

化肥减量配施腐植酸及腐熟剂对玉米生长及养分吸收的影响

胡慧影¹, 马传芳², 李沐恺³, 郭伟^{3*}

(1. 北大荒农垦集团黑龙江二龙山农场有限公司农业发展部, 黑龙江 五大连池 164131; 2. 阿荣旗农业事业发展中心, 内蒙古 呼伦贝尔 162750; 3. 黑龙江八一农垦大学农学院, 黑龙江 大庆 163319)

摘要: 化肥减量配施腐植酸及腐熟剂是缓解土壤肥力下降、提高化肥利用率的有效途径, 对提高土壤质量、改善生态系统具有重要意义。本试验设置 1/2 全量化肥 (1/2CF)、3/4 全量化肥 (3/4CF) 和全量化肥 (CF) 分别配施 0 mg/kg 腐植酸 (HA₀)、250 mg/kg 腐植酸 (HA₂₅₀)、500 mg/kg 腐植酸 (HA₅₀₀) 和 0 mg/kg 腐熟剂 (V₀)、100 mg/kg 腐熟剂 (V₁₀₀) 处理, 研究其对拔节期和抽雄期玉米植株干重与养分含量的影响, 以为松嫩平原草甸黑土区玉米化学肥料减施技术模式建立提供参考。结果表明, 拔节期 (CF+V₀HA₂₅₀) 和 (1/2CF+V₁₀₀HA₀) 处理单株干重较其他处理增加 13.4%~220.1% 和 13.2%~94.4%; 抽雄期 (CF+V₀HA₂₅₀) 处理和 (3/4CF+V₁₀₀HA₀) 处理单株干重较其他处理增加 27.9%~181.0% 和 11.5%~82.2%。拔节期 (CF+V₀HA₀)、(3/4CF+V₀HA₂₅₀)、(CF+V₁₀₀HA₅₀₀) 处理的植株全氮、全磷、全钾含量相对较高; 抽雄期 (1/2CF+V₀HA₂₅₀) 处理植株全氮含量显著高于其他处理, (CF+V₁₀₀HA₅₀₀) 处理植株全磷含量显著高于其他处理, (3/4CF+V₁₀₀HA₀) 处理植株全钾含量显著高于其他处理。综合分析, (CF+V₀HA₂₅₀) 和 (1/2CF+V₁₀₀HA₀) 的施肥方法可以为松嫩平原草甸黑土区玉米化肥施用提供用量参考和技术指导。

关键词: 化肥; 腐熟剂; 腐植酸; 养分吸收; 玉米

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2024)03-0030-07

Effects of Chemical Fertilizer Reduction Combined with Humic Acid and Decomposing Agent on Growth and Nutrient Absorption of Maize

HU Huiying¹, MA Chuanfang², LI Mukai³, GUO Wei^{3*}

(1. Agricultural Development Department, Heilongjiang Erlongshan Farm Co., Ltd of Beidahuang Agricultural Reclamation Group, Wudalianchi 164131; 2. Arong Country Agricultural Development Center, Hulunbuir 162750; 3. College of Agriculture, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract: Chemical Fertilizer reduction combined with humic acid fertilizer is an effective pathway to alleviate soil fertility decline and increase fertilizer utilization rate, which is great significant to improve soil quality and ecosystem. In this paper, 1/2 total fertilizer (1/2CF), 3/4 total fertilizer (3/4CF) and total fertilizer (CF) were applied with 0 mg/kg humic acid (HA₀), 250 mg/kg humic acid (HA₂₅₀), 500 mg/kg humic acid (HA₅₀₀) and 0 mg/kg and 100 mg/kg decomposing agent on dry matter quality and nutrient content of maize plant at jointing stage and tasseling stage respectively in order to provide reference for establishing technical model of chemical fertilizer reduction in the black soil region of Songnen Plain. The results showed that dry weight of (CF+V₀HA₂₅₀) and (1/2CF+V₁₀₀HA₀) increased significantly by 13.4%~220.1% and 13.2%~94.4% compared with other treatments at jointing stage. Dry weight of (CF+V₀HA₂₅₀) and (3/4CF+V₁₀₀HA₀) increased significantly by 27.9%~181.0% and 11.5%~82.2% compared with other treatments at tasseling stage. Total nitrogen, total phosphorus and total potassium contents of (CF+V₀HA₀), (3/4CF+V₀HA₂₅₀) and (CF+V₁₀₀HA₅₀₀) were relatively high at jointing stage, total nitrogen content of (1/2CF+V₀HA₂₅₀) treatment was significantly higher than other treatments, and total phosphorus content of (CF+V₁₀₀HA₅₀₀) treatment was significantly higher than other treatments, and the total potassium content of (3/4CF+V₁₀₀HA₀) treatment was sig-

收稿日期: 2023-11-16

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2023YFD2303303); 新时代龙江优秀硕士学位论文资助项目 (LJYXL2022-035)

作者简介: 胡慧影 (1995-), 女, 在读硕士, 主要从事玉米生理生态与栽培技术研究。

通信作者: 郭伟, 男, 博士, 教授, E-mail: agrigw@163.com

nificantly higher than that of other treatments at tasseling stage. By comprehensive analysis, (CF+V₀HA₂₅₀) and (1/2CF+V₁₀₀HA₀) could be considered as suitable complementary measures for the application of chemical fertilizer in the meadow black soil area on Songnen Plain in this study.

