

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.20123

秸秆还田条件下尿素与腐植酸配施对玉米养分吸收、土壤养分及酶活性的影响

孙海燕, 牡丹凤, 马 倩, 郭 伟*

(黑龙江八一农垦大学农学院 / 黑龙江省现代农业栽培技术与
作物种质改良重点实验室, 黑龙江 大庆 163319)

摘 要: 出苗至拔节期是东北地区春玉米根系建成与秸秆腐解的旺盛时期, 两者的协调关系不仅显著影响土壤养分的积累、转化与吸收, 也是保障玉米幼苗质量的重要因素。以调节土壤酶活性、活化土壤养分为切入点, 通过盆栽试验研究玉米秸秆配施氮素及腐植酸对土壤酶活性、土壤养分含量及玉米养分吸收的影响, 从而协调秸秆腐解与玉米生长的养分竞争。结果表明: 施入秸秆使玉米拔节期 5 ~ 10 cm 土层土壤脲酶、酸性磷酸酶和蔗糖酶活性分别降低了 20.8%、16.1% 和 9.7%, 对 10 ~ 15 cm 土层土壤酶活性影响较小; 植株全氮含量和干物质积累分别降低了 13.3% 和 28.6%。秸秆配施尿素或腐植酸可不同程度提高土壤酸性磷酸酶活性, 降低蔗糖酶活性; 促进土壤有效磷和速效钾的积累; 增加植株全氮和全磷的含量。秸秆同时配施尿素和腐植酸使土壤酸性磷酸酶活性进一步提高了 36.6%, 脲酶和蔗糖酶活性分别降低了 11.0% 和 39.2%; 土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量增加了 15.8%、185.6% 和 45.8%; 植株的全氮和全钾含量分别增加了 42.9% 和 25.7%; 玉米拔节期植株干重与对照无显著差异。秸秆配施尿素和腐植酸有效缓解了秸秆直接还田对玉米幼苗干物质积累的不利影响, 增加了土壤养分的积累, 促进植株氮和钾的吸收。

关键词: 玉米秸秆; 腐植酸; 氮素; 土壤酶; 矿质养分

东北黑土区是世界三大黑土区之一, 是中国最主要的商品粮生产基地, 也是因作物秸秆焚烧而引发的霾污染多发和重发区域^[1], 秸秆禁烧及其综合利用已成为国家及地方政府重点关注问题^[2]。作物秸秆是一类富含氮、磷、钾及有机质养分的可再生物质资源, 将秸秆及残茬作为肥料还田是目前东北地区秸秆利用最主要方式, 也是解决黑土地退化修复的重要途径之一^[3]。秸秆还田可以改变土壤的物理性状^[4], 活化土壤酶^[5], 增加土壤速效养分^[6], 为作物生长提供矿质养分, 尤其是秸秆粉碎翻压还田, 提高了土壤速效养分的含量, 促进了玉米生长和籽粒产量的形成, 其效果较秸秆覆盖还田效果更显著^[5, 7-8]。然而, 秸秆翻埋还田后, 在土壤微生物作用下, 秸秆腐解消耗氮素, 在没有适当

氮素补充的情况下, 易造成土壤碳氮比失调及作物幼苗生长“争氮”现象^[9], 尤其在秸秆腐解旺盛时期^[10], 这不利于作物生长, 造成作物当季经济产量降低^[11]。因此, 在秸秆还田过程中增加氮素的施用, 减少氮素竞争成为秸秆还田的必需配套措施。秸秆还田配施氮肥不但利于秸秆的腐解, 增加土壤的供氮能力, 同时合理的氮素配施还有助于提高作物的氮素利用效率^[12]。但氮素施用量过量同样会造成作物产量的降低, 秸秆还田情况下作物产量与施氮量呈抛物线关系^[4, 6]。秸秆-氮素-作物系统的氮素供应、利用和转化关系受到土壤理化特性的综合影响, 因此, 通过改变土壤的理化特性来调节氮素的输入输出平衡是秸秆还田条件下配套施肥的核心^[13]。秸秆还田同时配施有机肥^[14]、配方化肥^[15]等措施, 可以改善土壤的理化特性, 降低秸秆腐解与作物生长的“竞争”, 同步提高作物生长质量, 成为近几年来技术研究热点。腐植酸类物质作为土壤改良剂, 可以较好地使土壤颗粒团聚在一起, 形成良好的团粒结构, 改善土壤的通透性^[16]。施用煤炭腐植酸能够显著提高土壤含水率, 显著降低土壤体积质量^[17]。为此, 针对东北地区玉米秸秆还田质

