

孙海燕,刘浩南,牡丹凤,等. 化肥减量配施腐殖酸对玉米抗氧化系统、养分吸收及干物质积累的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(22):61-68.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.22.009

化肥减量配施腐殖酸对玉米抗氧化系统、养分吸收及干物质积累的影响

孙海燕^{1,2}, 刘浩南¹, 牡丹凤³, 郭伟^{1,4}

(1. 黑龙江八一农垦大学农学院,黑龙江大庆 163319; 2. 农业农村部东北平原农业绿色低碳重点实验室,黑龙江大庆 163319;
3. 陕西省宝鸡市农业科学研究院,陕西宝鸡 722400; 4. 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:通过 2 年盆栽试验,设置 CK(不施肥)、CF(常规化肥)、0.85CF(85% 常规化肥配施 400 kg/hm² 腐殖酸钾)和 0.70CF(70% 常规化肥配施 600 kg/hm² 腐殖酸钾)4 个处理,研究化肥减量配施腐殖酸对玉米抗氧化系统、养分吸收及干物质积累的影响。结果表明,腐殖酸可提高玉米拔节期植株的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)及抗坏血酸过氧化物酶(APX)的活性,显著降低丙二醛含量;而在玉米抽雄期则主要通过提高 POD 和 APX 活性提高植株抗氧化能力。腐殖酸加强了玉米植株谷胱甘肽-抗坏血酸循环活性;加强了植株对氮和钾素的吸收,不利于磷素吸收。综合分析,在减少常规化肥用量 15% 的同时配施 400 kg/hm² 腐殖酸钾,可诱导玉米植株提高抗氧化能力,进而提高养分吸收能力。0.85 CF 处理 2 年的植株生物量较常规化肥对照分别显著增加了 112.3% 和 106.2%。

关键词:玉米;化肥减量;腐殖酸;抗氧化系统;养分吸收;干物质

中图分类号:S513.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)22-0061-08

玉米是世界上最重要的粮食作物之一,种植面积和产量居世界三大谷类作物之首。氮、磷和钾是植物生长发育的必要元素。20 世纪,化肥投入推动了农业集约化,大大提高了作物产量,但农业生产上盲目施肥现象十分严重。肥料利用效率低不仅浪费了巨大的资源,增加了生产成本,也造成了环境污染,限制了农业增产和农民增收^[1]。腐殖酸是经过长期的物理、化学和生物过程从动植物残体和微生物中提取的主要有机化合物,对植物生长有直接的促进作用^[2]。腐殖酸配合各种无机肥料,能改善土壤质量,提高肥料利用率,提高作物产量^[3-6]。

植物在生长代谢及逆境环境下有较高的保护酶系统,其中超氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶相互协调在一定程度上能减缓活性氧对植

物细胞造成的伤害^[7]。丙二醛是细胞膜发生脂质过氧化作用而产生的,可与超氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶一起反映植物细胞膜的损伤程度^[8]。同时抗坏血酸和谷胱甘肽等低分子量抗氧化剂,也可直接与超阴离子、分子单态氧和羟基自由基基相互作用,参与活性氧的非酶清除^[9]。目前的研究大多集中在腐殖酸对土壤质量和微生物的影响方面,而腐殖酸对谷胱甘肽-抗氧化系统及养分吸收的研究较少。

本研究以玉米郑单 958 为试验材料,探讨化肥减量配施不同比例腐殖酸对抗氧化系统、养分吸收及干物质质量的影响,比较不同处理之间腐殖酸的作用,旨在明确东北黑土区玉米适宜的肥料调控管理措施,为玉米绿色高效栽培的肥料用量提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验概况

本试验于 2019—2020 年在黑龙江省大庆市黑龙江八一农垦大学农学院温室进行。土壤类型为草甸黑土。盆栽试验采用高 25 cm、直径 22 cm 的塑料圆桶,每盆装风干土 10 kg。每盆播 5 粒种子,出苗后保留 2 株,根据土壤干湿程度定量灌溉。土壤养分含量为:有机质含量 18.2 g/kg,碱解氮含量

收稿日期:2023-01-12

基金项目:黑龙江省应用技术与开发计划重点项目(编号:GA20B102-02);黑龙江八一农垦大学“揭榜挂帅”科技攻关项目(编号:JB20220001);黑龙江八一农垦大学基础培育课题(编号:ZRCPY202101)。

