

不同活化处理腐植酸-尿素对褐土小麦-玉米产量及有机碳氮矿化的影响^①

刘艳丽¹, 丁方军², 谷端银², 吴钦泉², 张民¹, 李成亮^{1*}

(1 土壤资源高效利用国家工程实验室, 山东农业大学资源与环境学院, 山东泰安 271018;

2 山东省腐植酸高效利用工程技术研究中心, 山东农大肥业科技有限公司, 山东泰安 271000)

摘要: 腐植酸-尿素是一种新型有机无机肥料, 不同活化方式对其肥效的发挥具有重要作用。本研究利用田间定位试验和室内培养试验, 设计不施肥处理(CK)、无机肥处理(U)、腐植酸-尿素直接掺混处理(U+HA1)、腐植酸-尿素硫化活化处理(U+HA2)、腐植酸-尿素硫化加超声波处理(U+HA3), 在褐土上研究不同活化处理腐植酸-尿素肥料对小麦-玉米产量和土壤有机碳氮矿化的影响。结果表明: 施用腐植酸-尿素显著提高小麦-玉米产量, 小麦、玉米产量分别比 U 处理增产 15%~28%、8%~10%, 比 CK 处理增产 63%~81%、55%~57%。U+HA3 处理比 U+HA1 和 U+HA2 处理具有更强的增产效果。土壤养分在不同施肥处理间存在差异, 土壤 NO₃-N 含量的变化趋势为 U+HA1、U+HA3 > U+HA2 > U > CK。土壤 NH₄⁺-N 含量在不同处理间与 NO₃-N 含量具有相似的趋势, 其中 U+HA1 处理土壤 NH₄⁺-N 含量较其他两种腐植酸-尿素处理有显著的降低。施肥处理提高了土壤有效磷、速效钾含量, 但是腐植酸-尿素处理与 U 处理的影响未见差异。腐植酸-尿素处理对土壤有机碳含量未产生显著影响, 但提高了土壤有机碳的矿化速率与累积矿化量, 其中 U+HA3 处理比 U+HA1 和 U+HA2 处理效果明显。土壤有机碳的累积矿化量与作物总产量、土壤速效氮、有效磷、速效钾含量具有显著的正相关关系。与 CK 处理相比, 腐植酸的添加对土壤有机氮矿化比率影响不显著, 但 U 处理土壤有机氮矿化比率显著提高。通过本研究验证腐植酸-尿素肥料比无机肥料具有更强的提高土壤生产力和肥力的作用, 硫化超声波活化处理效果比其他两种活化处理效果显著。硫化超声波活化处理腐植酸-尿素肥料是值得推广的新型肥料, 对丰富肥料资源具有重要作用。

关键词: 腐植酸-尿素; 土壤有机碳氮矿化; 土壤养分; 施肥处理

中图分类号: S158.3

随着人类对粮食需求的增加及肥料利用率的提高, 有机无机肥配合平衡施肥被认为是理想的施肥模式, 它不仅能显著提高土壤的生产力, 还对土壤肥力保持及持续利用具有重要作用^[1-3]。腐植酸-尿素作为一种新型有机无机复合肥料, 是通过腐植酸分子与尿素氮络合作用形成, 减缓了尿素氮的释放速率而提高其利用率^[4-5]。腐植酸的添加增加了土壤有机碳组成对土壤肥力和结构形成具有重要作用。腐植酸的来源为资源丰富价格低廉的风化煤、褐煤、泥炭以及农业废弃物, 具有较高的开发利用价值, 在农业与肥料行业逐渐引起了广泛关注^[6-7]。

腐植酸-尿素肥料肥效的发挥一方面是有有机无机

养分的直接输入促进作物生长, 提高作物产量; 另一方面腐植酸直接参与土壤有机碳氮矿化过程而调节土壤养分平衡。风化煤来源腐植酸-尿素肥料的玉米盆栽试验表明, 与普通尿素相比, 腐植酸-尿素肥料抑制土壤脲酶活性而延长了肥料的供氮时间, 使肥料释氮速率与玉米需氮水平一致, 玉米增产 35%^[8]。来自褐煤的腐植酸不同添加量培养试验表明, 60 mg/kg 土的中等用量对小麦生长和土壤养分含量具有较好的促进作用^[9]。煤粉尘添加的培养试验发现煤粉尘添加提高土壤有机碳含量, 增强土壤有机碳的矿化速率^[10]。已有的研究表明土壤有机碳的矿化潜力与土壤总有机碳、氮磷钾养分含量均具有显著的正相关