Key words: Chemical fertilizer; Decomposing agent; Humic acid; Nutrient absorption ; Maize

松嫩平原黑土区是世界四大片黑土区之一,是中国东北地区主要的商品粮生产基地。该地区农业生产过度依赖化肥的问题日益凸显^[1]。随着经济发展和城市化程度的提高,对耕地的集约化使用以及土地对化肥污染承载的能力提出更高的要求^[2]。因此,降低化肥使用量、提高耕地质量成为农业可持续发展研究的热点。

减少化肥施用量,提高肥料利用效率,但不降低作物产量的一个重要途径就是改变施肥方法和肥料种类。化肥减量配合施用有机肥成为这条途径的首选,但由于有机肥源、成本、施用技术的限制,使得有机肥在我国肥料市场中占比不足20%,且呈递减趋势^[3]。减化肥不减产的重要途径,就是施肥的同时活化土壤养分,同步提高土壤养分供给能力。秸秆还田可改善农业生态环境,腐熟剂能使秸秆等有机物快速腐熟,使秸秆中所含的有机质及磷、钾等元素成为植物生长所需的营养,并产生大量有益微生物,刺激作物生长,提高土壤有机质,增强植物抗逆性,改善作物品质,实现农业的可持续发展。腐植酸是自然界中广泛存在的有机活性物质,直接喷施于叶片表面^[4]或与化肥一起施用于根际^[5]可提高作物抗性,增加产量。

本试验对不同化肥施用量配施腐植酸与腐熟剂对玉米营养吸收的影响进行对比研究,旨在阐明化肥减量配施腐植酸与腐熟剂对土壤养分供应及玉米养分吸收效果的影响,探讨一种适宜于东北黑土区的化肥减量配套秸秆还田技术模式。为实现东北地区面积最大的作物玉米生产过程中化肥使

用量零增长,为解决长期施用化肥引起的黑土区耕地质量下降与作物增产稳产矛盾问题提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与 设计

试验于2022年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进行。土壤类型为草甸黑土,土壤养分含量:有机质18.2 g/kg、碱解氮58.3 mg/kg、速效磷10.1 mg/kg、速效钾101.2 mg/kg、pH 8.4。供试玉米品种为郑单958。试验用肥料为:尿素(N 46%)、磷酸二铵(N 18%, P₂O₅ 46%)、硫酸钾(K₂O 50%),腐植酸(BR级黄腐酸含量≥65%)。腐熟剂(河南沃宝生物科技有限公司生产,有益菌含量≥10亿cfu/g,主要为芽孢杆菌、丝状真菌和乳酸菌)。

本试验采用盆栽方式,容器为高30 cm、直径28 cm的塑料圆桶,每桶装风干土20 kg、过20目细筛的自然风干玉米秸秆粉末25 g,模拟秸秆还田。按照试验设计将腐植酸、秸秆腐熟剂、化肥及少量土壤(0.5 kg)混合后施入到盆内表土以下13~15 cm处,同时,玉米种子播到盆内表土以下3 cm处,每盆播种5粒种子,出苗后间苗保留4株。根据土壤干湿程度进行灌溉。

试验采用腐熟剂、腐植酸、化肥三因素,其中腐熟剂(V)两水平,分别为0、100 mg/kg,腐植酸(HA)三水平,分别为0、250、500 mg/kg,化肥用量三水平,分别为全量(CF)、3/4全量(3/4CF)、1/2全量(1/2CF),共计18个处理,每个处理4次重复,试验处理详见表1。

表1 试验处理

处理	V	HA	1/2CF			3/4CF			CF		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
V ₀ HA ₀	0	0	38.4	27.6	20	57.6	41.4	30	76.8	55.2	40
V ₀ HA ₂₅₀	0	250	38.4	27.6	20	57.6	41.4	30	76.8	55.2	40
V ₀ HA ₅₀₀	0	500	38.4	27.6	20	57.6	41.4	30	76.8	55.2	40
V ₁₀₀ HA ₀	100	0	38.4	27.6	20	57.6	41.4	30	76.8	55.2	40
V ₁₀₀ HA ₂₅₀	100	250	38.4	27.6	20	57.6	41.4	30	76.8	55.2	40
V ₁₀₀ HA ₅₀₀	100	500	38.4	27.6	20	57.6	41.4	30	76.8	55.2	40

1.2 测定项目与方法

于玉米拔节期和抽雄期分别取2个植株,置于鼓风干燥箱中,110℃杀青1h后80℃烘干至恒重,待冷却至室温后称重(折合为单株干重),粉碎后测定植株全氮、全磷、全钾含量。全氮含量采用凯氏定氮法进行测定,全磷和全钾含量采用ICP-MS法进行测定。

1.3 数据处理与分析

采用Excel 2003进行数据处理分析和图表绘制,采用SPSS Statistics 25.0进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 化肥配施腐植酸与腐熟剂对玉米地上部干物质积累量的影响