作者简介:孙海燕(1979—),女,内蒙古赤峰人,博士,副教授,主要从事植物营养与施肥研究。E-mail:shysun7908@126.com。

通信作者:郭伟,博士,教授,主要从事作物生理生态研究。E-mail:agrigw@163.com。

58.3 mg/kg,有效磷含量 10.1 mg/kg,速效钾含量 101.2 mg/kg。

1.2 试验材料与设计

试验选取郑单 958,按随机区组设计,共设置 4 个处理,分别是不施肥料(CK);常规肥料(CF);85% 常规施肥量的尿素、磷酸二铵和 400 kg/hm² 腐殖酸钾(0.85CF);70% 常规施肥量的尿素和磷酸二铵和 600 kg/hm² 腐殖酸钾(0.70CF)。每个处理重复 5 次。肥料种类包括尿素(46% N)、磷酸二铵(18% N、46% P₂O₅)、硫酸钾(50% K₂O)、腐殖酸钾[江苏福隆农业发展有限公司(0.87% N、0.76% P₂O₅、12.5% K₂O、65% 腐殖酸)]。每个桶的施肥量均按照田间施肥量计算。由于腐殖酸中 N 和 P₂O₅ 的含量较低,因此在不同处理中忽略了 N 和 P₂O₅ 的含量。试验设计的施肥情况见表 1。

表 1 试验设计及施肥量

处理	肥料种类及用量(kg/hm ²)			
	尿素	磷酸二铵	硫酸钾	腐殖酸钾
CK	0	0	0	0
CF	375	225	150	0
0.85CF	319	191	50	400
0.70CF	263	157	0	600

1.3 测定项目与方法

1.3.1 取样方法 拔节期(elongation stage,ES)和抽雄期(tasseling stage,TS)取主茎第 4 和第 5 功能叶作鲜样和干样。新鲜样品立即用液态氮冷冻,-80 ℃ 保存,测定抗氧化系统指标时均使用混合样。将剩余的样品置于 105 ℃ 烘箱中烘干 15 min,然后置于 80 ℃ 恒质量后放入干燥器中保存,测定植株养分含量。将成熟的 2 株玉米连根拔起,收集成熟期植株地上部器官,烘箱内 110 ℃ 杀青 1 h,80 ℃ 烘干至恒质量,自然冷却后测定每株植株地上部干物质质量。

1.3.2 测定指标及方法 超氧化物歧化酶(superoxide dismutase,SOD)活性采用氮蓝四唑光化还原法测定;过氧化物酶(peroxidase,POD)活性采用愈创木酚法测定;过氧化氢酶(catalase,CAT)活性采用紫外分光光度法测定;丙二醛(malondialdehyde,MDA)含量采用硫代巴比妥酸法测定;超氧阴离子自由基(superoxide anion radical,SAR)含量采用羟胺氧化法测定^[10]。谷胱甘肽含量(glutathione,GSH)含量采用 DTNB 速率比色法测定^[11];抗坏血酸过氧化物酶(aseorbate peroxidase,

APX)和谷胱甘肽还原酶(glutathione reductase,GR)活性采用 Solarbio 试剂盒测定。

植株全氮(total nitrogen,TN)、全磷(total phosphorus,TP)和全钾(total potassium,TK)含量采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消化,ICP-MS 测定^[12]。

1.4 统计分析

利用 Excel 2010 和 SPSS Statistics 25 软件进行数据处理和统计分析。采用单因素和 Duncan's 新复极差法进行方差分析和多重比较($\alpha=0.05$)。利用 Excel 2010 软件作图,图表中数据为平均值±标准差。