基金项目: 教育部博士点基金项目(2012370212003)、山东省自主创新成果转化重大专项(2012ZHZX1A0408)、山东省科学技术发展计划项目(2011GNC11309)和泰安市科技发展计划项目(20123014)资助。

* 通讯作者(chengliang_li11@163.com)

作者简介: 刘艳丽(1976—), 女, 山东聊城人, 博士, 讲师, 主要从事土壤肥力保持方面的研究。E-mail: yanliliu2013@163.com

关系^[11]。土壤矿化过程改善了土壤养分的有效性，促进作物生长使产量提高，同时随着作物收获根茬与秸秆归还土壤而保持土壤有机碳的含量^[12]。

在腐植酸-尿素肥料的研究与推广过程中发现该肥料肥效的发挥与腐植酸的活化程度有关^[13-14]。腐植酸活化使其游离的腐植酸含量增加，提高其农用价值与施用效果。有关不同活化方式腐植酸-尿素肥料的施肥效应还未引起广泛的关注。以往有关腐植酸-尿素施肥效应的研究仅限腐植酸用量的盆栽和培养试验，对于大田试验尚鲜见报道。因此本研究采用直接掺混、硫化与硫化加超声波 3 种不同活化处理的腐植酸-尿素肥料，以不施肥处理和无机肥处理为对照，利用田间定位实验与室内培养实验相结合的方法，研究不同活化处理腐植酸-尿素肥料的施用对小麦-玉米产量及土壤有机碳氮矿化的影响。该研究结果可以明确不同活化处理腐植酸-尿素肥料的施肥效应，同时为该肥料的研究与推广提供支持资料。

1 材料与方法

1.1 试验概况

试验设在山东省肥城农业示范园区(山东肥城潮泉)，该区属暖温带大陆性半湿润季风气候，年均降雨量为 903.2 mm。供试土壤类型为砂壤质褐土。试验始于 2012 年小麦，耕作制度为小麦-玉米轮作制，小麦品种为山农 0536 新品系、玉米品种为山农 2000。试验中使用的无机肥为尿素(含 N 460 g/kg)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 160 g/kg)和氯化钾(含 K₂O 600 g/kg)，腐

植酸经过尿素硫化处理和硫化加超声波活化处理后的游离腐植酸含量分别为 182 g/kg 和 188 g/kg，较未经处理的原始腐植酸(游离腐植酸含量 144 g/kg)提高了 26.4% 和 30.6%。以上肥料及材料均由山东农大肥业科技有限公司提供。

试验在相同施氮量的条件下设 5 个处理：不施肥处理(CK)、无机肥处理(U)、腐植酸-尿素直接掺混处理(U+HA1)、腐植酸-尿素硫化活化处理(U+HA2)、腐植酸-尿素硫化加超声波活化处理(U+HA3)。具体不同施肥处理肥料配比见表 1。氮肥用量为 N 225 kg/hm²，磷肥用量为 P₂O₅ 135 kg/hm²，钾肥用量为 K₂O 105 kg/hm²。氮肥用量的 1/3 做基肥，1/3 在小麦灌浆期做追肥，1/3 在玉米喇叭口期做追肥；磷钾肥全部用量做基肥。试验小区面积为 30 m²，随机区组排列，重复 3 次。小麦与玉米在整个生育期严格按照高产农田的田间管理措施执行。

腐植酸-尿素硫化活化处理和腐植酸-尿素硫化加超声波活化处理的具体步骤如下：

腐植酸-尿素硫化活化处理：先将尿素与硫酸铵按 10：1 比例加热至 110 ~ 120℃ 熔融液化后，再按尿素量的 65% 加入腐植酸，保持温度 90 ~ 100℃，搅拌反应 20 min，降温固化即为硫化处理试验样品。

腐植酸-尿素硫化加超声波活化处理：先将尿素与硫酸铵按 10：1 比例加热至 110 ~ 120℃ 熔融液化后，再按尿素量的 65% 加入腐植酸，搅拌均匀，置于超声波仪超声槽中，保持温度 90 ~ 100℃，搅拌超声处理 20 min，降温固化即为硫化加超声波处理试验样品。

表 1 试验设计
Table 1 Experimental design

处理编号	施肥处理	肥料配比			肥料总氮含量 (g/kg)
		尿素	硫酸铵	腐植酸	
CK	空白对照	0	0	0	0
U	无机肥对照	4.20	0.42	0	442.0
U+HA1	腐植酸-尿素直接掺混	4.20	0.42	2.70	280.0
U+HA2	腐植酸-尿素硫化活化	4.20	0.42	2.70	280.0
U+HA3	腐植酸-尿素硫化超声波活化	4.20	0.42	2.70	280.0

