

减氮配施腐植酸对耕层土壤理化性质的影响

刘灿华¹, 袁天佑¹, 闫军营¹, 孟繁华¹, 孙笑梅^{1*}, 张水清²

(1. 河南省土壤肥料站, 河南 郑州 450008;

2. 河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 河南 郑州 450002)

摘 要: 为了深入评价减氮配施腐植酸对土壤理化性质的影响, 进一步为科学施用化肥尤其是氮肥提供技术支撑。2017 ~ 2019 年, 在豫南黄褐土区开展田间长期定位试验, 探讨腐植酸与不同氮肥水平的科学运筹对土壤理化性质的影响。试验设置对照 (T1)、常规施肥 (T2)、单施腐植酸 $3\ 000\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (T3)、常规施肥 + 腐植酸 $3\ 000\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (T4)、常规施肥减氮 15%+ 腐植酸 $3\ 000\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (T5)、常规施肥减氮 30%+ 腐植酸 $3\ 000\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (T6) 等 6 个处理。结果表明, 腐植酸与适宜的氮肥用量配施可有效改善土壤的物理与化学性质, 其中, 以 T5 的效果最佳。T5 的土壤容重最低, 显著低于其它处理 $0.73\% \sim 4.91\%$ ($P < 0.05$); 而 T5 的土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量最高, 与 T2 相比, 土壤有机质增加了 4.58%, 土壤全氮和碱解氮含量分别增加了 21.76% 和 9.82%, 均达到了显著水平 ($P < 0.05$), 土壤有效磷和速效钾分别增加了 2.68% 和 1.84%, 土壤 pH 值差异不显著 ($P > 0.05$)。因此, 减氮 15% 配施腐植酸是本研究区域内的最佳施肥运筹技术模式, 对实现资源节约、生态环境保护和农业绿色高质量发展具有重要意义。

关键词: 氮肥; 腐植酸; 土壤容重; 土壤有机质; 土壤养分

肥料作为粮食的“粮食”, 直接决定着农作物产量的高低, 在现代化农业高质量的发展中起着关键作用。国内外有关研究显示, 全球约 48% 的人口靠肥料投入来生产粮食, 其中, 氮肥对粮食生产的作用最大, 贡献率高达 30% ~ 50%^[1-2]。而与发达国家相比, 当前我国的化肥利用率依然较低, 据研究显示, 水稻、小麦和玉米三大主要粮食作物的肥料利用效率仅为 39.2%, 其余的一部分排放到土壤、水体和空气中, 不仅造成了资源的巨大浪费, 在一定程度上还对生态环境造成了污染。当前, 如何通过科学施肥技术, 逐步提升化肥利用效率, 特别是氮肥利用效率, 进而减少化肥的使用量, 尤其是氮肥的用量, 减少氮素损失, 最终实现化肥减量增效, 这是农业绿色高质量发展和生态文明建设亟待解决的重大问题。

腐植酸是一种含有多种活性基团有机物质, 具有廉价和无污染的特性, 有助于土壤结构的形成,

有利于提升土壤的物理与化学性质, 提高土壤养分有效性等多方面的作用^[3-4]。研究显示, 氮肥与腐植酸联合施用不但能有效提升氮肥的利用率, 提高农作物的综合产量, 减少肥料的使用量, 还可以培肥改良土壤^[5-8]。豫南黄褐土低肥力区是河南省重要的农产品生产基地。本研究通过在河南省豫南黄褐土低肥力区, 设置氮肥与腐植酸科学运筹技术的田间定位试验, 深入探讨冬小麦-夏玉米轮作系统下, 减氮配施腐植酸对土壤理化性质的影响, 为扎实全面推进“藏粮于技、藏粮于地”战略以及农业绿色高质量发展提供理论依据与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于河南省南部的南阳市卧龙区英庄镇前英庄村 ($32^{\circ} 75' 57'' \text{N}$, $112^{\circ} 43' 87'' \text{E}$), 土壤类型为黄褐土, 属南阳盆地平原, 平均海拔 85 ~ 100 m, 属北亚热带大陆性季风气候, 年均气温 15°C , 年均降水量 805.8 mm, 日照 2 116 h, 无霜期 229 d。作物种植模式为冬小麦-夏玉米轮作。试验地地势平坦, 试验前 0 ~ 20 cm 土壤理化性状见表 1。