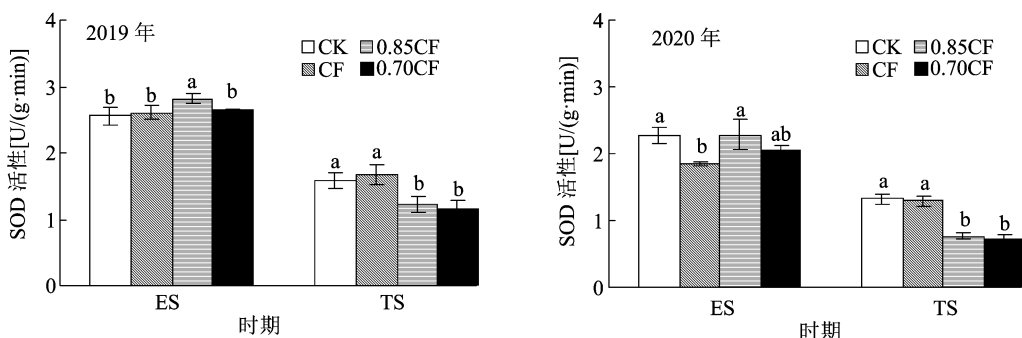
2 结果与分析

2.1 化肥减量配施腐殖酸对玉米幼苗抗氧化系统的影响

2.1.1 化肥减量配施腐殖酸对植株 SOD 活性的影响 由图 1 可知,2019 年拔节期,0.85CF 处理的叶片 SOD 活性较 CF 处理显著提高了 8.2%,CF 与 0.70CF 处理无显著差异;2019 年抽雄期,0.85CF、0.70CF 处理的叶片 SOD 活性较 CF 处理分别显著降低 27.0%、29.8%,二者间无显著差异。2020 年拔节期,0.85CF 处理的叶片 SOD 活性较 CF 处理显著提高了 23.2%,而 0.70CF 与 CF 处理 SOD 活性无显著差异;2020 年抽雄期,0.85CF、0.70CF 处理的 SOD 活性较 CF 处理分别显著降低了 40.5%、44.7%,但二者间无显著差异。

2.1.2 化肥减量配施腐殖酸对 POD 活性的影响 由图 2 可知,2019 年拔节期,4 个处理之间没有显著差异,抽雄期 CF、0.85CF 处理 POD 活性较 0.70CF 处理分别显著提高 13.1%、23.2%,但二者无显著差异。2020 年拔节期,化肥减量配施腐殖酸不同程度提高了叶片 POD 活性,其中 0.85CF 处理 POD 活性较 CF 处理显著提高了 19.8%;2020 年抽雄期,各施肥处理的叶片 POD 活性显著高于对照,但三者之间差异不显著。

2.1.3 化肥减量配施腐殖酸对植株 CAT 活性的影响 由图 3 可以看出,2019 年拔节期,0.85CF 处理叶片的 CAT 活性较 CF、0.70CF 处理分别显著增加 14.2%、50.7%,0.70CF 处理 CAT 活性较 CF 处理显著降低 24.2%;2019 年抽雄期,0.70CF 处理叶片 CAT 活性较 CF、0.85CF 处理分别显著提高 12.6%、35.0%,并且 0.85CF 处理 CAT 活性较 CF 显著降低 16.6%。2020 年拔节期,CF 处理的 CAT 活性较 0.85CF 处理显著提高 31.7%,但与 0.70CF 无显著



CK—不施肥；CF—100% 化肥处理 100%；0.85CF—化肥减量 15% 配施腐殖酸；0.70CF—化肥减量 30% 配施腐殖酸；ES—拔节期；TS—抽雄期。不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。以下同