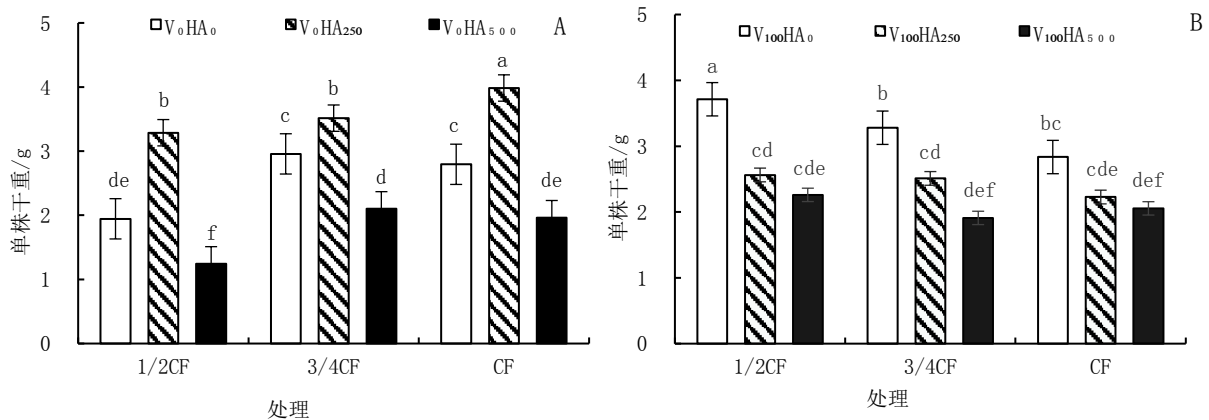
由图1A可知,在拔节期,(CF+V₀HA₂₅₀)处理单株干重最大较其他处理增加13.4%~220.1%,(3/4CF+V₀HA₂₅₀)处理和(1/2CF+V₀HA₂₅₀)处理间单株干重无显著差异,较(CF+V₀HA₀)处理分别增加25.8%和17.6%,(1/2CF+V₀HA₀)、(3/4CF+V₀HA₅₀₀)和

(CF+V₀HA₅₀₀)3个处理单株干重较(1/2CF+V₀HA₅₀₀)显著提高,但3个处理间无显著差异。

由图1B可知,在拔节期,(1/2CF+V₁₀₀HA₀)处理的单株干重最大,较(3/4CF+V₁₀₀HA₀)和(CF+V₁₀₀HA₀)处理提高13.2%~31.0%。3种化肥用量条件下,V₁₀₀HA₂₅₀处理无显著差异。

由图2A可知,在抽雄期,(CF+V₀HA₂₅₀)处理的单株干重最大。1/2CF化肥施用量下,V₀HA₅₀₀较V₀HA₀单株干重提高71.6%,V₀HA₂₅₀和V₀HA₅₀₀间无显著差异;3/4CF化肥施用量下,V₀HA₂₅₀较V₀HA₀和V₀HA₅₀₀单株干重提高59.5%和31.4%,差异显著;CF化肥施用量下,V₀HA₂₅₀较V₀HA₀和V₀HA₅₀₀单株干重提高44.2%和27.7%,差异显著。

由图2B可知,在抽雄期,(3/4CF+V₁₀₀HA₀)处理单株干重最大,与其他处理间差异显著。1/2CF化肥施用量下,3个处理间无显著差异;3/4CF化肥施用量下,V₁₀₀HA₀较V₁₀₀HA₂₅₀和V₁₀₀HA₅₀₀单株干重提高31.2%和12.2%,存在显著差异;CF化肥施用量下,3个处理间无显著差异。



注:小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),下同

图1 化肥配施腐植酸与腐熟剂对拔节期玉米植株单株干重的影响

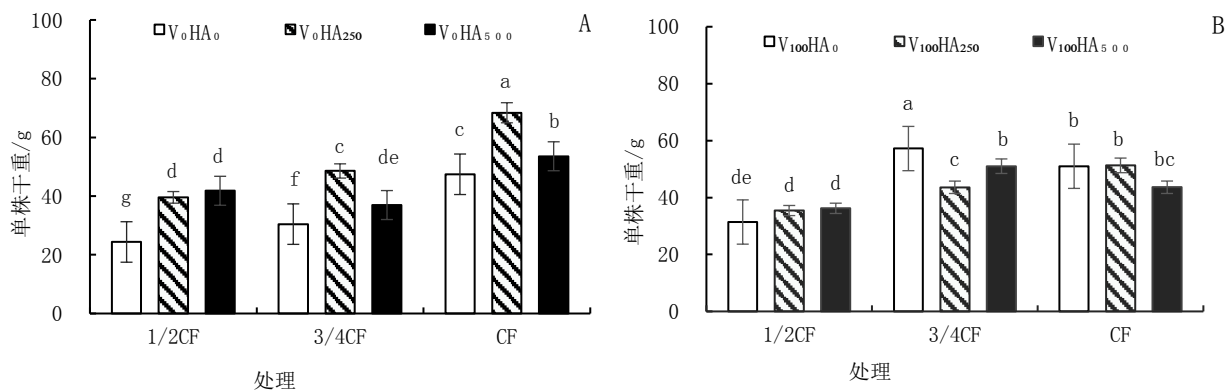


图2 化肥配施腐植酸与腐熟剂对抽雄期玉米植株单株干重的影响

2.2 化肥配施腐植酸与腐熟剂对玉米植株全氮含量的影响

由图 3A 可知,拔节期(CF+V₀HA₀)处理的全氮含量最高,较(3/4CF+V₀HA₀)和(1/2CF+V₀HA₀)处理分别提高 16.8% 和 13.9%。1/2CF 化肥施用量下,3 个处理间无显著差异;3/4CF 化肥施用量下,V₀HA₂₅₀ 和 V₀HA₅₀₀ 较 V₀HA₀ 全氮含量分别提高 14.3% 和 11.2%;CF 化肥施用量下,V₀HA₀ 和 V₀HA₂₅₀ 较 V₀HA₅₀₀ 全氮含量分别提高 17.8% 和