收稿日期: 2020-06-18; 录用日期: 2020-06-23

基金项目: 科技部粮食丰产科技工程项目 (2013BAD07B07); 农业农村部化肥减量增效项目 (2017 ~ 2019 年)。

作者简介: 刘灿华 (1964-), 男, 河南淮滨人, 高级农艺师, 主要从事土壤肥料与作物栽培等方面的研究。E-mail: tfzflk@126.com。

通讯作者: 孙笑梅, E-mail: sunxm9@126.com。

表 1 供试土壤试验前农化性质

试验地点	容重 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	有机质 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全氮 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	碱解氮 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效磷 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	pH 值
前英庄村	1.43	11.32	1.03	69.97	25.73	84.25	6.57

1.2 试验设计

本研究设 6 个不同施肥处理：1) 对照处理：单施磷、钾肥即不施氮肥 (T1)：磷肥 (P_2O_5) $90.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，钾肥 (K_2O) $75.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；2) 单施无机化肥氮磷钾即常规施肥 (T2)：氮肥 $180.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，磷肥 $90.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，钾肥 $75.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；3) 单施腐植酸 (HA) (T3)：腐植酸 $3\,000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；4) 腐植酸 (HA) + 常规施肥 (T4)：腐植酸 $3\,000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，氮肥 $180.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，磷肥 $90.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，钾肥 $75.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；5) 腐植酸 (HA) + 常规施肥减氮 15% (T5)：腐植酸 $3\,000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，氮肥 $153.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，磷肥 $90.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，钾肥 $75.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；6) 腐植酸 (HA) + 常规施肥减氮 30% (T6)：腐植酸 $3\,000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，氮肥 $126.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，磷肥 $90.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，钾肥 $75.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。采取随机区组排列，3 次重复，小区面积 48 m^2 (宽 6 m，长 8 m)，试验区内设置观察走道与保护行。供试冬小麦品种为“周麦 26”；夏玉米品种为“豫安 3 号”。供试肥料：腐植酸 (pH 值为 4.74，有机质为 80.92%，全氮为 0.76%，全磷为 0.38%，全钾为 0.23%)，氮肥为尿素 (N 46%)，磷肥为过磷酸钙 (P_2O_5 12%)，钾肥为氯化钾 (K_2O 60%)。

试验除 T3 外，其它所有处理全部的磷肥和钾肥均做基肥即底施一次性施入。T2、T4、T5、T6 的氮肥采用分次施肥模式即采用基肥加追肥配合的运筹模式：1) 冬小麦。腐植酸用做底肥一次性施入；50% 氮肥做基肥，50% 氮肥于拔节期追施。各处理田间除施肥运筹模式不同外，其它管理同一般大田。2) 夏玉米：腐植酸用做底肥一次性施入；30% 氮肥做基肥，70% 氮肥于拔节期追施。所有处理田间除施肥运筹模式不同外，其它管理同一般大田。在出苗后 3 叶时进行间苗，在 5 叶时进行定苗；在大喇叭口期做好夏玉米螟等各种害虫的防治；在完熟期进行收获。

1.3 测定项目与方法

在夏玉米收获后和冬小麦播种前，各小区采用“S”法进行耕层 (0 ~ 20 cm) 土壤样品的采集，样品风干后，分别过 1、0.25 mm 筛备用，然后开展土壤物理和化学性

状的测定。本研究均采用常规的测试分析方法对土壤容重、土壤全氮、土壤碱解氮、土壤有机质、土壤速效钾、土壤 pH 值和土壤有效磷进行测定^[9]。

1.4 数据处理与分析

试验数据取 3 年的平均值，采用 office 2010 作图，使用 SPSS 19.0 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 减氮配施腐植酸对土壤容重的影响