图1 化肥减量配施腐殖酸对植株 SOD 活性的影响

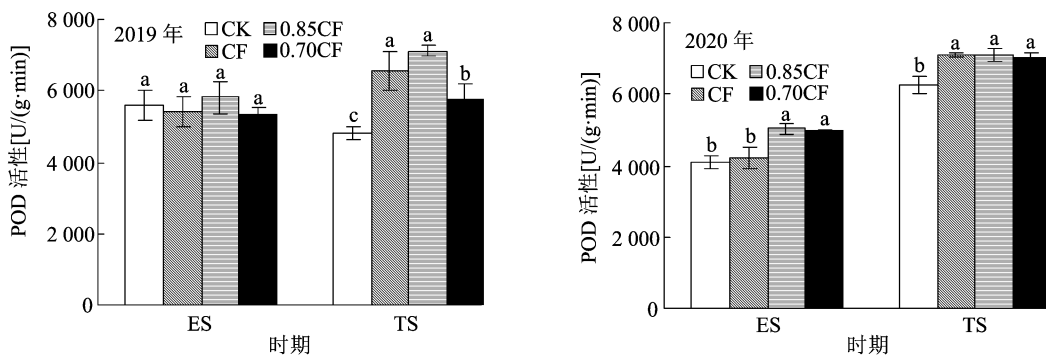


图2 化肥减量配施腐殖酸对植株 POD 活性的影响

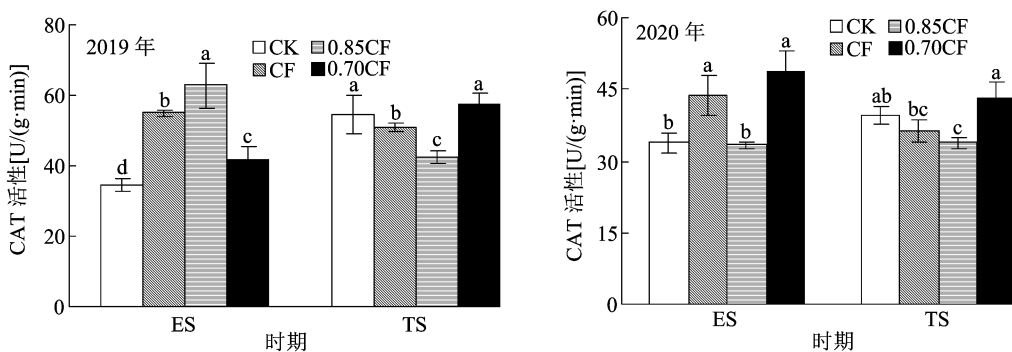


图3 化肥减量配施腐殖酸对植株 CAT 活性的影响

差异;2020 年抽雄期,0.70CF 处理 CAT 活性较 CF、0.85CF 处理分别显著增加 18.8%、27.6%,但 0.85CF 与 CF 处理无显著差异。

2.1.4 化肥减量配施腐殖酸对植株 APX 活性的影响 由图 4 可知,2019 年拔节期,0.85CF 处理叶片的 APX 活性较 CF、0.70CF 处理分别显著提高 50.7%、94.8%,并且 CF、0.70CF 间存在显著差异;2019 年抽雄期,0.85CF、0.70CF 处理叶片 APX 活性较 CF 处理分别显著提高 47.8%、28.2%。2020 年拔节期,0.85CF 处理叶片 APX 活性较 CF 处理显著提高 13.0%,0.70CF 处理的 APX 活性较 CF 处理显著降低 15.9%;2020 年抽雄期,0.85CF、0.70CF

处理 APX 活性较 CF 处理分别显著提高 77.5%、177.9%,并且 0.70CF 处理 APX 活性显著高于 0.85CF 处理。

2.1.5 化肥减量配施腐殖酸对植株 GR 活性的影响 由图 5 可知,2019 年拔节期,0.85CF、0.70CF 处理 GR 活性较 CF 处理分别显著增加 25.1%、14.6%,并且 0.85CF、0.70CF 处理间无显著差异;2019 年抽雄期,CF、0.85CF 处理的 GR 活性较 0.70CF 处理分别显著提高 59.2%、56.2%,但 CF、0.85CF 间差异不显著。2020 年拔节期,0.70CF 处理的 GR 活性较 0.85CF 显著增加 27.6%,二者较 CF 处理分别显著增加 79.6%、129.1%;2020 年抽

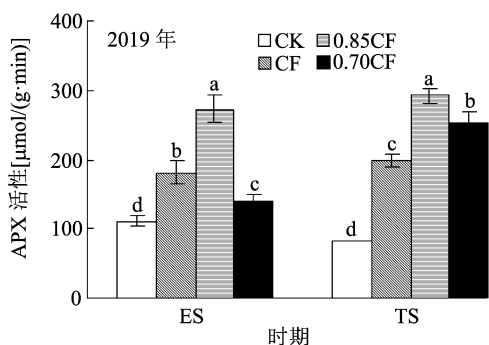


图4 化肥减量配施腐殖酸对植株 APX 活性的影响

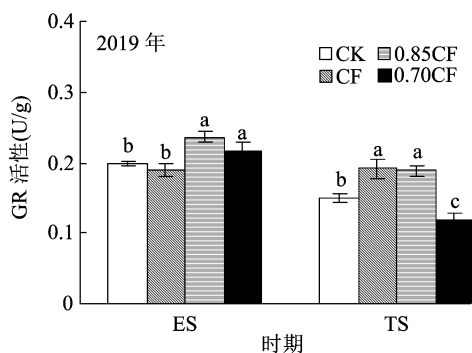


图5 化肥减量配施腐殖酸对植株 GR 活性的影响

雄期,0.85CF、0.70CF 处理的 GR 活性较 CF 处理显著增加 30.7%、15.1%,并且 0.85CF、0.70CF 处理间差异显著。

2.1.6 化肥减量配施腐殖酸对 GSH 含量的影响

由图 6 可知,2019 年拔节期,0.85CF 与 0.70CF 处理间 GSH 含量存在显著差异,二者的 GSH 含量较 CF 处理分别显著增加了 37.4%、168.0%;2019 年