1.2 研究方法

1.2.1 样品的采集与处理 于 2013 年玉米收获后每小区随机采集 5 个点的耕作表层原状土样，采集的原状新鲜土样带回实验室，部分鲜样用于培养试验，部分自然风干，研磨后过 0.15 mm 和 2 mm 筛，用于室内理化性质的分析。另外，分别在小麦、玉米收获后，每个小区单独测量产量。

1.2.2 培养试验 1) 土壤有机氮(SON)矿化培养试

验。以不施肥处理的新鲜土样过 2 mm 筛为供试土样，调整土壤含水量为田间持水量的 65%，按田间施肥处理肥料用量的两倍均匀混入肥料，分别称取每种处理土样 10 g、15 份于 100 ml 离心管中，管口盖上塑料薄膜以保持土壤水分，置于 28℃ 培养箱中培养。培养后第 1、3、7、14、21 天取样测定，每次取出每个处理的 3 个离心管，加入 50 ml 0.02 mol/L CaCl₂ 溶液，振荡 1 h 后过滤，取滤液适量利用流动注射分析仪测

定 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量。

土壤有机氮矿化量以土样培养前后的矿质氮量 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的和) 之差来计算, 土壤有机氮矿化率计算公式为^[16]: 土壤有机氮矿化率(%) = 土壤氮素矿化量/土壤全氮量 $\times 100\%$ 。

2) 土壤有机碳(SOC)矿化培养试验。供试土样的处理和制备与土壤有机氮矿化培养试验相同, 分别称取每种处理土样 100 g, 置入 1 L 的带盖塑料瓶中; 然后放入装有 5 ml 0.10 mol/L NaOH 溶液的小塑料瓶(用于吸收土样释放的 CO_2), 密闭大塑料瓶; 置于 28°C 的培养箱中, 在培养的第 1、3、7、17、30 天更换一次小塑料瓶, 用标准盐酸滴定, 根据标准盐酸的用量计算 CO_2 的吸收量^[17]。以不加土样的处理为对照, 重复 3 次。

1.2.3 测定项目及方法 土壤有机碳含量的测定用浓硫酸-重铬酸钾氧化外加热法; 土壤全氮含量的测定用半微量开氏法; 土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量用 0.02 mol/L CaCl_2 溶液浸, 流动分析方法测定; 土壤交换性钾含量用中性醋酸铵溶液浸提火焰光度计法测定; 土壤有效磷含量利用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定, 具体操作步骤参考鲁如坤主编的《土壤农化分析方法》^[15]。

1.3 数据统计

数据处理采用 Microsoft Excel 2003 进行; 不同处理之间数据差异的统计分析利用 SPSS17.0 软件 ANOVA 方差分析和 LSD 差异显著性检验 ($P < 0.05$); 作图采用 Origin8.5 软件。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理小麦-玉米产量

作物产量是衡量施肥效应常用的指标, 反映施肥的经济效益。由图 1 可以看出, 本研究中不同施肥处理小麦玉米产量均有显著差异 ($P < 0.05$), 小麦产量的变化范围是 $4\,048 \sim 7\,319 \text{ kg/hm}^2$, 玉米产量为 $6\,045 \sim 9\,518 \text{ kg/hm}^2$ 。腐植酸-尿素处理的小麦、玉米产量分别比 U 处理增产了 15% ~ 28%、8% ~ 10%, 比 CK 处理增产 63% ~ 81%、55% ~ 57%。U 处理的小麦玉米产量较 CK 处理有显著增产效果。对于不同活化处理腐植酸-尿素肥料, U+HA3 处理小麦产量比其他两种处理有显著增加, 增产幅度为 U+HA2 处理的 6%、U+HA1 处理的 11%; 而玉米产量尽管 U+HA3 处理较高, 但是在不同腐植酸-尿素活化处理之间的差异不显著, 可能是由于不同小区玉米产量变异较大造成的。腐植酸-尿素肥料的增产效应在于其抑制土壤脲酶活性, 使土壤供氮速率与作物需氮水平一致,