由图 1 可知，各施肥处理的土壤容重整体变化趋势显现为：氮肥配施腐植酸低于单施无机化肥氮磷钾即常规施肥，单施无机化肥氮磷钾即常规施肥低于不施氮肥即单施磷钾肥，各施肥处理的土壤容重均低于试前土壤 T0 ($1.43 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)，较 T0 降低幅度为 $0.005 \sim 0.075 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。T4、T5 和 T6 的土壤容重分别较 T2 降低了 2.14%、3.56% 和 2.85%，较单施磷钾肥的 T1 处理降低 3.51%、4.91% 和 4.21%，分别较 T3 降低了 0.36%、1.81% 和 1.09%。各无机化肥与腐植酸配施处理间在降低土壤容重方面有差异，以无机化肥减氮 15% 配施腐植酸处理即 T5 的效果最好，T5 的土壤容重较 T4、T6 分别降低了 1.45%、0.73%。

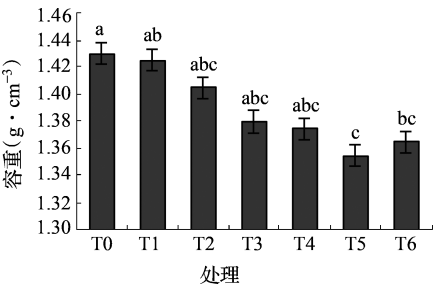


图 1 不同施肥处理对土壤容重的影响

注：T0 表示试前土壤；数据为 2017、2018 和 2019 年 3 年的平均值；不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

2.2 腐植酸与氮肥配施对土壤有机质的影响

从图 2 可以看出，各施肥处理间，含腐植酸处理的土壤有机质含量高于不含腐植酸的处理，无机化肥配施腐植酸的土壤有机质含量高于单施无机化肥即常规施肥，单施无机化肥高于不施氮肥即单施

磷钾肥, 各施肥处理除单施磷钾肥处理外, 其它施肥处理的土壤有机质含量均高于试前土壤 T0 ($11.32 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。但试验开展 2 年后, T2、T3、T4、T5 和 T6 的土壤有机质含量均较 T0 有明显提高。T4、T5 和 T6 的土壤有机质含量分别较 T2 高 5.80%、4.58%、4.45%, 较 T1 高 9.71%、11.13%、9.85%, 较 T3 高 1.48%、2.80%、1.61%。各无机化肥与腐植酸配施处理间在提高土壤有机质方面有差异, 以无机化肥减氮 15% 配施腐植酸处理即 T5 的效果最好, T5 的土壤有机质含量较 T4、T6 分别高 1.29%、1.17%。

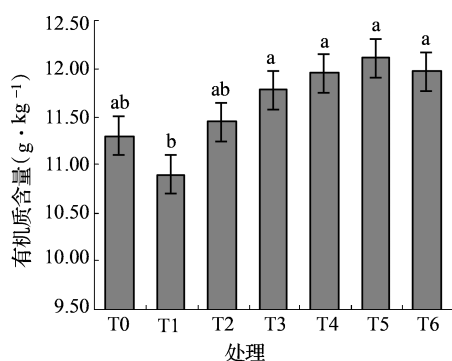
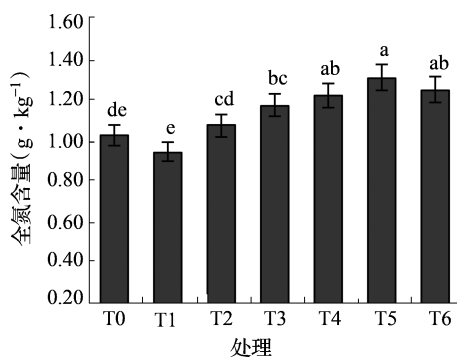