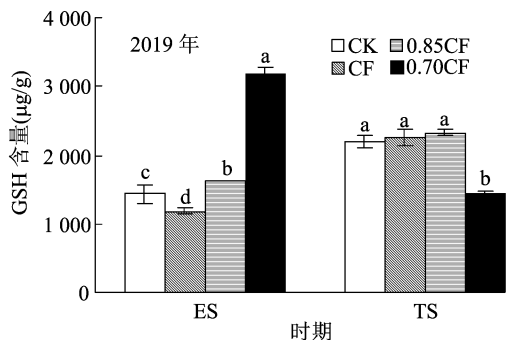
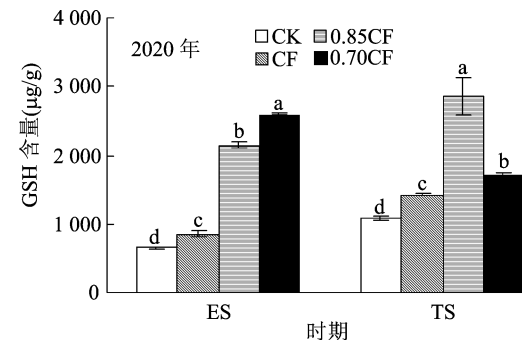


图6 化肥减量配施腐殖酸对植株 GSH 含量的影响

2.1.7 化肥减量配施腐殖酸对 MDA 含量的影响

MDA 含量反映细胞膜脂过氧化程度和植物对逆境条件反应的强弱。由图 7 可以看出,2019 年拔节期,0.85CF 处理 MDA 含量较 0.70CF 处理显著降低 11.6%,但二者与 CF 处理均无显著差异;2019 年抽雄期,0.85CF 处理叶片的 MDA 含量较 CF、

抽雄期,CF、0.85CF 处理间 GSH 含量无显著差异,而二者的 GSH 含量较 0.70CF 处理分别显著增加 55.5%、60.8%。2020 年拔节期,0.85CF、0.70CF 处理间 GSH 含量存在显著差异,并且二者 GSH 含量较 CF 处理显著增加。2020 年抽雄期,0.85CF、0.70CF 处理的 GSH 含量存在显著差异,二者 GSH 含量较 CF 处理分别显著提高 100.1%、20.0%。



0.70CF 处理分别显著降低 10.7%、12.8%,而 CF、0.70CF 处理间无显著差异。2020 年拔节期,0.85CF 处理 MDA 含量较 CF、0.70CF 显著降低 12.5%、18.1%,并且 CF、0.70CF 处理间无显著差异;2020 年抽雄期,0.70CF 处理 MDA 含量较 CF、0.85CF 处理分别显著增加 25.8%、15.0%,而 CF 和 0.85CF

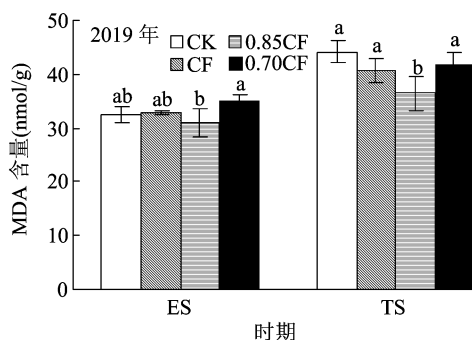
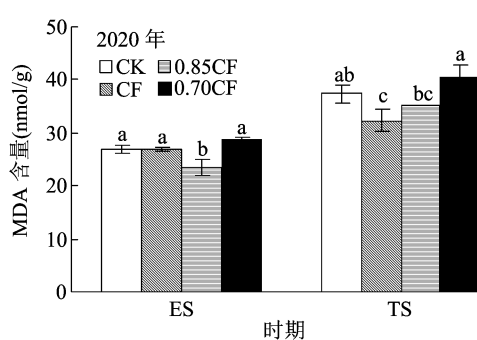


图7 化肥减量配施腐殖酸对植株 MDA 含量的影响



处理间没有显著差异。

2.1.8 化肥减量配施腐殖酸对 SAR 含量的影响

由图 8 可知,2019 年拔节期,0.85CF 处理 SAR 含量较 CF、0.70CF 处理分别显著降低了 17.3%、18.3%,而 CF、0.70CF 处理间无显著差异;2019 年抽雄期,0.85CF、0.70CF 处理 SAR 含量较 CF 处理

分别显著增加 67.4%、61.4%,但二者间无显著差异。2020 年拔节期,0.85CF 处理 SAR 含量较 CF、0.70CF 处理分别显著下降 37.1%、40.3%,但二者间无显著差异;2020 年抽雄期,0.85CF 处理 SAR 含量较 0.70CF 处理显著增加 13.2%,并且二者的 SAR 含量较 CF 处理分别显著增加 25.1%、10.6%。