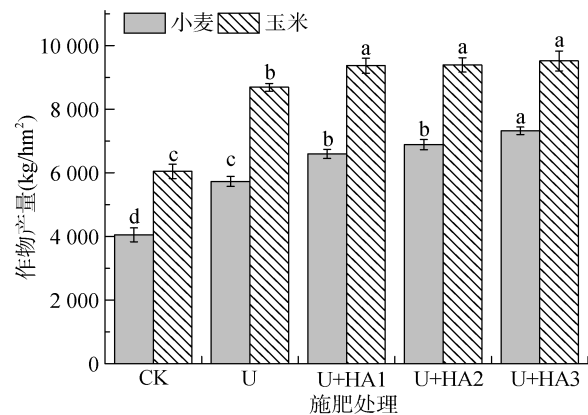


图 1 不同施肥处理作物产量
(柱图上方字母不同表示同一作物不同施肥处理间差异在 $P < 0.05$ 水平显著, 下同)

Fig. 1 Crop yields of different fertilization treatments

提高了作物的叶绿素含量与光合作用强度, 使作物籽粒产量增加^[8]。

2.2 不同施肥处理土壤有机碳和氮磷钾养分含量

2.2.1 土壤有机碳含量 土壤有机碳含量在不同施肥处理之间有所差异(图 2), U+HA1 处理土壤有机碳含量平均值最高为 10.52 g/kg, 分别比 U 处理和 CK 处理提升了 17.41%、28.61%。土壤有机碳含量在 3 种活化处理腐植酸-尿素之间的差异不显著。U 处理与 CK 处理和 U+HA2 处理之间的差异不显著。由此结果可以看出, 尽管施肥处理土壤有机碳含量有增加的趋势, 但是各施肥处理之间的差异并不大, 这是由于定位施肥试验时间短, 土壤有机碳的累积不显著造成的。

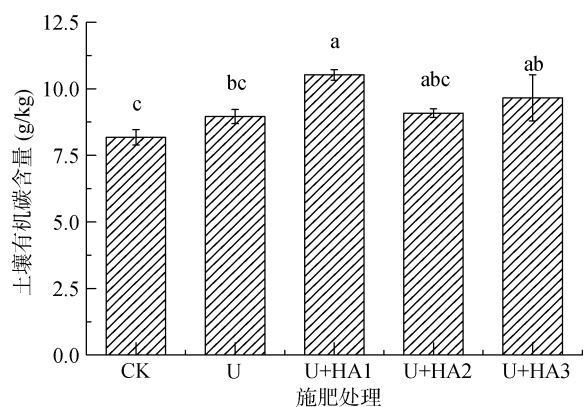


图 2 不同施肥处理土壤有机碳含量

Fig. 2 Soil organic carbon contents of different fertilization treatments

2.2.2 土壤不同形态氮素含量 土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 是作物吸收的有效氮形态, 其含量在不同施肥处理土壤之间存在显著差异(图 3)。土壤 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量范围是 $6.26 \sim 19.59 \text{ mg/kg}$, 在不同施肥处理间的

变化趋势为 U+HA1、U+HA3>U+HA2>U>CK。与土壤 NO_3^- -N 含量相比,土壤 NH_4^+ -N 含量略高,为 20.34~24.71 mg/kg,不同施肥处理之间的变异较弱。U 处理与 U+HA2 处理间的差异不显著,但显著低于 U+HA3 处理,显著高于 CK 处理。U+HA1 处理土壤 NH_4^+ -N 含量较其他两种腐植酸-尿素处理有显著的降低。土壤 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 含量的总和反映土壤中速效氮的含量,不同施肥处理土壤速效氮的含量大小趋势为 CK<U<U+HA1<U+HA2<U+HA3,由此说明肥料施用提高了土壤氮的有效性,腐植酸作为有机肥施用比单施无机肥对土壤有效氮提高具有更强的作用。以往的研究也证明了这一结论^[2-3]。但是不同施肥处理间土壤全氮含量没有显著的差异(图 4)。