图2 不同施肥处理对土壤有机质含量的影响



2.3 腐植酸与氮肥配施对土壤全氮和碱解氮的影响

由图 3 可知, 各施肥处理的土壤氮素含量的变化趋势整体呈现为: 无机化肥配施腐植酸高于单施无机化肥氮磷钾即常规施肥, 单施无机化肥氮磷钾高于不施氮肥即单施磷钾肥。各施肥处理除单施磷钾肥处理外, 即 T2、T3、T4、T5 和 T6 的土壤氮素含量均较 T0 (碱解氮 $69.97 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全氮 $1.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 有明显提高。但试验开展 2 年后, T2、T3、T4、T5 和 T6 的土壤全氮含量较 T0 提高了 $0.05 \sim 0.29 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$; T2、T3、T4、T5 和 T6 的土壤碱解氮含量较 T0 提高了 $0.64 \sim 7.57 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。T4、T5、T6 土壤碱解氮和全氮含量较 T2 分别高 15.40% 和 3.43%、9.82% 和 21.76%、6.62% 和 16.20%, 差异均达到了显著水平 ($P < 0.05$); 分别较 T1 高 11.80% 和 28.95%、16.49% 和 38.42%、13.10% 和 32.11%, 差异均达到了显著水平 ($P < 0.05$); 分别较 T3 高 3.27% 和 3.81%、7.60% 和 11.44%、4.47% 和 6.36%。各无机化肥与腐植酸配施处理间对土壤氮素的影响大小有差异, 以无机化肥减氮 15% 配施腐植酸处

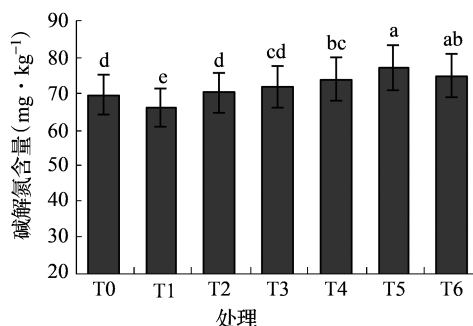


图3 不同施肥处理对土壤全氮和碱解氮含量的影响

理即 T5 的效果最好, T5 的土壤碱解氮和全氮含量较 T4 和 T6 分别高 4.19% 和 7.35%、3.00% 和 4.78%。

2.4 腐植酸与氮肥配施对土壤有效磷的影响

由图 4 可知, 各施肥处理的土壤有效磷含量的变化趋势整体呈现为: 无机化肥配施腐植酸高于单施无机化肥氮磷钾即常规施肥, 单施无机化肥氮磷钾高于不施氮肥即单施磷钾肥。各施肥处理除单施腐植酸处理即 T3 土壤有效磷含量显著低于 T0 外, T1、T2、T4、T5 和 T6 的土壤有效

磷含量均较 T0 (试前 $25.73 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 有明显提高, 增加幅度为 $0.10 \sim 0.74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。T4、T5、T6 的土壤有效磷含量分别较 T2 高 0.35%、2.68% 和 0.29%, 分别较 T1 高 0.15%、2.48%、0.097%, 分别较 T3 高 10.39%、12.95%、10.33%, 差异均达到了显著水平 ($P < 0.05$)。各无机化肥与腐植酸配施处理间对土壤有效磷的影响大小有差异, 以无机化肥减氮 15% 配施腐植酸处理即 T5 的效果最好, T5 的土壤有效磷含量较 T6 和 T4 分别高 2.38% 和 2.32%。