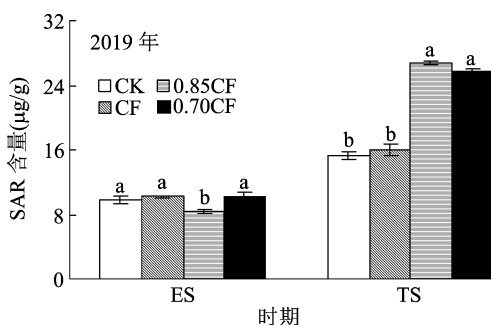
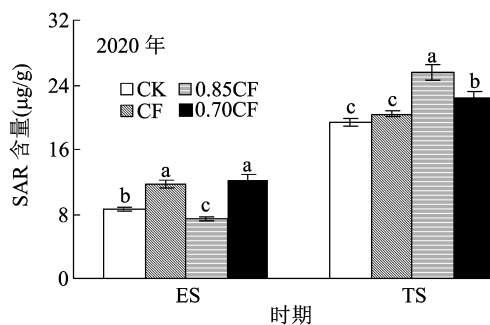


图8 化肥减量配施腐殖酸对植株 SAR 含量的影响



2.2 化肥减量配施腐殖酸对玉米幼苗养分吸收的影响

2.2.1 化肥减量配施腐殖酸对植株 TN 含量的影响

由图 9 可知,2019 年拔节期,0.85CF、0.70CF 处理的植株 TN 含量较 CF 处理分别显著升高 20.1%、10.0%,并且 0.85CF 较 0.70CF 处理显著增加 9.2%;2019 年抽雄期,0.85CF 处理植株 TN 含

量较 CF、0.70CF 处理分别显著提高 14.5%、15.7%。2020 年拔节期,0.85CF、0.70CF、CF 处理间的 TN 含量差异均不显著,但各处理均显著高于 CK;2020 年抽雄期,CF、0.85CF 处理植株 TN 含量较 0.70CF 处理分别显著增加 11.0%、12.5%。可见,腐殖酸配施对玉米生育前期固氮效应明显,成熟期氮素转移到繁殖器官较多,导致叶片氮素含量下降。

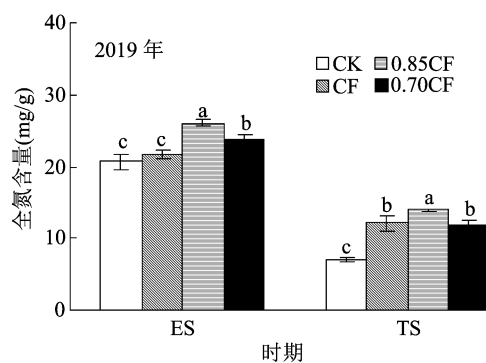
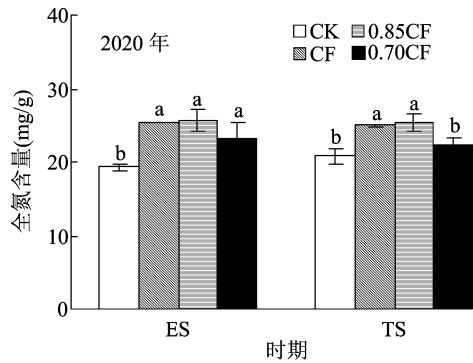


图9 化肥减量配施腐殖酸对植株全氮含量的影响



2.2.2 化肥减量配施腐殖酸对 TP 含量的影响

由图 10 可知,2019 年拔节期,0.85CF、0.70CF 处理的植株 TP 含量较 CF 处理分别显著提高 15.4%、16.2%,但 0.85CF、0.70CF 处理间无显著差异;2019 年抽雄期,0.85CF、0.70CF 处理植株 TP 含量较 CF 处理分别显著下降 23.1%、30.0%,0.70CF 与 0.85CF 处理间差异不显著。2020 年拔节期,