收稿日期: 2020-03-11; 录用日期: 2020-05-12

基金项目: 国家重点研发计划课题 (2017YFD0300502); 国家科技重大专项和重点研发项目 (课题) 省级资金资助课题 (GX18B040)。

作者简介: 孙海燕 (1979-), 女, 内蒙古赤峰人, 副教授, 博士, 研究方向为植物营养与生理。E-mail: shysun7908@126.com。

通讯作者: 郭伟, E-mail: agrigw@163.com。

量参差不齐,甚至影响玉米产量的问题,研究在玉米秸秆还田情况下,通过配施外源腐植酸和氮素,改善土壤理化特性,尤其是在玉米拔节期这个秸秆腐解旺盛与作物快速生长的关键时期,缓解秸秆腐解与玉米生长两者的竞争,为该地区全面推行秸秆还田技术提供理论和技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点与供试材料

试验于2018~2019年度在黑龙江省大庆市黑龙江八一农垦大学农学院校园试验盆栽场,采用盆栽方式进行。土壤类型为草甸黑土,土壤有机质 $18.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $58.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效磷

$10.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $101.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、pH 8.4。试验用玉米品种为郑单 958。试验用氮素为尿素(N 46%),腐植酸为四川西亚化工有限公司购置的 BR 级化学试剂,黄腐酸含量 $\geq 90\%$ 。

1.2 试验设计

盆栽试验采用容器为高 25 cm、直径 22 cm 的塑料圆桶,每盆装风干土 7.5 kg。秸秆采用田间收获后自然风干的玉米植株粉碎样(过 1 mm 筛),按照试验设计(表 1),2018 年 10 月 16 日将秸秆粉碎样与尿素及 0.5 kg 土壤混合后施入到盆内表土以下 5 cm 处。2019 年 5 月 11 日将玉米种子播到盆内表土以下 3 cm 处,每盆播种 3 粒种子,出苗后间苗保留 2 株。根据土壤干湿程度定量灌溉,每个处理重复 4 次。

表 1 试验处理

($\text{g} \cdot \text{盆}^{-1}$)

处理组合	S1N1HA1	S1N0HA1	S1N1HA0	S1N0HA0	S0N1HA1	S0N0HA1	S0N1HA0	S0N0HA0
施入粉碎秸秆量	25	25	25	25	0	0	0	0
施入腐植酸量	10	10	0	0	10	10	0	0
施入尿素量	0.2	0	0.2	0	0.2	0	0.2	0

注: S1: 施秸秆 $25 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$, S0: 未施秸秆; N1: 施尿素 $0.2 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$, N0: 未施尿素; HA1: 施腐植酸 $10 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$, HA0: 未施腐植酸。

1.3 测定项目与方法

玉米拔节期,用直径 5 cm 土钻距植株 5 cm 处取土壤,按照深度 5~10 和 10~15 cm 土层分别混合土样,自然风干后粉碎研磨测定土壤脲酶、酸性磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性以及土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量。取土样的同期取玉米植株,植株地上部分在烘箱内 110°C 杀青 1 h 后 80°C 烘干至恒重,冷却至室温后称重(折合为单株干重),粉碎后测定全氮、全磷和全钾含量。

土壤脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法、磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法、蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定,土壤过氧化氢酶活性采用紫外分光光度法测定^[18]。土壤碱解氮采用碱解扩散法、有效磷采用钼锑抗比色法、速效钾采用火焰光度法测定。植株全氮含量采用凯氏定氮法测定,全磷和全钾含量利用 ICP-MS 测定。

1.4 数据处理与分析方法

利用 WPS 进行数据处理、分析及绘图,SPSS 25.0 软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 尿素与腐植酸配施对玉米干物质积累的影响

由表 2 可知,施入秸秆各处理的单株干重(平

均值 $0.914 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$)均低于不施入秸秆的相同处理(平均值 $1.280 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$),平均降低了 28.6%;不施入秸秆单独施用尿素或腐植酸处理的单株干重增加了 16.4% 或 15.4%,两者同时施用则显著增加了 73.5%。秸秆与尿素配施处理的单株干重较单独施入秸秆处理增加了 17.4%,与不施秸秆的对照相当;而秸秆与腐植酸配施处理的单株干重较单独施入秸秆处理略有降低,较对照降低了 16.0%;秸秆同时配施氮素和腐植酸处理的单株干重增加了 7.1%,较对照降低了 8.7%,差异均不显著。可见,尿素对玉米单株干物质积累的影响大于腐植酸,且两者同施具有互作效应。

表 2 尿素与腐植酸配施对拔节期玉米单株干重的影响

($\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$)

处理组合	N1HA1	N0HA1	N1HA0	N0HA0	平均
施入秸秆(S1)	0.925b	0.851b	1.014b	0.864b	0.914
不施入秸秆(S0)	1.758a	1.169b	1.179b	1.013b	1.280

