < 0.05$)。

关键词:腐殖酸;氮肥;土壤;理化性质

中图分类号: S158 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)19-0331-04

腐殖酸(humic acid, 简写 HA)是一种天然有机物质,是以动植物残骸为主的有机物经过漫长的、复杂的、一系列的地球生化反应所形成的^[1],对土壤肥力和碳循环均有较大影响,时刻影响着人类生存的地球环境^[2-3]。张青等研究表明,施用腐殖酸可有效降低土壤的容重,增加土壤的孔隙度,提高土壤有机质和其他速效养分^[4]。李杰研究发现,在施肥优化的基础上,进一步添加腐殖酸钾,与普通施肥相比,能有效增加土壤孔隙度,降低土壤容重,改善土壤的物理结构,腐殖酸类肥料具有改良培肥的效果^[5]。陆欣研究表明,腐殖酸类物质能与尿素相互作用,对于有效改善有机-无机肥料的性质以及提高土壤肥力有着非常重要的作用^[6]。陈伏生等在风沙土上的研究显示,风化煤腐殖酸能显著提升土壤的有机质、碱解氮、速效磷和速效钾的含量,降低土壤 pH 值^[7]。众多研究均表明,腐殖酸具有改良培肥土壤、促进农作物生长、提高肥料利用效率、提高农作物产量与品质和增强农作物抗逆性

等方面的作用^[8-11]。但以往的研究多集中在叙述性的研究,而专门将腐殖酸直接与氮肥配施用于“冬小麦—夏玉米”轮作系统下,研究施用腐殖酸对土壤理化性质的影响却鲜见报道。本研究通过在河南省豫北潮土区,设置腐殖酸肥料与化肥配施的田间定位试验,探讨在“冬小麦—夏玉米”轮作系统下,腐殖酸肥料施用对土壤理化性质的影响,以期为实现农业生态系统环境友好发展和精准实施“藏粮于技、藏粮于地”战略提供理论依据与技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2014 年在河南省焦作市博爱县孝敬镇坞庄村进行。该地区属豫北平原区,土壤为潮土,属冲积洪积物,质地肥沃,水资源丰富。试验点地势平坦,试验前 0 ~ 20 cm 土壤理化性状见表 1。

表 1 供试土壤试前农化性质

容重 (g/cm ³)	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	pH 值
1.32	18.08	1.55	126.81	32.56	164.63	8.20

1.2 试验设计

试验田设在永久性耕地上,设 6 个处理,即:(1)不施氮

肥即单施磷钾肥(T₁);(2)常规施肥即单施无机化肥氮磷钾(T₂);(3)单施腐殖酸肥料 3 000 kg/hm²(T₃);(4)常规施肥 + 腐殖酸肥料 3 000 kg/hm²(T₄);(5)常规施肥减氮 15% + 腐殖酸肥料 3 000 kg/hm²(T₅);(6)常规施肥减氮 30% + 腐殖酸肥料 3 000 kg/hm²(T₆)。试验采取随机区组排列,3 次重复,小区面积 6 m × 8 m = 48 m²,同时设置保护行和观察走道。供试冬小麦品种为周麦 16,夏玉米品种为豫安 3 号,分别由河南天存种业有限公司和河南平安种业有限公司提供。供试肥料:氮肥为尿素(含 N 46%),磷肥为过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%),钾肥为氯化钾(含 K₂O 60%)。试验中所使用的

收稿日期:2017-04-21

基金项目:国家粮食丰产科技工程(编号:2013BAD07B07);河南省政府与中国科学院合作 STS 项目(编号:KFJ-SW-ST-142)。

作者简介:裴瑞杰(1968—),女,河南南阳人,副教授,主要从事作物学与农业资源利用等方面的教学和研究。E-mail: nynxp2008@163.com。

通信作者:袁天佑,博士,主要从事土壤肥料与作物栽培等方面的研究。E-mail: tianyouyuan_2010@163.com。

腐殖酸肥料(pH 值为 4.74, 有机质含量为 80.92%, 全氮含量为 0.76%, 全磷含量为 0.38%, 全钾含量为 0.23%) 由南阳市沃泰肥业有限公司提供。