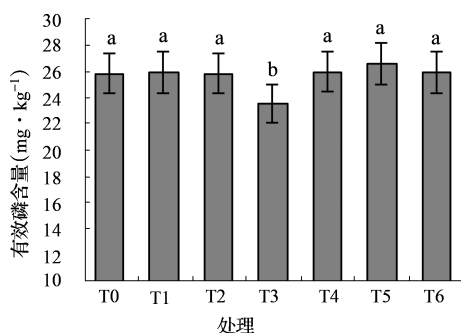


图4 不同施肥处理对土壤有效磷含量的影响

2.5 腐植酸与氮肥配施对土壤速效钾的影响

从图5中可以看出,各施肥处理对土壤速效钾含量均有较大影响,整体表现为:无机化肥配施腐植酸高于单施无机化肥氮磷钾即常规施肥,单施无机化肥氮磷钾高于不施氮肥即单施磷钾肥。各施肥处理除单施腐植酸处理即T3外,其它施肥处理即T1、T2、T4、T5和T6的土壤速效钾含量均较试前土壤T0(84.25 mg · kg⁻¹)有明显提高,提高幅度为3.08 ~ 4.94 mg · kg⁻¹。T4、T5、T6的土壤速效钾含量较T2分别高0.58%、1.84%、0.32%,分别较T1高0.86%、2.13%、0.60%,分别较T3高7.28%、8.62%、7.00%,差异均达到了显著水平($P<0.05$)。各施肥处理间对土壤速效钾的影响大小不同,其中,以无机化肥减氮15%配施腐植酸处理即T5的效果最好,T5的土壤速效钾含量分别较T6和T4高1.52%和1.25%。

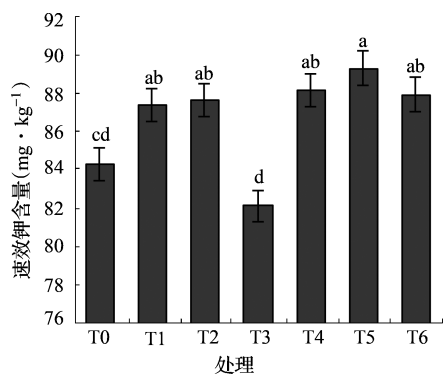


图5 不同施肥处理对土壤速效钾含量的影响

2.6 腐植酸与氮肥配施对土壤 pH 值的影响

从图6中可以看出,各施肥处理的土壤pH值均处在6.5左右。各施肥处理对土壤pH值有较大影响,土壤pH值大小为T5>T6>T4>T3>T0>T2>T1,即无机化肥与腐植酸配施或单施腐植酸处理的土壤pH值均有不同程度的提升,无机化肥与腐植酸配

施好于单施无机化肥氮磷钾,单施无机化肥氮磷钾好于不施氮肥即单施磷钾肥。单施无机化肥处理的土壤pH值较试前土壤T0(pH 6.57)有所降低,其它施肥处理即T3、T4、T5和T6均较试前土壤有所提高,提高幅度为0.01 ~ 0.22个pH单位。T5、T6和T4的土壤pH值较T2分别高4.86%、3.78%和3.09%;分别较T1高7.27%、6.16%和5.45%;分别较T3高3.19%、2.13%和1.44%;各施肥处理间对土壤pH值的影响大小不同,其中,以无机化肥减氮15%配施腐植酸处理即T5的效果最好,T5的土壤pH值分别较T4和T6高1.72%和1.04%。

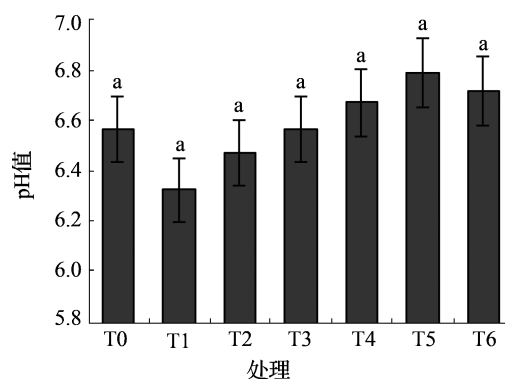


图6 不同施肥处理对土壤 pH 值的影响

3 讨论

在农业生产中,土壤理化性状是判断土壤肥力高低的主要依据,土壤理化性状对作物的生长发育具有重要影响^[10-11]。同时,土壤理化性状也是一个动态的过程,随着耕作、栽培和施肥等生产以及作物产量水平等不同不断发生变化^[12-17]。

3.1 减氮配施腐植酸对土壤容重的影响

土壤容重受农业生产的影响较大,与耕作栽培管理水平、土壤结构状况、土壤质地以及土壤有机质含量有密切关系,是土壤物理性质的关键指标。众多研究显示^[18-21],腐植酸具有改良培肥土壤的效果,风化煤等腐植酸施入土壤有利于土壤微团聚体的形成,能有效改善土壤的孔隙状况,降低土壤容重,疏松土壤,有利于土壤微生物活性的提升,改善土壤的理化性状。本研究结果显示,腐植酸施入土壤可以增加土壤孔隙度,有效降低土壤容重,大幅度改善土壤物理性质。其中,以无机化肥配施腐植酸最佳,其次依次分别为单施腐植酸、无机化肥氮磷钾即常规施肥和单施磷钾肥即不施氮