注:数据后字母为处理组合间比较的差异显著性,差异显著水平 5%,下同。

2.2 尿素与腐植酸配施对玉米养分含量的影响

由图 1 可知,秸秆的施入导致玉米植株全氮含量降低了 13.3%;不施入秸秆单独施用尿素或腐植

酸处理的植株全氮含量与对照无显著差异,而两者同时施用处理的植株全氮含量增加了 21.9%。秸秆与尿素或腐植酸配施处理的植株全氮含量较单独施入秸秆处理显著增加了 26.4% 或 37.4%,较对照增加了 9.5% 或 19.0%;秸秆同时配施尿素和腐植酸处理的植株全氮含量较单独施入秸秆显著增加了 42.9%,较对照增加了 23.8%。

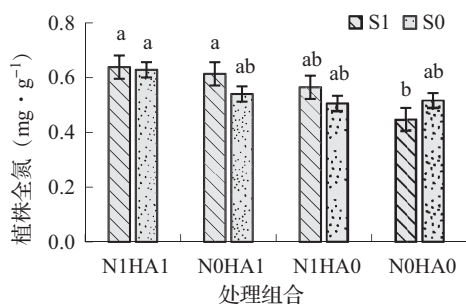


图1 尿素与腐植酸配施对玉米植株全氮含量的影响

注:图中字母为不同处理组合间比较的差异显著性,差异显著水平为5%,下同。

由图2可知,秸秆的施入使玉米植株全磷含量增加了 10.2%,不施入秸秆单独施用腐植酸处理的植株全磷含量增加了 13.6%,而单独施用尿素几乎不影响植株全磷含量;同时施用腐植酸和尿素植株全磷含量增加了 10.8%。秸秆配施尿素处理的植株全磷含量增加了 16.4%,较对照增加了 28.3%;而单独施用腐植酸影响很小,秸秆配施腐植酸处理的植株全磷含量增加了 8.5%;秸秆同时配施腐植酸和尿素处理的植株全磷含量较单独施用秸秆降低了 21.2%,较对照降低了 13.2%。

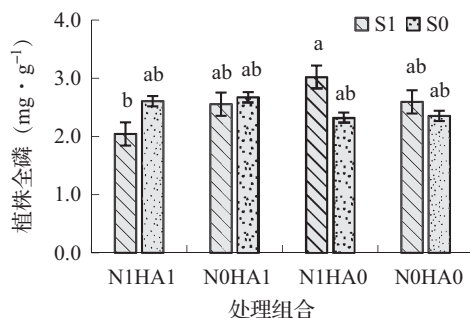


图2 尿素与腐植酸配施对玉米植株全磷含量的影响

由图3可知,施入秸秆玉米植株全钾含量增加了 11.0%;不施入秸秆单独施用尿素、腐植酸处理的植株全钾含量增加了 24.7% 和 5.7%,而两者同时施用处理的植株全钾含量增加了 24.2%。秸秆与尿素或腐植酸配施处理的植株全钾含量较单独施入

秸秆处理的变幅均 <5.0%,较对照增加了 14.8% 或 6.6%;秸秆同时配施尿素和腐植酸处理的植株全钾含量较单独施入秸秆显著增加了 25.7%,较对照显著增加了 39.5%。

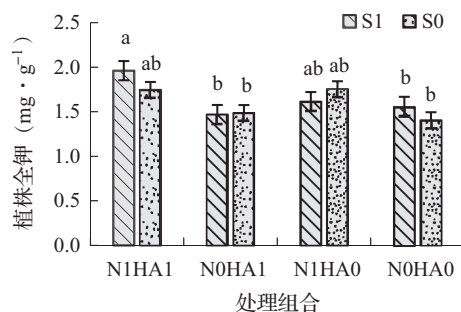


图3 尿素与腐植酸配施对玉米植株全钾含量的影响

秸秆与尿素、腐植酸配施具有显著的互作效应,秸秆配施尿素或腐植酸均可增加植株的氮素和磷素吸收;而秸秆同时配施尿素和腐植酸时植株全氮和全钾含量最高,植株全磷含量最低。

2.3 尿素与腐植酸配施对土壤养分和酶活性的影响

由图4可知,单独施入秸秆或尿素有增加土壤碱解氮含量的趋势;单独施用腐植酸有降低土壤碱解氮含量的趋势;同时施用尿素和腐植酸土壤碱解氮含量较对照降低了 21.0%。秸秆配施尿素较单独施入秸秆处理土壤碱解氮含量增加了 10.5%;配施腐植酸对碱解氮含量影响很小;同时配施尿素和腐植酸处理碱解氮含量增加了 15.8%,较对照增加了 21.0%。