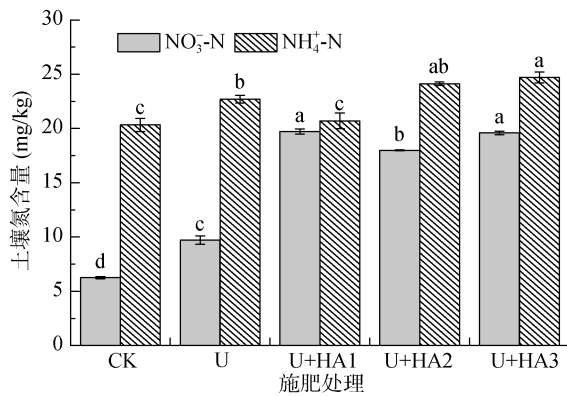


图 3 不同施肥处理土壤 NO_3^- / NH_4^+ -N 含量

Fig. 3 Soil NO_3^- / NH_4^+ -N contents of different fertilization treatments

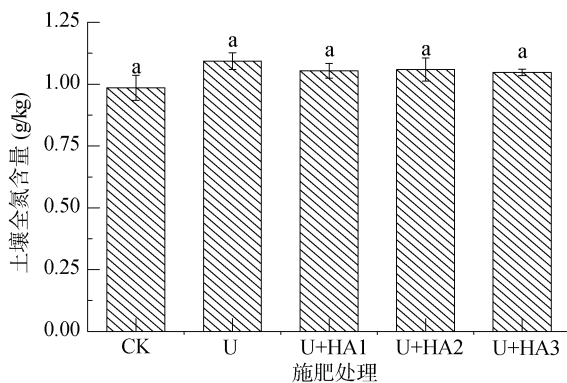


图 4 不同施肥处理土壤全氮含量

Fig. 4 Soil total nitrogen contents of different fertilization treatments

2.2.3 不同施肥处理土壤有效磷与速效钾含量

不同施肥处理土壤有效磷含量以 CK 处理最低,与其他施肥处理间的差异达显著水平,U 处理与腐植酸-尿素处理之间的差异不显著(图 5)。土壤速效钾含量在不同施肥处理间的差异与有效磷含量基本相同,

以 CK 处理土壤最低,腐植酸-尿素处理土壤速效钾含量较高,但 3 种活化处理间的差异不显著,U 处理土壤速效钾含量与腐植酸-尿素处理的差异也不显著(图 6)。此结果说明,当土壤有效磷与速效钾基础含量水平较高时,当年施用无机肥对提高土壤有效磷与速效钾含量的效应不显著,但腐植酸-尿素肥料的效应显著。为了提高土壤的施肥效应,对于基础肥力较好的土壤建议有机无机肥配合施用。

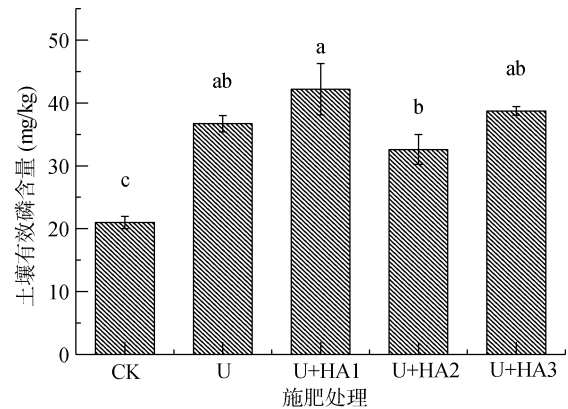


图 5 不同施肥处理土壤有效磷含量

Fig. 5 Soil available phosphorus contents of different fertilization treatments

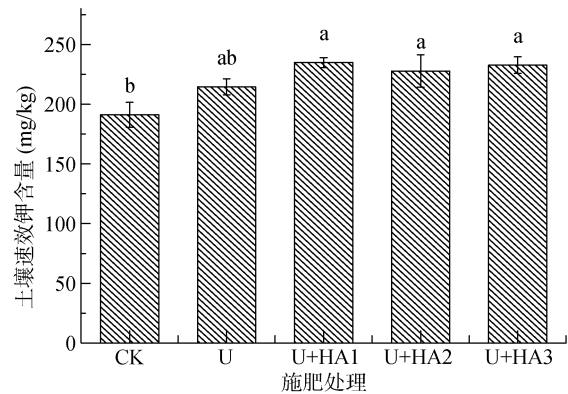


图 6 不同施肥处理土壤速效钾含量

Fig. 6 Soil available potassium contents of different fertilization treatments

2.3 土壤有机碳氮矿化

不同施肥处理土壤有机氮的矿化比率随培养时间的增加而减小。培养初期不同施肥处理间土壤有机氮的矿化比率差异不显著,随着培养时间的延长,U 处理土壤有机氮的矿化比率比其他处理显著增加,培养结束时以 U 处理土壤有机氮矿化比率最高,达 3.79%,其次是 U+HA1 处理为 2.98%,其他处理最低且处理间的差异不显著(图 7)。土壤有机氮的累积矿化量与矿化比率有相同的变化规律(图 7),U>U+HA1>U+HA3、U+HA2、CK。土壤有机氮的累积矿化量范围为 37.36~23.03 mg/kg。此结果表明 U+HA2