肥。随着试验的开展,土壤容重随着腐植酸施用量的加大而逐渐降低。减氮 15% 配施腐植酸处理即 T5 的土壤容重最低,2017 ~ 2019 年,3 年的土壤容重均值较试前土壤降低了 $0.075 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,这与上述研究结果一致。本研究还显示,无论哪种施肥方式,通过施肥后土壤容重都有所降低。王改兰等^[22]研究结果显示,与不施肥相比,单施化肥也能改善土壤的物理性质,如土壤容重、土壤孔隙度等;但是单施化肥与试前土壤相比,其不利于土壤物理结构的形成,且有造成损害的趋势,这与本研究结果不符。具体原因还有待进一步探索研究。

3.2 减氮配施腐植酸对土壤有机质的影响

本研究结果表明,单施腐植酸不能提升土壤碱解氮、土壤有效磷、土壤速效钾的含量,但能有效提升土壤有机质的含量,这一结论与周鑫斌等^[23]的研究相符。众多研究表明^[24-26],长期不合理施肥会引起土壤有机质含量明显下降,无机化肥配施有机肥有利于土壤养分的提升,尤其是能明显提升土壤有机质含量。陆欣^[27]研究显示,腐植酸能与氮肥结合发生生化作用,能有效提升土壤肥力。陈伏生等^[28]研究显示,风化煤腐植酸能有效提升土壤的养分含量,如土壤有机质、土壤氮素、土壤有效磷和土壤速效钾等,但风化煤的效果稍差于泥炭。张青等^[21]研究表明,腐植酸能明显提升土壤有机质和其它速效养分。本研究与上述研究结果一致。

3.3 减氮配施腐植酸对土壤养分的影响

陆欣等^[29]和张宏伟等^[30]研究表明,腐植酸对于培肥改良土壤具有重要作用,能有效提升土壤速效养分的含量,特别是对提高土壤碱解氮、土壤有效磷、土壤速效钾含量等具有显著作用。这可能是与腐植酸富含各类官能团有关,这些官能团能与土壤中富含氮磷钾营养元素的阳离子形成络合物,减少土壤氮素的各种损失,抑制土壤对磷和钾的固定,能使土壤释放出较多的无效态磷钾,提升土壤速效养分的含量。本研究结果表明,无机化肥氮、磷、钾的科学合理配施在某种程度上也有利于土壤碱解氮、土壤有效磷、土壤速效钾含量的增加,但这种效果远不及无机化肥配施腐植酸,无机化肥配施腐植酸优于单施无机化肥氮磷钾。腐植酸与无机化肥配施能促进二者的协同效应,其中,以化肥减氮 15%

配施腐植酸处理即 T5 最佳,这与上述研究较为相似。

本研究显示,常规施肥即单施无机化肥处理的土壤氮素含量提升不明显,说明在本研究区域内,冬小麦-夏玉米轮作制度下无机化肥能维持或提升土壤的氮素水平。而不施氮处理的土壤氮素含量较低,均低于试前土壤,说明不施氮的处理或许由于农作物收获物携带或氮素的转化,造成了土壤中氮素含量的下降。而无机化肥配施腐植酸能有效提升土壤氮素含量,在土壤中有较高的土壤氮素净残留,有利于土壤氮素的积累,但是,减氮配施腐植酸中的减氮量要适宜。