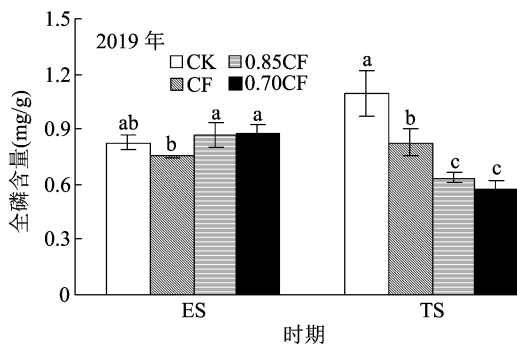


图10 化肥减量配施腐殖酸对植株全磷含量的影响

2.2.3 化肥减量配施腐殖酸对 TK 含量的影响

由图 11 可知,2019 年拔节期,随着化肥施用量的减少,植株全钾含量逐渐增加,0.85CF、0.70CF 处理全钾含量较 CF 处理分别显著提高了 18.3%、32.9%,0.70CF 较 0.85CF 处理显著提高了 12.3%;2019 年抽雄期,CF、0.85CF、0.70CF 处理植株钾含量显著高于 CK,各施肥处理间无显著差异。2020 年拔节期,0.70CF 处理植株全钾含量较 CF、

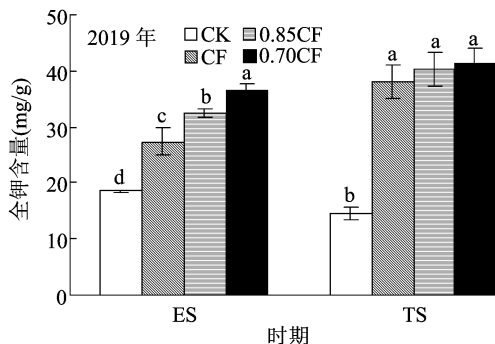
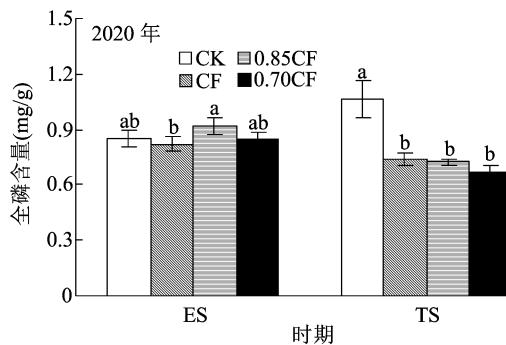


图11 化肥减量配施腐殖酸对植株全钾含量的影响

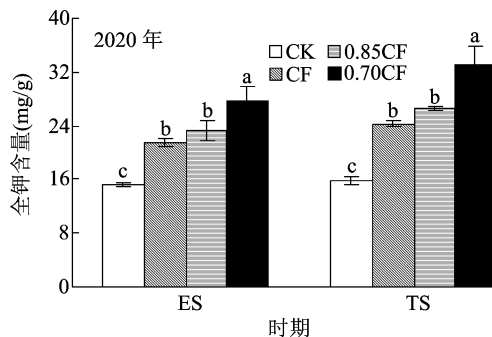
2.3 化肥减量配施腐殖酸对植株地上部干物质量的影响

由图 12 可知,2019 年 0.85CF 处理的植株地上部干质量较 CK 和 CF 处理分别显著增加了 183.7%、112.3%,0.70CF 处理较 CK 和 CF 处理分别显著增加了 152.2%、88.8%;2020 年 0.85CF 处理的植株地上部干质量较 CK 和 CF 处理分别显著增加了 168.4%、106.2%,0.70CF 处理较 CK 和 CF

0.85CF 处理植株 TP 含量较 CF 处理显著升高了 12.0%,但 0.70CF 处理与 CF 处理差异没有达到显著水平;2020 年抽雄期,CF、0.85CF、0.70CF 处理植株 TP 含量无显著差异。由此可知,腐殖酸配施增加了玉米拔节期叶片中磷素的积累,由于磷在植物体内的再利用程度较高,拔节期植物体内的磷保留在茎叶中。



0.85CF 处理分别显著提高了 28.4%、18.8%,但 0.85CF 与 CF 处理间无显著差异;2020 年抽雄期,0.70CF 植株全钾含量较 CF、0.85CF 处理分别显著提高了 37.2%、25.1%,但 0.85CF 与 CF 处理间无显著差异。由此可知,拔节期玉米植株中钾的含量都低于抽雄期的含量,并且各施肥处理的钾含量随着化肥施用量的减少而升高,主要是由于腐殖酸配施增加了玉米成熟期叶片中钾素的积累。