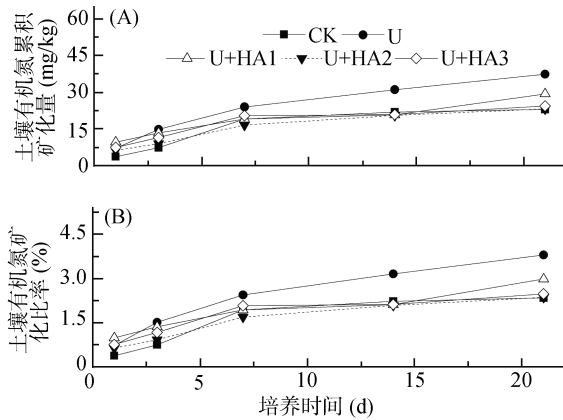


图 7 不同施肥处理土壤有机氮的累积矿化量(A)和矿化比率(B)

Fig. 7 Mineralized accumulative quantities (AQ) (A) and mineralized rates (B) of soil organic nitrogen of different fertilization treatments

和 U+HA3 处理均未影响土壤有机氮的矿化过程, U+HA1 处理对有机氮的矿化具有促进作用,但是低于 U 处理的影响。程亮等^[7]也获得了类似的研究结果,即腐植酸肥的施用降低了土壤的供氮速率。其原因是腐植酸与尿素的络合作用降低了氮素养分的释放速率和土壤脲酶活性。

对土壤有机氮矿化比率相关的因子进行相关分析显示,土壤有效磷含量与土壤有机氮矿化比率具有正相关关系,相关系数为 0.455 9。这一结果与李辉信等^[16]的研究相一致,土壤有效磷是土壤微生物活动的主要营养元素,对土壤有机氮的矿化作用具有重要影响。

土壤有机碳的矿化速率以 CO_2 的释放速率来表征,在培养试验初期土壤 CO_2 的释放速率较高,不同施肥处理间存在差异,以 CK 处理最低,其次是 U 处理、腐植酸-尿素处理,以 U+HA3 处理最高(图 8)。随着培养时间的延长,土壤 CO_2 的释放速率显著降低,处理间的差异不显著。土壤 CO_2 的累积释放量与释放速率有相似的规律,腐植酸-尿素处理较高而不同活化方式的影响差异不显著(图 8)。施肥促进了土壤有机碳的矿化速率,腐植酸的添加比单施无机肥具有更强的促进作用。U+HA3 处理比 U+HA1 和 U+HA2 处理对土壤有机碳的矿化具有更强的增加作用。原因在于腐植酸作为有机物质的添加,促进土壤有机碳的矿化过程^[14]。U+HA3 处理肥料中游离腐植酸含量较高,提高了土壤有机碳的生物有效性,推动了土壤有机碳的矿化过程。

3 讨论与结论

如何保持施肥的长期增产效应,一直是困扰肥料

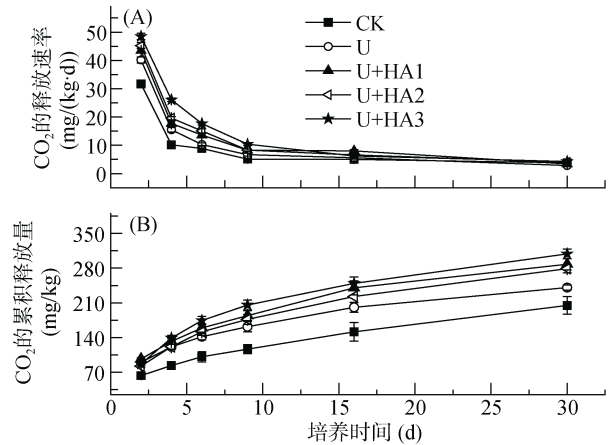


图 8 不同施肥处理土壤 CO_2 的释放速率(A)与累积释放量(B)

Fig. 8 CO_2 release velocities (A) and accumulative quantities (B) in soils of different fertilization treatments