试验所有处理除了 T_3 处理(单施腐殖酸肥料)外, 其他所有处理(T_1 、 T_2 、 T_4 、 T_5 、 T_6)全生育期磷肥和钾肥均用做基肥一次性施入。其中 T_2 、 T_4 、 T_5 、 T_6 处理的氮肥均采用基追配合的模式:(1) 冬小麦季。50% 氮肥做基肥, 剩余 50% 氮肥于冬小麦拔节期追施。腐殖酸肥料为粉状, 撒施, 用做基肥一次性施入。所有处理的种植密度及其他水肥管理措施按照当地冬小麦生产技术规程进行。(2) 夏玉米季。30% 氮肥做基肥, 剩余 70% 氮肥于夏玉米拔节期追施。腐殖酸肥料用做基肥一次性施入。所有处理的种植密度及其他水肥管理措施按照当地夏玉米栽培的管理方法进行。出苗后 3 叶间苗, 5 叶定苗, 在夏玉米大喇叭口期用杀螟丹颗粒剂丢心, 防治夏玉米螟和后期蚜虫; 在夏玉米成熟期收获。

1.3 测定项目与方法

每年夏玉米收获后冬小麦播种前, 每个小区采用“S”法采集耕层土壤样品(0~20 cm), 将样品风干后过 1 mm 和 0.25 mm 筛备用, 然后测定土壤理化性状。采用常规的分析方法测定土壤容重、土壤有机质、土壤碱解氮、土壤速效磷、土壤速效钾和土壤 pH 值^[12]。

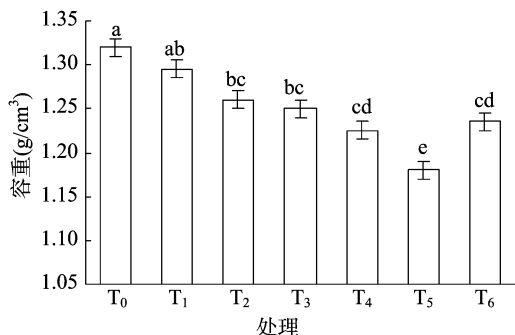
1.4 数据处理与分析

试验数据的整理和作图均采用 Microsoft Office 2003, 使用 SPSS 19.0 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 腐殖酸肥料与氮肥配施对土壤容重的影响

由图 1 可以看出, 各处理土壤容重的变化趋势为: 腐殖酸肥料与氮肥配施处理低于常规施肥处理, 常规施肥处理低于单施磷钾肥处理, 且各处理的土壤容重均明显低于试前(T_0)土壤(1.32 g/cm³), 较试前土壤降低了 0.025~0.14 g/cm³。配施腐殖酸肥料的 T_4 、 T_5 和 T_6 处理的土壤容重分别较常规施肥 T_2 处理降低了 2.78%、6.35% 和 1.98%, 较单施磷钾肥的 T_1 处理降低 5.41%、8.88% 和 4.63%, 较单施腐殖酸肥料的 T_3 处理降低 2.00%、5.60% 和 1.20%; 常规施肥配施腐殖酸肥料或减氮配施腐殖酸肥料处理间对土壤容重的影响有差异, 以 T_5 处理的效果最佳, T_5 处理的土壤容重分别较 T_4 和 T_6 处理降低了 3.67% 和 4.45%, 处理间差异达显著水平($P < 0.05$)。



图中 T_0 表示试前, 图中数据为 2015 年和 2016 年的平均值; 柱上不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下图同