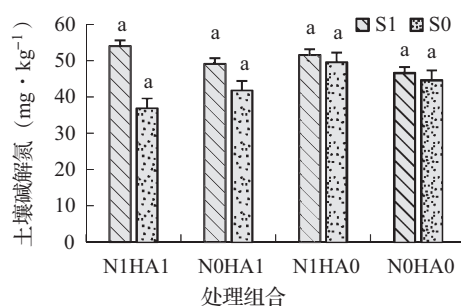


图4 尿素与腐植酸配施对土壤碱解氮含量的影响

施用秸秆土壤有效磷含量增加了 28.8%(图5);单独施用尿素、腐植酸处理的土壤有效磷含量分别增加了 15.9% 和 318.9%,两者同时施用处理土壤有效磷含量显著增加了 323.5%。秸秆配施尿素、腐植酸处理的土壤有效磷含量较单独施用秸秆处理

增加了 58.7% 和 90.4%；秸秆同时配施尿素和腐植酸处理土壤有效磷显著增加了 185.6%，较对照显著增加了 267.9%。

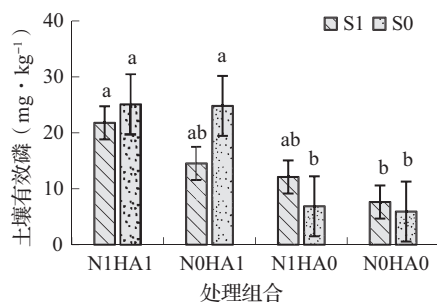


图 5 尿素与腐植酸配施对土壤有效磷含量的影响

施用秸秆土壤速效钾含量增加了 10.1% (图 6)；单独施用尿素处理的土壤速效钾含量降低了 17.5%，单独施用腐植酸及同时施用尿素和腐植酸影响不显著。秸秆配施尿素、腐植酸处理的土壤速效钾含量较单独施用秸秆处理增加了 12.7% 和 29.9%，较对照分别显著增加了 24.0% 和 43.0%；秸秆同时配施尿素和腐植酸处理土壤速效钾含量较单独施用秸秆显著增加了 45.8%，较对照显著增加了 60.5%。

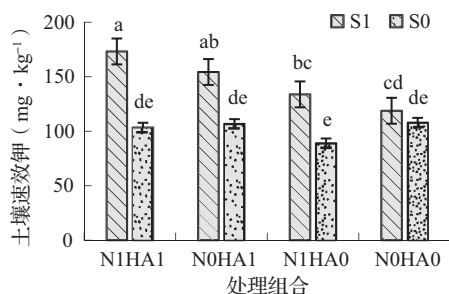


图 6 尿素与腐植酸配施对土壤速效钾含量的影响

施用秸秆后土壤脲酶活性降低 (图 7)，5 ~ 10 与 10 ~ 15 cm 土层脲酶活性较对照分别降低了 20.8% 和 11.4%。不施用秸秆情况下，施用尿素对脲酶活性无明显影响；施用腐植酸降低了土壤脲酶活性，5 ~ 10 与 10 ~ 15 cm 土层脲酶活性分别降低了 27.0% 和 23.9%；同时施用腐植酸和尿素可提高脲酶活性，5 ~ 10 与 10 ~ 15 cm 土层脲酶活性较对照分别增加了 17.6% 和 29.9%。秸秆配施尿素 5 ~ 10 与 10 ~ 15 cm 土层脲酶活性较单独施用秸秆处理分别增加了 11.8% 和 9.4%；秸秆配施腐植酸处理的土层脲酶活性则分别降低了 11.0% 和 18.6%；秸秆同时配施尿