工作者与农业科研人员的难题。本研究中腐植酸-尿素是一种新型有机无机复合肥料,以该肥料的活化处理方式切入点,研究肥料的产量效应,可为肥料长期增产效应的实现提供有益的基础资料。本研究发现施肥显著提高了小麦-玉米产量,与无机肥处理相比,腐植酸-尿素处理小麦增产 15%~28%、玉米增产 8%~10%。其中硫化超声波活化处理比直接掺混和硫活化处理分别增产 6%、11%。由此说明腐植酸-尿素肥料具有显著的增产效果,不同的活化处理方式对作物产量的影响也存在差异。李兆君等^[8]报道,盆栽试验腐植酸-尿素肥料比单施尿素使玉米增产 35%,本研究中作物产量是大田栽培结果,与盆栽试验结果存在一定的差异。另一方面,本研究未设单施尿素处理,无机肥处理是氮磷钾三种营养元素平衡施用,其增产效果与增加腐植酸处理的差异缩小。但腐植酸-尿素处理比不施肥处理小麦增产达 81%,玉米增产达 57%。长期施肥的定位试验发现,连续施肥 10 年以上,偏施肥的增产效应不显著,氮磷钾平衡施肥的增持效应减弱,有机肥与氮磷钾肥配合施用的增产效应与氮磷钾平衡施肥之间的差异变小^[18-19]。

施肥的增产效应在于施肥提高土壤肥力。土壤养分含量水平与土壤有机碳氮的矿化过程密切联系。本研究中施肥处理促进土壤有机碳矿化,硫化超声波活化处理比直接掺混和硫活化处理对土壤有机碳矿化量具有较强的促进作用。施肥处理土壤速效氮、有效磷和速效钾含量比不施肥处理显著增加。相关分析表明,土壤速效氮、有效磷和速效钾含量均与土壤有机碳累积矿化量有正相关关系,决定系数(R^2)分别为 0.931 4、0.654 0、0.926 3。该结果与黄土高原土壤有机碳矿化与土壤性质关系的研究结果相吻合^[11]。土壤

有机碳的累积矿化量与作物总产量之间存在显著的正相关关系($R^2=0.8973$), 验证了土壤有机碳矿化促进土壤养分有效性的发挥。本研究中施肥处理对土壤全氮与有机碳含量的影响不显著, 可能与施肥时间较短累积量较低有关。无机肥处理增强了土壤有机氮的矿化, 活化处理腐植酸-尿素对土壤有机氮的矿化未达显著水平, 其相关机理还需要进一步深入系统地研究。

不同腐植酸-尿素活化处理对小麦-玉米有显著的增产作用, 促进土壤有机碳的矿化过程, 提高了土壤速效氮、有效磷和速效钾含量。说明该活化处理的腐植酸-尿素肥料是具有应用潜力的一种新型肥料, 其施肥效应机理与长期增产效应的保持还需要展开深入的研究。

参考文献：

- [1] 龚伟, 颜晓元, 蔡祖聪, 王景燕, 胡庭兴, 宫渊波. 长期施肥对华北小麦-玉米轮作土壤物理性质和抗蚀性影响研究[J]. 土壤学报, 2009, 46(3): 520-525
- [2] 杜伟, 赵秉强, 林治安, 袁亮, 李燕婷. 有机无机复混肥优化化肥养分利用的效应与机理研究. 有机物料与尿素复混对玉米产量及肥料养分吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(3): 579-586
- [3] 刘占军, 李书田, 周卫, 谢佳贵, 张宽, 王秀芳, 侯云鹏. 不同施氮方式对春玉米产量、氮素吸收及经济效益的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012(3): 58-64
- [4] 闫双堆, 刘利军, 洪坚平. 腐植酸-尿素络合物对尿素转化及氮素释放的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 109-112
- [5] 隗英华, 陈利军, 武志杰, 汪仁. 尿素氮形态转化对腐植酸的响应[J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 112-116
- [6] 孙明强, 王为民, 成绍鑫. 腐植酸尿素的分解释放机理与应用研究报告[J]. 腐植酸, 2003(3): 48-52
- [7] 程亮, 张保林, 王杰, 史亚龙, 陈可可. 腐植酸肥料的研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2011(5): 5-8
- [8] 李兆君, 马国瑞, 王申贵, 陆欣. 腐植酸长效尿素在土壤中转位及其对玉米增产的效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(4): 121-123
- [9] Tahir MM, Khurshid M, Khan MZ, Abbasi MK, Kazmi MH. Lignite-derived humic acid effect on growth of wheat plants in different soils[J]. Pedosphere, 2011, 21(1): 124-131
- [10] 刘平, 张强, 杜文波, 李丽君, 白光洁, 丁玉川. 煤粉尘添加量与温度对山西省两种土壤碳释放规律的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(3): 516-519
- [11] 李顺姬, 邱莉萍, 张兴昌. 黄土高原土壤有机碳矿化及其与土壤理化性质的关系[J]. 生态学报, 2010, 30(5): 1217-1226
- [12] 潘根兴, 周萍, 张旭辉, 李恋卿, 郑聚锋, 邱多生, 储秋华. 不同施肥对水稻土作物碳同化与土壤碳固定的影响——以太湖地区黄泥土肥料长期试验为例[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3704-3710
- [13] Vlčková Z, Grasset L, Antosöva B, Pekár M, Kučerik J. Lignite pre-treatment and its effect on bio-stimulative properties of respective lignite humic acids[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2009, 41: 1894-1901
- [14] 张悦熙, 索全义, 胡秀云, 刘婷婷, 王伟, 刘景秀. 活化条件对褐煤中水溶性腐植酸含量的影响[J]. 腐植酸, 2011, (3): 9-12
- [15] 鲁如坤. 土壤农化分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [16] 李辉信, 胡锋, 刘满强, 蔡贵信, 范晓辉. 红壤氮素的矿化和硝化作用特征[J]. 土壤, 2000, 32(4): 194-203
- [17] 刘艳丽, 张斌, 胡锋, 乔洁, 张卫健. 干湿交替对水稻土碳氮矿化的影响[J]. 土壤, 2008, 40(4): 554-560
- [18] 刘恩科, 赵秉强, 胡昌浩, 李秀英, 李燕婷. 长期施氮、磷、钾化肥对玉米产量及土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(5): 789-794
- [19] 刘艳丽. 长期施肥下水稻土土壤性质变化及其与生产力的关系研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2007