14.1%,2 个处理间无显著差异。

由图 3B 可知,拔节期(CF+V₁₀₀HA₅₀₀)处理较(1/2CF+V₁₀₀HA₀)处理、(1/2CF+V₁₀₀HA₂₅₀)处理和(CF+V₁₀₀HA₀)处理全氮含量增加了 18.7%~23.2%,差异显著。而其他化肥处理与(CF+V₁₀₀HA₅₀₀)处理间无显著差异。3/4CF 化肥施用量下,各处理间无显著差异;3 种化肥施用量下,各 V₁₀₀HA₅₀₀ 处理间无显著差异。

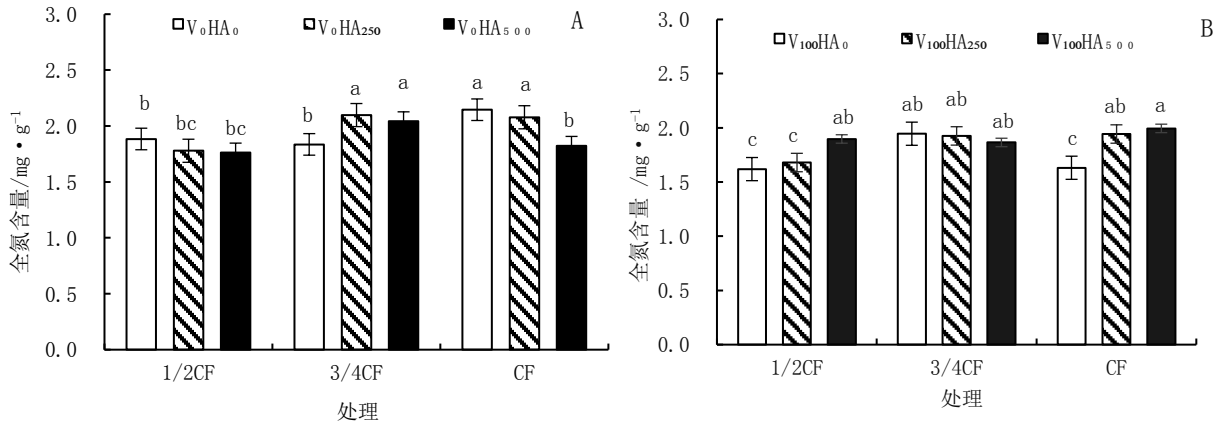


图 3 化肥配施腐植酸与腐熟剂对拔节期玉米植株全氮含量的影响

由图 4A 可知,在抽雄期,(1/2CF+V₀HA₂₅₀)处理的植株全氮含量最高,较其他处理提高了 7.0%~169.3%。(3/4CF+V₀HA₂₅₀)处理较(3/4CF+V₀HA₀)处理和(CF+V₀HA₀)处理分别提高 24.6% 和 26.7%,且与(CF+V₀HA₂₅₀)处理无显著差异。不同化肥施用量下,V₀HA₂₅₀ 各处理的植株全氮含量最高,显著高于 V₀HA₀ 处理和 V₀HA₅₀₀ 处理。

由图 4B 可知,在抽雄期,(1/2CF+V₁₀₀HA₀)处理的植株全氮含量最高,与(3/4CF+V₁₀₀HA₀)处理间无显著差异,但是较其他处理提高了 12.6%~161.1%。(1/2CF+V₁₀₀HA₅₀₀)处理较(1/2CF+V₁₀₀HA₂₅₀)处理、(CF+V₁₀₀HA₂₅₀)处理、(3/4CF+V₁₀₀HA₅₀₀)处理和(CF+V₁₀₀HA₅₀₀)处理提高了 11.2%~19.7%,差异显著。不同化肥施用量下,V₁₀₀HA₀ 处理的植株全氮含量最高,显著高于 V₁₀₀HA₂₅₀、V₁₀₀HA₅₀₀ 处理。