素和腐植酸处理的土壤脲酶活性与单独施用秸秆处理间无明显差异，较对照分别降低了 19.7% 和 16.4%。

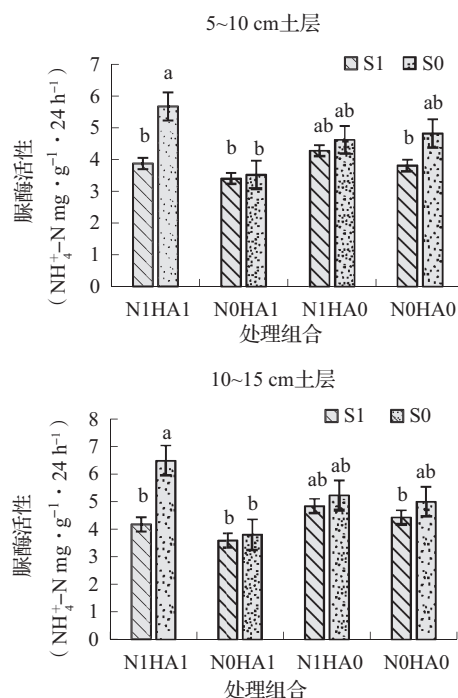


图 7 尿素与腐植酸配施对土壤脲酶活性的影响

磷酸酶是土壤中促进有机磷素水解的关键酶。由图 8 可知，施用秸秆后 5 ~ 10 cm 土层的土壤酸性磷酸酶活性降低了 16.1%，10 ~ 15 cm 土层的酸性磷酸酶活性提高了 7.9%。不施用秸秆情况下，施用尿素 5 ~ 10 与 10 ~ 15 cm 土层酸性磷酸酶活性分别降低了 11.6% 和 10.6%；施用腐植酸则酸性磷酸酶活性分别降低了 25.5% 和 15.1%；同时施用尿素和腐植酸，10 ~ 15 cm 土层的酸性磷酸酶活性增加了 18.8%。秸秆配施尿素 5 ~ 10 cm 土层的土壤酸性磷酸酶活性增加了 25.7%，对 10 ~ 15 cm 土层的酸性磷酸酶活性无影响；秸秆配施腐植酸 5 ~ 10 与 10 ~ 15 cm 土层的酸性磷酸酶活性分别提高了 38.8% 和 15.5%；秸秆同时配施尿素和腐植酸处理的两个土层酸性磷酸酶活性分别提高了 36.6% 和 21.8%。

土壤蔗糖酶活性反映了土壤中有机碳积累与分解转化的情况，对土壤中可溶性营养物质含量有重要作用。由图 9 可知，施用秸秆处理 5 ~ 10 与 10 ~ 15 cm 土层的土壤蔗糖酶活性较对照分别降低了 9.7% 和 3.4%。在不施秸秆情况下，施用尿素对蔗糖酶活性影响很小；施用腐植酸 5 ~ 10

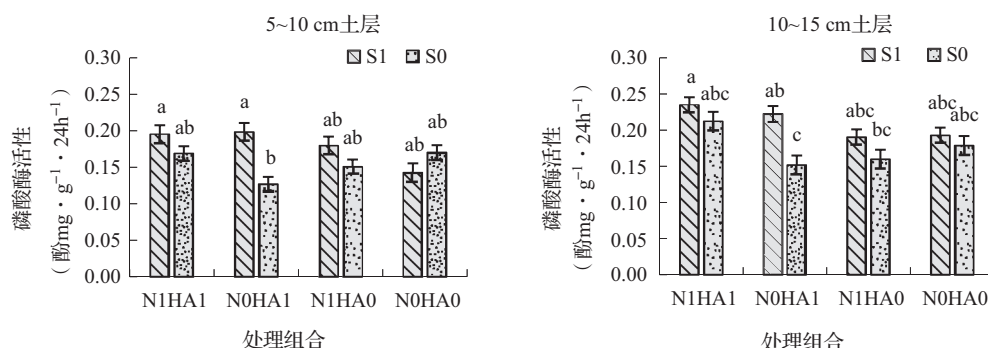


图8 尿素与腐植酸配施对土壤酸性磷酸酶活性的影响

与10 ~ 15 cm土层的土壤蔗糖酶活性较对照分别降低了10.9%和6.7%;同时施用尿素和腐植酸处理5 ~ 10 cm土层的蔗糖酶活性增加了21.9%,对10 ~ 15 cm土层的蔗糖酶活性没有明显影响。秸秆配施尿素处理5 ~ 10与10 ~ 15 cm土层的土

壤蔗糖酶活性较单独施用秸秆分别降低了9.1%和49.2%;秸秆配施腐植酸处理蔗糖酶活性则分别降低了14.8%和17.8%;秸秆同时配施尿素和腐植酸则分别显著降低了39.2%和50.9%。

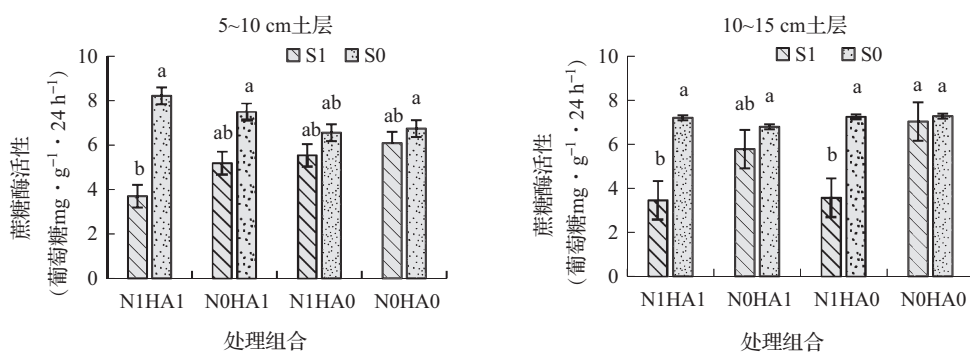


图9 尿素与腐植酸配施对土壤蔗糖酶活性的影响

施入秸秆后5 ~ 10与10 ~ 15 cm土层的土壤过氧化氢酶活性较对照分别显著增加了 H_2O_2 0.55和0.22 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (图10),配施尿素或腐植酸对过氧化氢