图1 不同处理对土壤(0~20 cm)容重的影响

2.2 腐殖酸肥料与氮肥配施对土壤有机质含量的影响

从图 2 可以看出, 各处理土壤有机质含量的变化趋势为: 施用腐殖酸肥料处理明显高于未施用腐殖酸肥料处理的, 腐殖酸肥料与氮肥配施处理高于常规施肥处理, 常规施肥处理高于单施磷钾肥处理, 且各处理的土壤有机质含量均明显高于试前土壤(18.08 g/kg), 较试前土壤高 0.01~0.22 g/kg。配施腐殖酸肥料的 T_4 、 T_5 和 T_6 处理土壤有机质含量分别较常规施肥 T_2 处理高 0.63%、0.44% 和 0.38%, 较单施磷钾肥的 T_1 处理高 1.00%、1.19% 和 0.94%, 较单施腐殖酸肥料的 T_3 处理高 0.082%、0.27% 和 0.027%; 常规施肥配施腐殖酸肥料或减氮配施腐殖酸肥料处理间对土壤有机质的影响有差异, 以 T_5 处理的效果最佳, T_5 处理的土壤有机质含量分别较 T_4 和 T_6 处理高 0.19% 和 0.25%。

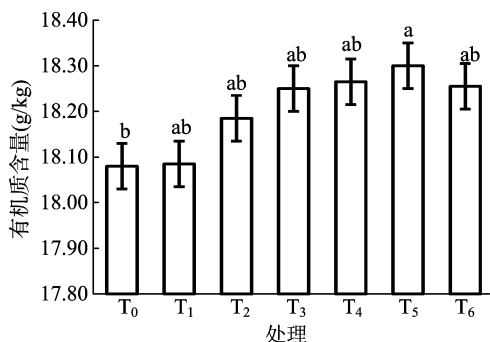


图2 不同施肥处理对土壤(0~20 cm)有机质含量的影响

2.3 腐殖酸肥料与氮肥配施对土壤全氮和碱解氮含量的影响

从图 3 可以看出, 各处理的土壤全氮和碱解氮含量的变化趋势均表现为: 腐殖酸肥料与氮肥配施处理高于常规施肥处理, 常规施肥处理高于单施磷钾肥处理, 且各处理的土壤全氮和碱解氮含量(除单施磷钾肥和单施腐殖酸肥料处理外)均明显高于试前土壤(全氮含量 1.55 g/kg, 碱解氮含量 126.81 mg/kg), 较试前土壤高 0.02~0.11 g/kg、0.19~2.93 mg/kg。配施腐殖酸肥料的 T_4 、 T_5 和 T_6 处理土壤全氮和碱解氮含量分别较常规施肥 T_2 处理高 0.96% 和 1.00%、5.41% 和 2.16%、3.50% 和 0.90%, 且碱解氮含量之间的差异达显著水平($P < 0.05$); 较单施磷钾肥的 T_1 处理高 12.81% 和 7.27%、17.79% 和 8.49%、15.66% 和 7.16%, 且差异达显著水平($P < 0.05$); 较单施腐殖酸肥料的 T_3 处理高 6.73% 和 3.26%、11.44% 和 4.44%、9.43% 和 3.16%, 且差异达显著水平($P < 0.05$); 常规施肥配施腐殖酸肥料或减氮配施腐殖酸肥料处理间对土壤全氮和碱解氮含量的影响有差异, 以 T_5 处理的效果最佳, T_5 处理的土壤全氮和碱解氮含量分别较 T_4 和 T_6 处理高 1.14% 和 4.12%、1.24% 和 1.85%, 且 T_5 处理与 T_4 和 T_6 处理碱解氮含量之间的差异达显著水平($P < 0.05$)。

2.4 腐殖酸肥料与氮肥配施对土壤速效磷含量的影响

由图 4 可以看出, 各处理土壤有效磷含量的变化趋势为: 腐殖酸肥料与氮肥配施处理高于常规施肥处理, 常规施肥处理高于单施磷钾肥处理, 且除单施腐殖酸肥料处理的土壤有效磷含量显著低于试前土壤(32.56 mg/kg)外, 其他处理的土壤有效磷含量均高于试前土壤, 较试前土壤提高了 0.01~2.72 mg/kg。配施腐殖酸肥料的 T_4 、 T_5 和 T_6 处理土壤有效磷