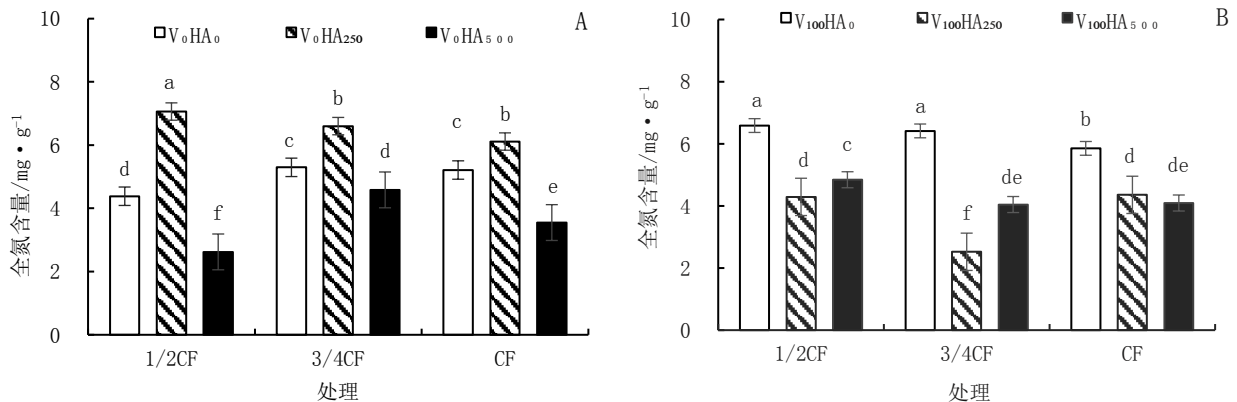


图 4 化肥配施腐植酸与腐熟剂对抽雄期玉米植株全氮含量的影响

2.3 化肥配施腐植酸与腐熟剂对玉米植株全磷含量的影响

由图 5A 可知,拔节期(3/4CF+V₀HA₂₅₀)处理植

株全磷含量最高,但与(CF+V₀HA₂₅₀)处理和(3/4CF+V₀HA₅₀₀)处理无显著差异。1/2CF 施用量下,3 个处理间无显著差异,3/4CF 施用量下,V₀HA₂₅₀ 处理

较 V_0HA_0 处理和 V_0HA_{500} 处理分别提高 14.3% 和 11.2%, CF 施用量下, 3 个处理间无显著差异。

由图 5B 可知, 拔节期 ($CF+V_{100}HA_0$) 处理植株全磷含量最高, 较 ($1/2CF+V_{100}HA_0$) 处理、($1/2CF+$

$V_{100}HA_{250}$) 处理和 ($3/4CF+V_{100}HA_{250}$) 处理提高了 31.6%~36.4%, 差异显著, 但与其他化肥处理无显著差异。不同化肥施用量下, $V_{100}HA_0$ 、 $V_{100}HA_{250}$ 和 $V_{100}HA_{500}$ 3 个处理间均无显著差异。

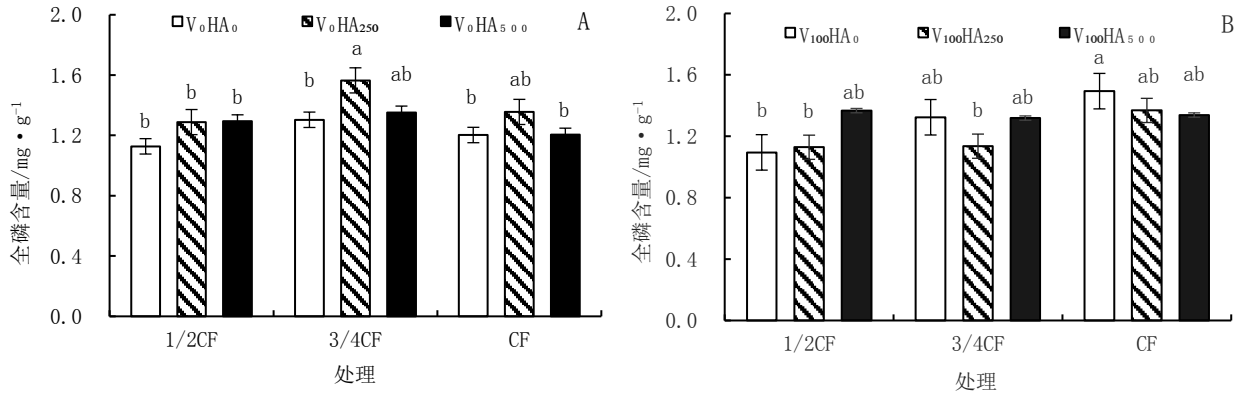


图 5 化肥配施腐植酸与腐熟剂对拔节期玉米植株全磷含量的影响

由图 6A 可知, 抽雄期 ($CF+V_0HA_{500}$) 处理的植株全磷含量最高。($CF+V_0HA_{500}$) 处理植株全磷含量较 1/2CF 施用量下的 3 个处理提高了 15.8%~19.3%, 差异显著。1/2CF、3/4CF 和 CF 化肥施用量下, V_0HA_0 、 V_0HA_{250} 和 V_0HA_{500} 3 个处理间植株全磷含量均无显著差异。

由图 6B 可知, 抽雄期 ($CF+V_{100}HA_{500}$) 处理的植株全磷含量最高, 较 ($3/4CF+V_{100}HA_0$) 处理、($1/2CF+V_{100}HA_{250}$) 处理和 ($1/2CF+V_{100}HA_{500}$) 处理提高了 19.4%~28.9%, 差异显著, 与其他化肥处理无显著差异。3/4CF 和 CF 施用量下, V_0HA_0 、 V_0HA_{250} 和 V_0HA_{500} 3 个处理间植株全磷含量均无显著差异。