酶活性影响不显著,但在不施用秸秆情况下,同时配施腐植酸和尿素则显著提高了土壤过氧化氢酶活性。

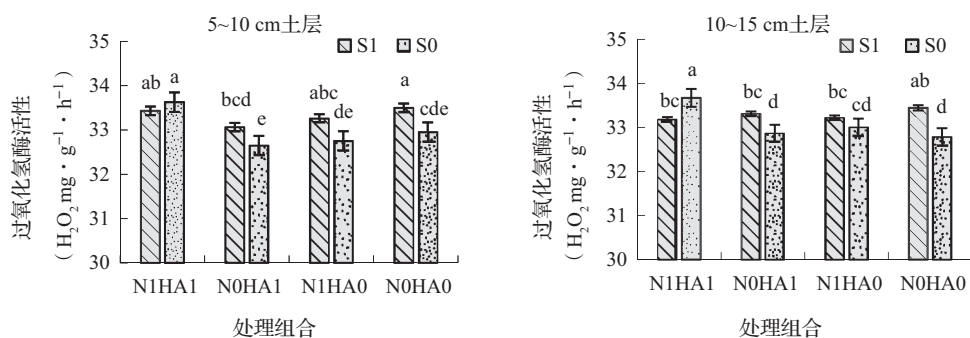


图10 尿素与腐植酸配施对土壤过氧化氢酶活性的影响

3 讨论

3.1 秸秆配施尿素和腐植酸对玉米生长及养分吸收的影响

玉米出苗至拔节期是东北地区春玉米生长与还田秸秆腐解旺盛时期,两者均需要吸收大量土壤营养,尤其是氮素、磷素、有机碳等营养^[10]。秸秆还田增施氮肥则有效缓解了由于“争氮”而使植株生长受到的抑制^[9]。腐植酸是自然界中广泛存在的大分子有机物质,其单独施用或制备成复合肥料施用均可起到提高氮素吸收和利用率,促进玉米生长和产量形成的作用^[15, 17]。本研究发现施入秸秆后玉米植株干重和全氮含量降低,而磷、钾含量增加;秸秆配施尿素或腐植酸可增加干重,促进氮、磷、钾的吸收。但秸秆同时配施尿素和腐植酸则降低了植物全氮、全磷、全钾的含量,植株干重介于单独施用秸秆处理和秸秆与尿素或腐植酸配施处理之间。可能是秸秆与尿素、腐植酸同时施用促进了秸秆的腐解,增加土壤养分,但限制了玉米根系对养分的吸收,从而降低了植株的养分含量。这与土壤养分含量的变化是一致的,秸秆同时配施尿素和腐植酸处理的土壤碱解氮、有效磷和速效钾较秸秆配施尿素或腐植酸处理均有大幅度增加。在松嫩平原黑土区玉米秸秆还田试验也表明,秸秆还田使得玉米苗期植株的氮素含量和吸收积累量降低,至拔节期对植株氮素含量的不利影响消失^[10]。主要是因为玉米秸秆腐解过程中微生物活动吸收土壤中的速效氮,发生与作物争氮的现象^[9]。氮素吸收受阻,影响玉米植株氮的代谢和生长,从而降低了对土壤中速效矿质养分的吸收和积累^[19],出现土壤速效养分积累增加,而作物吸收积累迟后的现象。可见,秸秆还田配施腐植酸和氮素的同时,也应适当调整其他配套技术措施,例如,控制灌溉量^[20]、增加深松等^[21],从而促进幼苗根系生长^[22],提高土壤养分库存的同时增加作物对养分的吸收是保障秸秆还田条件下作物稳产的必要途径。

3.2 秸秆配施尿素和腐植酸对土壤酶活性的影响

土壤酶在土壤养分循环中起着重要作用,其主要是由土壤微生物分泌到土壤中,是评价土壤微生物活性和土壤肥力水平的综合性指标^[23]。施入到土壤中的秸秆为土壤微生物繁殖提供了碳源和氮源,从而提高了土壤酶活性^[24]。玉米秸秆还田配施氮肥增加了土壤微生物量,显著提高土壤脲酶、