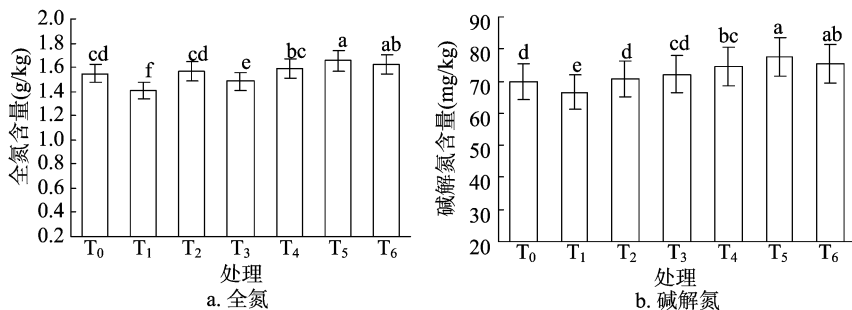


图3 不同处理对土壤(0~20 cm)全氮和碱解氮含量的影响

含量分别较常规施肥 T₂ 处理高 1.41%、4.66% 和 1.79%；较单施磷钾肥的 T₁ 处理高 4.97%、8.34% 和 5.37%，且差异均达显著水平 ($P < 0.05$)；较单施腐殖酸肥料的 T₃ 处理高 17.43%、21.19% 和 17.88%，且差异均达显著水平 ($P < 0.05$)；常规施肥配施腐殖酸肥料或减氮配施腐殖酸肥料处理间对土壤有效磷的影响有差异，以 T₅ 处理的效果最佳，T₅ 处理的土壤有效磷含量分别较 T₄ 和 T₆ 处理高 3.20% 和 2.81%，且 T₅ 处理与 T₄ 处理间的差异达显著水平 ($P < 0.05$)。

2.5 腐殖酸肥料与氮肥配施对土壤速效钾含量的影响

由图 5 可以看出，各处理土壤速效钾含量的变化趋势为：腐殖酸肥料与氮肥配施处理高于常规施肥处理，常规施肥处理高于单施磷钾肥处理，除单施腐殖酸肥料处理的土壤速效钾含量显著低于试前土壤 (164.63 mg/kg) 外，其他处理的土壤速效钾含量均高于试前土壤，较试前土壤高 1.32~4.34 mg/kg。配施腐殖酸肥料的 T₄、T₅ 和 T₆ 处理土壤速效钾含量分别较常规施肥 T₂ 处理高 0.23%、1.65% 和 0.21%；较单施磷钾肥的 T₁ 处理高 0.40%、1.82% 和 0.38%；较单施腐殖酸肥料的 T₃ 处理高 3.07%、4.52% 和 3.05%，且差异均达显著水平 ($P < 0.05$)；