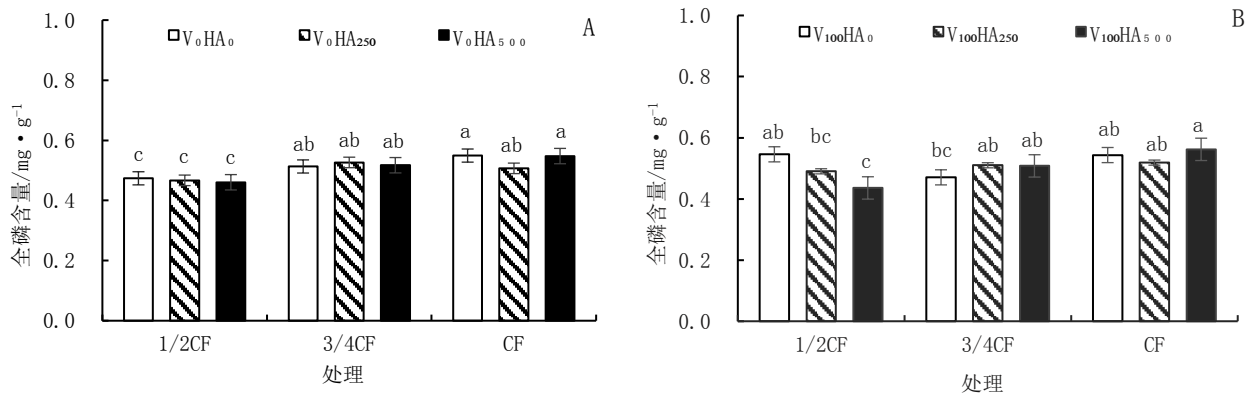


图 6 化肥配施腐植酸与腐熟剂对抽雄期玉米植株全磷含量的影响

2.4 化肥配施腐植酸与腐熟剂对玉米植株全钾含量的影响

由图 7A 可知, 拔节期 ($CF+V_0HA_{250}$) 处理的植株全钾含量最高, 与 ($1/2CF+V_0HA_0$) 处理、($3/4CF+V_0HA_0$) 处理和 ($1/2CF+V_0HA_{250}$) 处理, 差异显著, 但与其他处理之间无显著差异。CF 施用量下, V_0HA_0 、 V_0HA_{250} 和 V_0HA_{500} 3 个处理间植株全钾含量无显著差异; 3/4CF 施用量下, V_0HA_{250} 处理和 V_0HA_{500} 处理较 V_0HA_0 处理分别提高 10.4% 和

12.9%, 差异显著, V_0HA_{250} 处理和 V_0HA_{500} 处理间无显著差异; 1/2CF 施用量下, V_0HA_{500} 处理较 V_0HA_0 处理和 V_0HA_{250} 处理分别提高 31.6% 和 26.5%, 差异显著。

由图 7B 可知, 拔节期 ($CF+V_{100}HA_{500}$) 处理的植株全钾含量最高, 与其他处理均存在显著差异。CF 施用量下, $V_{100}HA_{500}$ 处理的植株全钾含量较 $V_{100}HA_0$ 处理和 $V_{100}HA_{250}$ 处理提高 14.0% 和 16.9%, 差异显著, $V_{100}HA_0$ 处理和 $V_{100}HA_{250}$ 处理间无显著

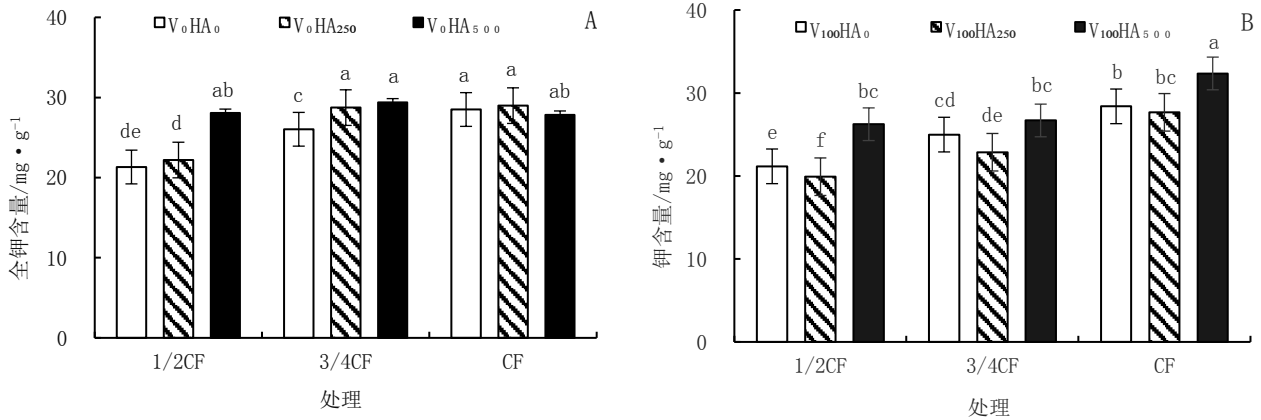


图7 化肥配施腐植酸与腐熟剂对拔节期玉米植株全钾含量的影响

差异;3/4CF施用量下, V₁₀₀HA₅₀₀处理的植株全钾含量较 V₁₀₀HA₂₅₀处理提高了 16.7%, 差异显著;1/2CF 施用量下, V₁₀₀HA₅₀₀处理的植株全钾含量较 V₁₀₀HA₀ 处理和 V₁₀₀HA₂₅₀处理分别提高了 24.0% 和 31.8%, 差异显著, V₀HA₀处理和 V₀HA₂₅₀处理之间也存在显著差异。