蔗糖酶和过氧化氢酶活性^[25]。在土壤中添加腐植酸也具有提高脲酶活性的作用^[26]。但也有研究认为秸秆直接还田和覆盖还田对脲酶活性无显著影响,过腹还田才能提高脲酶活性^[14, 27],甚至室内培养研究也发现土壤脲酶活性降低的现象^[23]。本研究中秸秆还田及配套措施对土壤酶活性的影响,一方面取决于土壤 C/N 值的高低。例如,不施用秸秆情况下,仅施用尿素处理(C/N 降低)的脲酶和蔗糖酶活性与对照间无差异,而玉米秸秆粉碎翻埋或施用腐植酸(C/N 增加)则降低了玉米土壤脲酶和蔗糖酶活性,腐植酸和尿素同施(调节 C/N)可缓解脲酶活性的降低,增加了蔗糖酶活性。可见,脲酶和蔗糖酶的活性可能受土壤 C/N 值升高的诱导。脲酶活性的变化也可能受秸秆腐解过程尿素释放的影响,因为土壤无机氮含量过低导致脲酶活性降低^[23],而铵态氮含量过高也会抑制土壤脲酶活性^[28],腐植酸的配施降低了土壤脲酶活性,减少了秸秆腐解过程中氨的排放^[29]。另一方面,土壤酶活性还受到施入物质本身的作用。例如,在单独施入秸秆、尿素、腐植酸后土壤的酸性磷酸酶和蔗糖酶活性均有不同程度的降低,而秸秆、尿素、腐植酸中两者配施或三者同时施用时酸性磷酸酶活性则明显提高,但秸秆配施尿素或腐植酸土壤蔗糖酶活性均降低。

4 结论

草甸黑土上秸秆还田减少了拔节期植株干物质积累,并降低了植株全氮含量及土壤脲酶、酸性磷酸酶和蔗糖酶活性。秸秆配施尿素或腐植酸可提高土壤酸性磷酸酶活性,降低蔗糖酶活性,提高了土壤有效磷和速效钾含量,促进了植株对氮和磷的吸收。秸秆同时配施尿素和腐植酸进一步提高了土壤酸性磷酸酶活性,降低了脲酶和蔗糖酶活性,增加了土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量,促进了植株对氮和钾的吸收。秸秆还田配施尿素和腐植酸缓解了秸秆直接还田对拔节期玉米植株干物质积累的抑制,提高了土壤有效养分及植株全氮和全钾含量。

参考文献:

- [1] 陈卫卫,刘阳,吴雪伟,等. 东北区域空气质量时空分布特征及重度污染成因分析[J]. 环境科学, 2019, 40(11): 4810-4823.

- [2] 王红彦, 王飞, 孙仁华, 等. 国外农作物秸秆利用政策法规综述及其经验启示 [J]. 农业工程学报, 2016, 32 (16): 216-222.
- [3] 汪景宽, 李双异, 张旭东, 等. 20 年来东北典型黑土地区土壤肥力质量变化 [J]. 中国生态农业学报, 2007, 15 (1): 19-24.
- [4] 白伟, 逢焕成, 牛世伟, 等. 秸秆还田与施氮量对春玉米产量及土壤理化性状的影响 [J]. 玉米科学, 2015, 23 (3): 99-106.
- [5] 刘玮斌, 田文博, 陈龙, 等. 不同秸秆还田方式对土壤酶活性和玉米产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2019 (5): 25-29.
- [6] 张鑫, 隋世江, 刘慧颖, 等. 秸秆还田下氮肥用量对玉米产量及土壤无机氮的影响 [J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31 (3): 279-284.
- [7] 王月宁, 冯朋博, 李荣, 等. 不同秸秆还田方式对宁夏扬黄灌区土壤性质及玉米生长的影响 [J]. 西南农业学报, 2019, 32 (1): 2607-2614.
- [8] Dikgwatlhe S D, Chen Z D, La R, et al. Changes in soil organic carbon and nitrogen as affected by tillage and residue management under wheat-maize cropping system in the North China Plain [J]. Soil & Tillage Research, 2014, 144: 110-118.
- [9] Trinsoutrot I, Recous S, Bentz B, et al. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions [J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64 (3): 918-926.
- [10] 于舒函, 龚振平, 马春梅, 等. 秸秆还田与施氮肥对松嫩平原玉米氮素吸收及产量的影响 [J]. 玉米科学, 2017, 25 (4): 129-134.
- [11] 顾焜明, 郑险峰, 黄婷苗, 等. 秸秆还田配施氮肥对冬小麦产量及氮素调控的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31 (5): 48-53, 73.
- [12] Li M, Wang Y, Ding F, et al. Dynamics of maize straw residue ^{13}C incorporation into aggregates of a mollisol as affected by long-term fertilization [J]. Journal of Soils and Sediments, 2019, 19: 1151-1160.
- [13] 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (4): 783-795.
- [14] 孙凯, 刘振, 胡恒宇, 等. 有机培肥与轮耕方式对夏玉米田土壤碳氮和产量的影响 [J]. 作物学报, 2019, 45 (3): 401-410.
- [15] 岳克, 马雪, 宋晓, 等. 新型氮肥及施氮量对玉米产量和氮素吸收利用的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2018 (4): 75-81.
- [16] 王洪凤, 吴钦泉, 谷端银, 等. 风化煤腐植酸对土壤理化性状的影响 [J]. 腐植酸, 2014 (6): 8-12.
- [17] 顾鑫, 任翠梅, 杨丽, 等. 煤炭腐植酸对土壤物理性质及玉米生长发育的影响 [J]. 灌溉排水学报, 2019, 38 (1): 26-30.
- [18] 杨兰芳, 曾巧, 李海波, 等. 紫外分光光度法测定土壤过氧化氢酶活性 [J]. 土壤通报, 2011, 42 (1): 207-210.
- [19] 仇少君, 李宁, 何萍, 等. 典型黑土春玉米化学肥料养分利用效率变化研究 [J]. 中国农业科学, 2019, 52 (16): 2824-2834.
- [20] 马龙, 毛全年, 李强, 等. 泾惠渠灌区秸秆还田条件下夏玉米节水灌溉制度试验 [J]. 节水灌溉, 2016 (3): 15-23.
- [21] 张凯, 刘战东, 强小嫚, 等. 耕作方式和灌水处理对冬小麦-夏玉米水分利用及产量的影响 [J]. 农业工程学报, 2019, 35 (17): 102-109.
- [22] 隋鹏祥, 张文可, 梅楠, 等. 不同秸秆还田方式对春玉米产量、水分利用和根系生长的影响 [J]. 水土保持学报, 2018, 32 (4): 255-261.
- [23] Wu F P, Jia Z K, Wang S G, et al. Contrasting effects of wheat straw and its biochar on greenhouse gas emissions and enzyme activities in a Chernozemic soil [J]. Biology & Fertility of Soils, 2012, 49 (5): 555-565.
- [24] 闫慧荣, 曹永昌, 谢伟. 玉米秸秆还田对土壤酶活性的影响 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2015, 43 (7): 177-184.
- [25] 庞荔丹, 孟婷婷, 张宇飞, 等. 玉米秸秆配氮还田对土壤酶活性、微生物量碳含量及土壤呼吸量的影响 [J]. 作物杂志, 2017 (1): 107-112.
- [26] 王平, 付战勇, 李絮花, 等. 腐植酸对土壤氮素转化及氨挥发损失的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2018 (4): 28-33.
- [27] 程曼, 解文艳, 杨振兴, 等. 黄土旱塬长期秸秆还田对土壤养分、酶活性及玉米产量的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2019, 27 (10): 1528-1536.
- [28] Song Y, Song C C, Mao R, et al. Effect of increased nitrogen availability on soil enzyme performance in wetlands of northeast China [J]. Fresen Environ Bull, 2012, 21 (12): 3959-3965.
- [29] 彭玉净, 田玉华, 尹斌. 添加脲酶抑制剂 NBPT 对麦秆还田稻田氨挥发的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2012, 20 (1): 19-23.