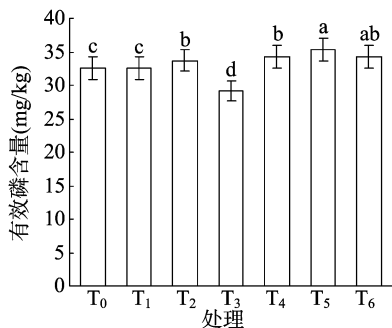


图4 不同施肥处理对土壤(0~20 cm)有效磷含量的影响

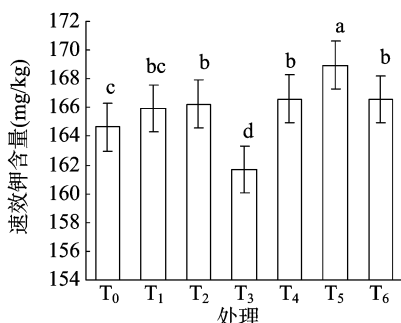


图5 不同处理对土壤(0~20 cm)速效钾含量的影响

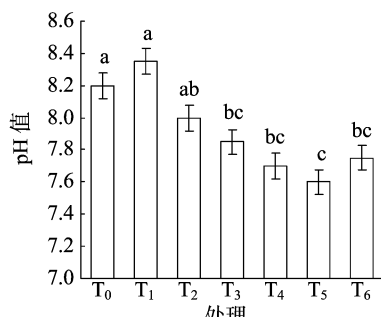


图6 不同施肥处理对土壤(0~20 cm) pH 值的影响

3 结论与讨论

土壤理化性状是判断土壤肥力高低的重要指标，对耕地质量具有重要影响^[13-14]。土壤容重是土壤物理性质的重要指标之一。土壤容重与土壤质地、土壤有机质含量、土壤结构状况以及耕作栽培管理水平有密切关系。土壤容重越小土壤愈松，通透性越好，愈利于耕作^[15]。丁砚民通过在盐碱湿地利用风化煤的研究指出，施用风化煤可有效增加土壤的孔隙度，降低土壤容重，提高微生物的生化活性，进而改善土壤的物理性质^[16]。赵东彦等研究显示，风化煤腐殖酸与夏玉米秸秆配施可以有效改善土壤的物理性质，有利于土壤微团粒结构的形成，对土壤容重有重要影响^[17]。本研究结果显示，施

常规施肥配施腐殖酸肥料或减氮配施腐殖酸肥料处理间对土壤速效钾含量的影响有差异，以 T₅ 处理的效果最佳，T₅ 处理的土壤速效钾含量分别较 T₄ 和 T₆ 处理高 1.41% 和 1.43%，且 T₅ 处理与 T₄ 处理间的差异达显著水平 ($P < 0.05$)。

2.6 腐殖酸肥料与氮肥配施对土壤 pH 值的影响

从图 6 可以看出，施用腐殖酸肥料之后，土壤的 pH 值发生了较大变化，各处理的土壤 pH 值变化趋势为：单施磷钾肥处理高于常规施肥处理，常规施肥高于腐殖酸肥料与氮肥配施处理，除单施磷钾肥处理的土壤 pH 值稍微升高外，其他处理的土壤 pH 值均低于试前土壤 (pH 值 8.20)，较试前土壤降低了 0.20~0.70。配施腐殖酸肥料的 T₄、T₅ 和 T₆ 处理土壤 pH 值分别较常规施肥 T₂ 处理低 3.75%、5.00% 和 3.13%；较单施磷钾肥的 T₁ 处理低 7.78%、8.98% 和 7.19%，且差异均达显著水平 ($P < 0.05$)；较单施腐殖酸肥料的 T₃ 处理低 1.91%、3.18% 和 1.27%；常规施肥配施腐殖酸肥料或减氮配施腐殖酸肥料处理间对土壤 pH 值的影响有差异，以 T₅ 处理的效果最佳，T₅ 处理的土壤 pH 值分别较 T₄ 和 T₆ 处理降低了 1.30% 和 1.94%。

用腐殖酸肥料可以有效降低土壤容重，增加土壤孔隙度，改善土壤物理性质。其中，以腐殖酸肥料与氮肥配施最优，其次依次为单施腐殖酸肥料、单施化肥氮磷钾和不施氮肥。其中，其中以 T₅ 即常规施肥减氮 15% + 腐殖酸肥料处理的土壤容重最低，2 年的土壤容重平均值较试前降低的最大幅度可达 0.14 g/cm³。这与上述研究结果一致。

农田的土壤化学性质主要受肥料类型、耕作方式、种植方式和施肥方式的影响。土壤有机质是土壤微生物和农作物所需营养元素的源泉，是一种“全量”营养物质，对土壤理化性状、土壤的保水保肥性能以及土壤的通透性等均有较大影响^[18-19]。因此，土壤有机质含量的高低是评价土壤肥力高低最重要的指标。而农田土壤有机质的大小，除受自然因素的