由图 8A 可知, 抽雄期, (3/4CF+V₀HA₀)处理的植株全钾含量最高, 但与(3/4CF+V₀HA₂₅₀)处理和 (CF+V₀HA₀)处理间无显著差异。CF 施用量下, V₀HA₀处理植株全钾含量较 V₀HA₂₅₀处理和 V₀HA₅₀₀处理提高了 6.3% 和 8.8%, 差异显著, 但 V₀HA₂₅₀处理和 V₀HA₅₀₀处理间无显著差异;3/4CF 施用量下,

V₀HA₀处理和 V₀HA₂₅₀处理间无显著差异, 但显著高于 V₀HA₅₀₀处理;1/2CF 施用量下, 3 个处理间无显著差异。

由图 8B 可知, 抽雄期, (3/4CF+V₁₀₀HA₀)处理的植株全钾含量最高, 但不同化肥施用量下, V₁₀₀HA₀处理间无显著差异。CF 施用量下, V₁₀₀HA₀处理较 V₁₀₀HA₂₅₀处理和 V₁₀₀HA₅₀₀处理提高 17.2% 和 20.3%, 差异显著;3/4CF 施用量下, V₁₀₀HA₂₅₀处理植株全钾含量显著低于 V₁₀₀HA₀处理和 V₁₀₀HA₅₀₀处理;1/2CF 施用量下, V₁₀₀HA₀处理植株全钾含量显著高于 V₁₀₀HA₂₅₀处理和 V₁₀₀HA₅₀₀处理。

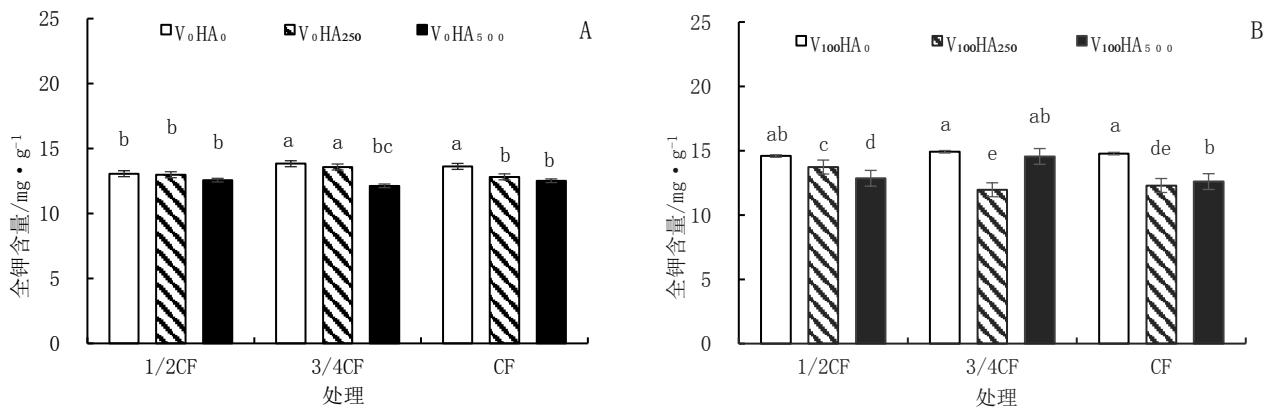


图8 化肥配施腐植酸与腐熟剂对抽雄期玉米植株全钾含量的影响

3 讨论与结论

作物生长过程中, 根系同时吸收土壤的养分和施用的肥料, 而外源肥料同时也弥补土壤养分的损失, 尤其是磷、钾等移动距离短、不易转化的矿质元素。因此, 改变施肥方式与化学肥料的用量在影响肥料利用效率上起着同样重要的作用。

本研究发现减少化肥用量同时配施腐植酸, 可以起到提高化肥利用效率的作用, 在植株全氮、全磷元素吸收利用上均存在互作效应。腐植酸是含有醌基、羰基、羧基等多种官能团的大聚合体, 与多种金属元素存在络合效应, 对于土壤养分的活化作用显著^[6]。但施入大量的粉状腐植酸改变了土壤团聚体组成, 造成耕层土壤的通透性变劣,

影响了土壤速效养分的转化,限制了植物养分吸收。本研究中 HA_{500} 施用效果显著低于 HA_{250} 处理,甚至低于不配施腐植酸对照。研究发现,在腐植酸有机肥的作用下土壤速效磷、钾含量均增加,肥料的利用效率提高^[7];腐植酸类物质增加土壤速效磷含量和磷肥的农学效率^[8]。腐植酸尿素的应用也表明,腐植酸促进了植株对磷的积累,但超过0.2%用量时肥料利用率降低^[9]。这些研究证明腐植酸有效活化土壤矿质养分,利于植株的整体养分吸收,而本研究中玉米植株的大量元素含量并未显著提高,可能土壤养分转化吸收需要一定时间才可在作物养分含量上得以体现。本研究仅限于拔节和抽雄期玉米植株的养分含量,对于土壤养分的测定以及成熟期植株的养分含量测定有待进一步研究。