Characteristics of Wheat-Maize Yield and Soil Organic Carbon/ Nitrogen Mineralization in Cinnamon Soil with Application of Different Activation Humic Acid-Urea

LIU Yan-li¹, DING Fang-jun², GU Duan-yin², WU Qin-quan², ZHANG Min¹, LI Cheng-liang^{1*}

(1 *National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer, College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China*; 2 *Engineering Technology Research Center of Shandong Province, Efficient Utilization of Humic Acid, Shandong Agricultural University Fertilizer Science Tech. Co., Ltd., Taian, Shandong 271000, China*)

Abstract: Humic acid-urea is one of the novel inorganic-organic fertilizers. Different activation approaches to humic acids play important roles in the efficiency of humic acid-urea. Present study was conducted in cinnamon soil to identify the effects of different activation humic acid-urea treatments on wheat and maize yield, soil organic carbon with a field experiment and nitrogen mineralization with an incubation experiment. Results showed that fertilizer treatments increased the wheat and maize yields. Humic acid-urea treatment increased yield by 15%–28% and 8%–10% for wheat and maize than inorganic fertilizer treatment, and increased by 63%–81% and 55%–57% compared with the control treatment(CK), respectively. In detail the cooperation of sulfurization activation and ultrasonic treatment was better in increasing crop yield than direct mixture treatment and merely sulfurization activation treatment. There were significant differences in soil nutrients among the different fertilizer treatments. Soil NO_3^- -N and NH_4^+ -N contents were in an order of U+HA1, U+HA3 > U+HA2 > Urea > CK. The direct mixture treatment decreased soil NH_4^+ -N content compared with the other activation treatment for humic acid-urea. Fertilization treatments improved soil available phosphorus and available potassium contents, whereas the humic acid addition had no effect on soil available phosphorus and available potassium contents in comparison to inorganic treatment. Humic acid-urea treatment didn't significantly influence soil organic carbon content, but enhanced soil organic carbon mineralizing rate and accumulative quantity, indeed the influences of the cooperation of sulfurization and ultrasonic activation treatment were more obvious among three treatments. There was significant positive correlation between soil organic carbon mineralization accumulative quantity and total crop yield, soil available nitrogen, potassium and phosphorus content. Compared with the control treatment, inorganic fertilizer treatment boosted soil organic nitrogen mineralization rate, but humic acid addition didn't work. The rate of soil organic nitrogen mineralization was positively correlated with soil available phosphorus content. Humic acid-urea fertilizer should be recommended to improve soil fertility and productivity than inorganic fertilizer. The ideal dealing approach was the cooperation of sulphur activation and ultrasonic treatment for humic acid-urea. Humic acid-urea with the cooperation of sulphur activation and ultrasonic treatment is worth to popularize in fertilizer resource and market.

Key words: Humic acid-urea; Soil organic carbon and nitrogen mineralization; Soil nutrient; Fertilization treatment