影响外,更重要的受到人为因素即施肥因素的影响。有研究显示,腐殖酸施入土壤后,能有效提升土壤速效养分的含量,对土壤的培肥均有重要作用,尤其是对土壤速效氮、速效磷和速效钾含量有效较大^[20-21]。这可能是由于腐殖酸富含各类官能团,能与土壤中的铵离子、磷离子和钾离子结合,形成络合物,减少土壤速效氮的损失,抑制土壤对磷和钾的固定,能使土壤释放出更多的固定态磷和钾,进而提高土壤速效氮、有效磷和速效钾的含量。段学军等研究显示,风化煤与尿素、夏玉米秸秆配施,能不同程度地促进土壤的生物量碳的活性,且其相互激发的效应较为明显^[22]。周鑫斌等研究指出,单施风化煤对土壤生物量碳的影响效果不明显,甚至还低于单施尿素处理,而风化煤与夏玉米秸秆的配施较优,二者的激发效应明显^[23]。本研究显示,施用腐殖酸可以有效提升土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾的含量,其中,腐殖酸与氮肥配施优于单施化肥氮磷钾,单施化肥氮磷钾又优于单施磷钾肥。单施腐殖酸能增加土壤有机质的含量,但是不利于土壤的碱解氮、有效磷和速效钾含量的提升,这与周鑫斌等的研究结果^[23]一致,这可能是由于腐殖酸本身有机质含量较高,而缺失氮磷钾元素所致。腐殖酸必须与氮肥配施才能发挥效用,其中,以腐殖酸+化肥减氮 15% 的 T₅ 处理最佳,这与上述研究较为相似。

施入土壤中的肥料氮素对土壤含氮量的影响主要决定于其在土壤中的净残留量^[24]。在本研究的常规施肥条件下,土壤全氮和碱解氮含量增加不明显,说明在“小麦—玉米”轮作制度下,本研究中的常规施肥能维持或提升土壤的氮素肥力水平。而不施氮肥的 T₁ 处理和单施腐殖酸的 T₃ 处理土壤中全氮和碱解氮含量较低,均低于试前土壤,说明不施氮肥,由于作物收获后携带和氮素转化,引起土壤中氮素含量降低。而腐殖酸与氮肥结合施用能明显提高土壤的全氮和碱解氮含量,在土壤中有明显的净残留,有助于土壤氮素的累积,但是,与腐殖酸配施的氮肥需要一个适宜量。

腐殖酸与化肥配施能提升土壤磷的有效性,其原因可能是由于腐殖酸中含有多种官能团可与磷形成络合物,可减少磷的固定,并加速了无机磷的溶解。而单施化肥氮磷钾处理和单施磷钾肥处理,由于 2 年连续施磷,磷的移动性较小,能使耕层土壤中的磷维持较高的水平。