Effects of urea and humic acid on nutrient absorption and soil nutrient, enzymatic activity in maize under straw returning

SUN Hai-yan, DU Dan-feng, MA Qian, GUO Wei* (College of Agriculture, Heilongjiang Bayi Agricultural University/ Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Modern Agricultural Cultivation and Crop Germplasm Improvement, Daqing Heilongjiang 163319)

Abstract: The period from sprout to jointing is the flourishing period of root system construction of spring maize and straw decomposition in northeast China. Coordinative relation between them significantly affects the accumulation, transformation and absorption of soil nutrients, and is an important factor to ensure the quality of maize seedlings. The purpose of this study was to regulate soil enzyme activity and activate soil nutrients, and the effects of urea and humic acid on soil enzyme activity, soil nutrient content and nutrient absorption of plant were studied to coordinate the nutrient competition between straw decomposition and plant growth through pot experiments. The results showed that the activities of urease, acid phosphatase and sucrase were decreased by 20.8%, 16.1% and 9.7%, respectively, in the soil layer of 5 ~ 10 cm, and there was little effect on those in the soil layer of 10 ~ 15 cm at the stage of maize elongation. Total nitrogen content and dry matter accumulation decreased by 13.3% and 28.6%, respectively. The application of urea or humic acid with straw improved the activity of soil acid phosphatase, decreased sucrase activity, promoted the accumulation of available phosphorus and available potassium in soil, and increased total nitrogen and total phosphorus content of plant. Acid phosphatase activity of soil was further increased by 36.6%, urease and sucrase activity decreased by 11.0% and 39.2%, respectively, the contents of alkali hydrolyzed nitrogen, available phosphorus and available potassium were increased by 15.8%, 185.6% and 45.8%, and the contents of total nitrogen and total potassium increased by 42.9% and 25.7%, respectively, by straw with urea and humic acid. There was no significant difference in dry weight of maize in jointing stage. Application of straw with urea and humic acid effectively alleviated the adverse effect of direct straw returning to field on dry matter accumulation of maize seedlings, and increased the accumulation of soil nutrients and the absorption of nitrogen and potassium in plants.

Key words: maize straw; humic acid; nitrogen; soil enzyme; mineral nutrient