土壤微生物不仅与土壤营养物质分解转化密切相关,还能将不易被作物吸收利用的难溶性无机物变为可溶性物质,从而提高土壤养分供给能力^[10]。利用外源微生物改善土壤理化性状,提高土壤肥力,促进作物生长的方式近些年来被广泛应用^[11-12]。秸秆腐熟剂的研究和应用在秸秆堆腐、秸秆直接还田等秸秆利用中不断进步^[11,13],秸秆腐熟剂多为芽孢杆菌、木霉菌、酵母菌等微生物^[11-13],这些微生物本身对作物根系生长及根际土壤养分转化均有显著的促进作用^[14]。本研究中腐熟剂与化肥配施可起到促进氮、磷等大量元素利用,提高氮素效率,增加干物质积累的作用。腐熟剂中的微生物在生命活动过程中分泌的有机酸类有活化土壤难溶养分、提高土壤肥力的作用^[15],与化肥配施可以减少化肥用量。

作物产量是衡量养分对作物生长贡献的直接参数,也能够反映养分在农田中的有效性或丰缺程度。肥料的农学效率、吸收利用效率等评价肥料利用率的指标都是基于对作物产量的影响^[16]。腐植酸和微生物本身就具有刺激作物根系生长,增加根系有机养分吸收的作用^[17]。本研究发现,腐植酸和腐熟剂配施化肥在植株磷、钾元素含量上增幅效果低于植株干物质积累量。不同化肥处理下 V_0HA_{250} 处理的拔节期和抽雄期玉米单株干重较 V_0HA_0 显著提高,但同时配施腐熟剂和腐植酸,植株单株干重有随着施肥量增加而降低的趋势。可能是腐植酸具有较高的碳氮比,施用腐植酸促进了腐熟剂中微生物繁殖与玉米生长间的养分竞争。可见,通过促进土壤养分转化、吸收,提

高肥料利用效率,并不是腐植酸和腐熟剂配施化肥保障作物产量形成的唯一途径,可能还与作物本身有关,是“肥料-土壤-作物”综合作用的结果^[17]。

参考文献:

- [1] 黄晓丹,李陈,黄翌.基于分省数据的中国农药化肥施用量区域差异研究[J].生态经济,2019,35(4):118-124.
- [2] 费红梅,王立,王奥,等.土地政策对耕地质量影响的研究—基于吉林省数据的实证分析[J].东北农业科学,2020,45(1):79-82,118.
- [3] 孙冬霞,李明军,吴爱兵,等.有机肥及其配套机械化技术的研究进展[J].中国农机化学报,2019,40(2):72-80.
- [4] 刘伟,刘景辉,萨如拉,等.腐植酸水溶肥料对燕麦叶片保护酶活性和渗透物质的影响[J].灌溉排水学报,2014,33(1):107-109.
- [5] 庞春花,贺笑,张永清,等.氮肥与腐植酸配施对藜麦根系抗旱生理效应及产量的影响[J].干旱区资源与环境,2019,33(3):184-188.
- [6] Wang S, Xu J P, Zhang X, et al. Structural characteristics of humic-like acid from microbial utilization of lignin involving different mineral types[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26: 23923-23936.
- [7] 何浩,张宇彤,危常州,等.不同有机替代减肥方式对玉米生长及土壤肥力的影响[J].水土保持学报,2019,33(5):281-287.
- [8] 王倩姿,王玉,孙志梅,等.腐植酸类物质的施用对盐碱地的改良效果[J].应用生态学报,2019,30(4):1227-1234.
- [9] 冉斌,张爱华,张钦,等.新型腐植酸尿素对玉米产量、养分积累及利用的影响[J].河南农业科学,2018,47(12):28-33.
- [10] 王静,王冬梅,任远,等.漓江河岸带不同水文环境土壤微生物与土壤养分的耦合关系[J].生态学报,2019,39(8):2687-2695.
- [11] 蔡立群,牛怡,罗珠珠,等.秸秆促腐还田土壤养分及微生物量的动态变化[J].中国生态农业学报,2014,22(9):1047-1056.
- [12] 李乐,孙海,刘政波,等.微生物肥料的作用、机理及发展方向[J].东北农业科学,2016,41(4):63-69.
- [13] 张丽霞,王俊文,王立春,等.有机物料腐熟剂在东北农作物秸秆还田上的应用[J].东北农业科学,2018,43(6):5-8.
- [14] Chakraborty P, Tribedi P. Functional diversity performs a key role in the isolation of nitrogen-fixing and phosphate-solubilizing bacteria from soil[J]. Folia Microbiologica, 2019, 64: 461-470.
- [15] 黄东风,王利民,李卫华,等.培肥措施培肥土壤的效果与机理研究进展[J].中国生态农业学报,2014,22(2):127-135.
- [16] 巨晓棠.氮肥有效率的观念及意义—兼论对传统氮肥利用率的误解[J].土壤学报,2014,51(5):921-933.
- [17] 郭伟,王庆祥.腐植酸浸种对盐碱胁迫下小麦幼苗抗氧化系统的影响[J].应用生态学报,2011,22(10):2539-2545.

(责任编辑:范杰英)