土壤 pH 值用来表示土壤的酸碱度,是土壤重要的基本性质之一,能直观反映土壤的酸化状况^[15]。土壤 pH 值对土壤中的一系列肥力性质具有深刻影响。另外,各种作物的生长都有其最适宜的酸碱度范围,土壤 pH 值对作物的生长发育具有直接和间接的作用^[15]。本研究显示,施用腐殖酸可以有效调节土壤的 pH 值,使土壤 pH 值向中性方向发展,有益于土壤微生物生长,并激发其活性,使土壤 pH 值更有利于作物的生长发育。腐殖酸具有调节土壤 pH 值作用,但以腐殖酸+氮肥处理最优,这可能是由于腐殖酸富含多种官能团,化肥与腐殖酸结合后,能促进腐殖酸释放酸性离子有关,使腐殖酸具有对土壤起缓冲性能的作用。腐殖酸与氮肥结合施用才能有效提高土壤的有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量,有效改善土壤的酸碱性,这可能与腐殖酸富含多种官能团有关^[25-26]。至于腐殖酸为什么必须与氮肥配施才能发挥作用的机制还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 郝青,梁亚勤,刘二保. 腐殖酸复混肥对夏玉米产量及土壤肥力的影响[J]. 山西农业科学,2012,40(8):853-856.
- [2] 周爽,其力莫格,谭钧,等. 腐殖酸提高土壤氮磷钾养分利用效率的机制[J]. 腐植酸,2015(2):1-8.
- [3] 马秀欣,李欣. 腐殖酸资源开发前景广阔[J]. 中国煤炭,2000,26(10):34-36.
- [4] 张青,王煌平,栗方亮,等. 土壤调理剂对茶园土壤理化性质和茶叶品质的影响[J]. 湖北农业科学,2014(9):2006-2008.
- [5] 李杰. 保护地土壤质量变化规律及不同措施对土壤改良效果研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2012.
- [6] 陆欣. 煤炭腐殖酸脲酶抑制剂应用效果研究[J]. 腐植酸,1994(4):10-14.
- [7] 陈伏生,曾德慧,陈广生,等. 风沙土改良剂对白菜生理特性和生长状况的影响[J]. 水土保持学报,2003,17(2):152-155.
- [8] 安有恒,刘忠祥,王永芳. 腐殖酸类肥料在农业上的应用及其开发前景[J]. 甘肃农业科技,1994(5):30-31.
- [9] 宋茜萍. 腐殖酸的开发与应用[J]. 中国化工,1998(5):49-50.
- [10] 王国学. 腐殖酸肥料改土增产效果研究[J]. 腐植酸,1993(4):38-40.
- [11] 陆欣,王申贵. 煤炭腐殖酸对石灰性土壤磷酸酶活性的影响[J]. 腐植酸,1989(3):41-44.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [13] 郑立臣,宇万太,马强,等. 农田土壤肥力综合评价研究进展[J]. 生态学杂志,2004,23(5):156-161.
- [14] 骆东奇,白洁,谢德体. 论土壤肥力评价指标和方法[J]. 土壤与环境,2002,11(2):202-205.
- [15] 河南省土壤普查办公室. 河南土壤[M]. 中国农业出版社,2004:403.
- [16] 丁砚民. 利用风化煤改良盐碱湿地的初步研究[J]. 北京工业大学学报,1995,21(4):122-128.
- [17] 赵东彦,王海平. 夏玉米秸与风化煤配施对土壤结构性的影响[J]. 山西农业大学学报,1999,19(2):135-139.
- [18] 徐玲,张杨珠,周卫军,等. 不同施肥结构下稻田产量及土壤有机质和氮素营养的变化[J]. 农业现代化研究,2006,27(2):153-156.
- [19] 李忠佩,张桃林,陈碧云,等. 红壤稻田土壤有机质的积累过程特征分析[J]. 土壤学报,2003,40(3):344-352.
- [20] 陆欣,王申贵. 应用腐殖酸改善石灰性土壤磷素供应状况的研究[J]. 土壤通报,1996,27(6):265-267.
- [21] 张宏伟,陈港,唐爱民,等. 腐殖酸共聚物改良后土壤中磷肥有效性研究[J]. 土壤肥料,2002(6):39-40.
- [22] 段学军,闵航,陆欣. 风化煤夏玉米秸配施熟化土壤的生物学效应研究[J]. 土壤通报,2003,34(6):517-520.
- [23] 周鑫斌,段学军. 不同土壤熟化措施对土壤微生物量碳的影响[J]. 山西农业科学,2003,31(2):33-36.
- [24] 李继明,黄庆海,袁天佑,等. 长期施用绿肥对红壤稻田水稻产量和土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(3):563-570.
- [25] 陈振德,何金明,李祥云,等. 施用腐殖酸对提高夏玉米氮肥利用率的研究[J]. 中国生态农业学报,2007,15(1):52-54.
- [26] 林丽娜,黄青,廉菲,等. 腐殖酸及 pH 值对生物炭-铁锰氧化物复合材料吸附 As(Ⅲ)影响机理[J]. 农业环境科学学报,2017,36(2):387-393.