无机化肥配施腐植酸能明显提高土壤磷的有效性,这或许是由于腐植酸与磷结合后形成了形态较为稳定的络合物,含磷络合物降低了土壤对磷的固定,同时加快了无机磷的溶解。本研究结果表明,腐植酸施入土壤可以有效调节土壤的酸碱度,使土壤 pH 值始终处于有益于土壤微生物生长的范围内,并激发微生物的生化活性,使土壤保持在有利于作物生长发育的状况。在各施肥处理中,以无机化肥配施腐植酸的处理最佳,这可能是由于无机化肥与腐植酸结合后,促进了腐植酸释放酸性离子,进一步激发了腐植酸对土壤的缓冲性能的作用。无机化肥配施腐植酸,尤其是减氮配施腐植酸能有效提升土壤有机质、土壤全氮、土壤碱解氮、土壤有效磷和土壤速效钾等养分含量,并有效改善土壤的酸碱度,这均与腐植酸富含多种官能团有关^[31-33]。有关腐植酸为何与氮肥配施更能发挥作用仍需进一步研究。

4 结论

腐植酸与氮肥配施可以有效降低土壤容重,增加土壤孔隙度,改善土壤的物理性质,提高土壤的有机质、土壤全氮、土壤碱解氮、土壤有效磷和土壤速效钾含量,调节土壤的 pH 值。各施肥处理对土壤理化性质的改善情况总体上表现为:无机化肥配施腐植酸 > 单施腐植酸 > 单施无机化肥氮磷钾即常规施肥 > 单施磷钾即不施氮肥,其中,以常规施肥减氮 15% 配施腐植酸处理即 T5 最佳。T5 的土壤全氮和碱解氮含量较试前土壤分别提升了 27.67% 和 10.81%,且达到了显著水平 ($P < 0.05$); 土壤有效磷含量较试前土壤提高了 2.88%; 土壤速效钾含量较试前土壤提高了 5.87%。

参考文献:

- [1] Erisman J W, Sutton M A, Galloway J, et al. How a century of ammonia synthesis change the world [J]. *Nature Geoscience*, 2008, 1 (1): 636-639.
- [2] 朱兆良, 金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19 (2): 259-273.
- [3] 陈振德, 何金明, 李祥云. 施用腐殖酸对提高玉米氮肥利用率的研究 [J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15 (1): 52-54.
- [4] 张静敏, 刘春生, 叶桂梅, 等. 腐殖酸与无机肥配施对 I-107 欧美杨养分和土壤肥力的影响 [J]. *林业科学*, 2011, 47 (9): 1-4.
- [5] 郝青, 梁亚勤, 刘二保. 腐植酸复混肥对玉米产量及土壤肥力的影响 [J]. *山西农业科学*, 2012, 40 (8): 853-856.
- [6] Kashif A S, Noor M S, Amjad A, et al. Effects of humic acid and crop residues on soil and wheat nitrogen contents [J]. *American Journal of Plant Sciences*, 2014, 5 (9): 1278-1284.
- [7] 王曰鑫, 秦慧娟. 腐植酸的增氮解磷促钾作用 [J]. *腐植酸*, 2008, (4): 27-32.
- [8] 孙建好, 郭天文, 杨思存, 等. 腐殖酸类肥料对小麦 / 大豆大田产量的影响 [J]. *甘肃农业科技*, 2001, (1): 35-36.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第 3 版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 郭俊伟. 土壤容重对夏玉米生长的影响 [J]. *陕西农业科学*, 1996, (4): 25-26.
- [13] 李潮海, 梅沛沛, 王群, 等. 下层土壤容重对夏玉米植株养分吸收和分配的影响 [J]. *中国农业科学*, 2007, 40 (7): 1371-1378.
- [14] 邓力超, 薛灿辉, 范连益. 氮磷钾化肥与有机肥不同配比对油菜生长及产量、品质的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2012, (5): 31-34.
- [15] 宋永林, 姚造华, 袁锋明. 不同肥料配施对土壤主要养分含量及作物氮、磷、钾表观利用率的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2002, (3): 23-25.
- [16] 李忠芳, 徐明岗, 张会民, 等. 长期不同施肥模式对我国夏玉米产量可持续性的影响 [J]. *玉米科学*, 2009, 17 (6): 82-87.
- [17] 蔡泽江, 孙楠, 王伯仁, 等. 长期施肥对红壤 pH、作物产量及氮、磷、钾养分吸收的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17 (1): 71-78.
- [18] 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.
- [19] 丁砚民. 利用风化石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.
- [20] 赵东彦, 王海平. 夏玉米秸与风化石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.
- [21] 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.
- [22] 王改兰, 段建南, 贾宁凤, 等. 长期施肥对黄土丘陵区土壤理化性质的影响 [J]. *水土保持学报*, 2006, 20 (4): 82-85.
- [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] 周广业, 阎龙翔. 长期施用不同肥料对土壤磷素形态转化的影响 [J]. *土壤学报*, 1993, 30 (4): 443-446.
- [25] Gregorich E G, Beare M H, Stocklas U, et al. Biodegradability of soluble organic matter in maize cropped soils [J]. *Geoderma*, 2003, 113: 237-252.
- [26] 郑剑英, 吴瑞俊. 陕北坡地长期施肥效应及土壤肥力变化 [J]. *水土保持通报*, 1995, 15 (5): 14-18.
- [27] 陆欣. 煤炭腐植酸脲酶抑制剂应用效果研究 [J]. *腐植酸*, 1994, (4): 10-14.
- [28] 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.
- [29] 陆欣, 王申贵. 应用腐植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.
- [30] 张宏伟, 陈港, 唐爱民, 等. 腐植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.
- [31] Adam J, Franciszek C, Maria J, et al. Electron paramagnetic resonance (EPR) studies on stable and transient radicals in humic acids from compost, soil, peat and brown coal [J]. *Speetree himica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2000, 56 (2): 379-385.
- [32] Peuravuori J, Zbankova P, Pihlaja K. Aspects of structural features in lignite and lignite humic acids [J]. *Fuel Proc Techn*, 2006, 87 (9): 829-839.
- [33] 林丽娜, 黄青, 廉菲, 等. 腐植酸及 pH 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.

Effects of combined application of humic acid and reducing N fertilizer on soil physical and chemical properties

LIU Can-hua¹, YUAN Tian-you¹, YAN Jun-ying¹, MENG Fan-hua¹, SUN Xiao-mei^{1*}, ZHANG Shui-qing² (1. Henan Soil and Fertilizer Station, Zhengzhou Henan 450008; 2. Institute of Plant Nutrition and Environmental Resources Sciences, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou Henan 450002)

Abstract: In order to evaluate the effects of combined application of humic acid and reducing fertilizer nitrogen on the physical and chemical properties of soil for realizing the rational use of fertilizer, the experiment was conducted to study the effects of combined application of humic acid and nitrogen fertilizers on the physical and chemical properties of soil in yellow cinnamon soil region of Southern Henan. Six treatments were set up: no N fertilizer, conventional fertilization, single humic acid (3 000 kg · hm⁻²), humic acid (3 000 kg · hm⁻²) + conventional fertilization, humic acid (3 000 kg · hm⁻²) +conventional fertilization and nitrogen reduction 15%, humic acid (3 000 kg · hm⁻²) +conventional fertilization and nitrogen reduction 30%. The results showed that combined application of humic acid and nitrogen fertilizers effectively improved the physical and chemical properties of soil. Among them, the effect of conventional fertilization and reducing nitrogen 15%+humic acid 3 000 kg · hm⁻² treatment was the best. The soil bulk density of T5 treatment was the lowest, which was significantly lower than that of other treatments (0.73% ~ 4.91%) ($P<0.05$); However, the soil organic matter content, nitrogen content, available phosphorus content and available potassium content of T5 treatment were the highest. Compared with conventional fertilization, soil organic matter increased by 4.58%, soil total nitrogen and alkali-hydrolyzable nitrogen content increased significantly by 21.76% and 9.82% ($P<0.05$), soil available phosphorus increased by 2.68%, and the content of soil available potassium increased by 1.84%. While there was no significant difference in pH value among different treatments ($P>0.05$). Therefore, the conventional fertilization and nitrogen reducing 15%+humic acid is the best fertilization mode in the study area. This mode can be beneficial to resource saving and environment protection and high-quality development of agriculture.

Key words: nitrogen fertilizers; humic acid; soil bulk density; soil organic matter; soil nutrient