处理分别显著增加了 187.3%、120.8%。

3 讨论

3.1 化肥减量配施腐殖酸对玉米幼苗抗氧化系统的影响

在逆境胁迫下,植物体内活性氧代谢失调,膜结构被破坏。在外界环境突然恶化时,最敏感的部位是膜系统,逆境可对植物细胞膜造成不可逆伤害,

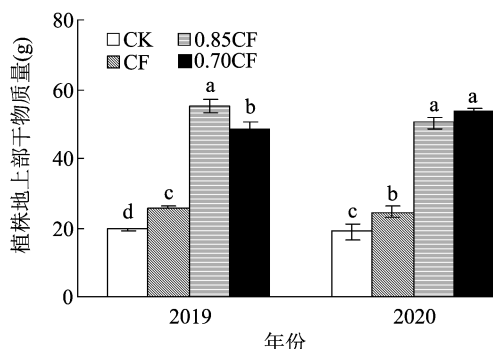


图12 化肥减量配施腐殖酸对玉米单株干物质质量的影响

其结果就是丧失细胞膜的半透性,从而导致膜内物质向外渗漏,最终导致细胞死亡。SOD、CAT、POD、APX、GR 是膜保护膜系统的主要酶类,可以清除细胞内过量的活性氧,维持细胞膜结构完整性,减轻外界极端环境对植物的伤害,而 MDA 积累量过多会严重地损伤生物膜。

逆境胁迫下,施用腐殖酸可以激活并产生大量的 SOD、CAT、POD,能够通过抗氧化酶系统调节植物的新陈代谢,降低细胞质膜透性,缓解逆境胁迫对植物的伤害,从而促进植物生长^[13]。生物肥的施用也可以增加相关防御性酶的活性,提高植物抗逆性,保护植物体免遭逆境的侵害^[14-15]。本研究结果表明,在拔节期,相比单施化肥,化肥减量配施腐殖酸 SAR 含量先减少后增加,SOD 活性先增加后降低,CAT 活性呈现不一致的趋势,因此 MDA 含量也表现为先降低后升高。可见,化肥减量 15% 配施腐殖酸可以减少玉米植株叶片中 MDA 含量积累量,抑制其对植株带来的毒害作用,而化肥减量 30% 配施腐殖酸会增加 MDA 的积累量,损害细胞膜结构。宋以玲等研究表明,化肥减量配施生物有机肥可以促进植物生长,提高油菜 SOD、CAT、POD 活性,降低 SAR 含量以及 MDA 的产生量^[16]。这与本研究结果相似。本研究结果表明,在抽雄期中相比单施化肥处理化肥减量配施腐殖酸 SAR 含量显著增加,SOD 活性显著降低,CAT 活性也呈现出先降低后增加的趋势,MDA 含量在 0.85CF 处理影响显著。这与刘方春等的研究结果^[17]基本一致。化肥减量配施腐殖酸的 SAR 含量显著高于不施肥和单施化肥,这并不能代表 CK 和 CF 没有受到环境胁迫,配施腐殖酸后 APX、GR 等活性基本呈现增加趋势,不仅及时清除了活性氧,也使 MDA 含量基本呈增加趋势。

郭丽红等对小麦幼苗进行冷激刺激植株产生抗冷性研究发现,冷激可以让植物体内的还原型谷

胱甘肽含量升高,氧化型谷胱甘肽含量降低,有效清除防御机制产生的过氧化氢,防止冷害^[18]。土壤紧实胁迫下,黄瓜叶片中的 GSH 含量和 GR 活性降低,随着土壤紧实胁迫时间延长 APX 与 GR 活性增强,GSH 含量增加^[19]。本研究发现,与 CF 处理比较,0.85CF 处理的 APX、GR 活性与 GSH 含量增加,这与王聪等的研究结果^[20]一致。

3.2 化肥减量配施腐殖酸对玉米幼苗养分吸收的影响

施肥对作物的养分吸收量和各器官间的分配有着较大的影响,肥料的种类、肥料施用量以及施肥方式不同,研究结果也会存在差异。牛振明研究发现,化肥减量配施生物肥对甘蓝的影响与单独施用化肥相比,提高了全氮含量,化肥施用量减少 30% ~ 40%,叶片的全氮含量显著降低^[21]。汤宏等研究不同施肥处理对辣椒的影响发现,有机肥料与化肥配施比单施化肥处理对植株氮、磷、钾养分吸收量多^[22]。本试验中,0.85CF 处理相比单施化肥植株全氮含量升高,而 0.70CF 处理植株的氮含量仍会降低。贾豪语在花椰菜上的研究发现,适量减少化肥施用量配合腐殖酸生物肥可以不减产,而当肥料施用过少时则直接影响植物对氮的吸收^[23]。可见,腐殖酸施用弥补了化肥减量对玉米氮素积累的影响,本研究得到类似的结果。

磷作为植物生长发育的三大必需营养元素之一,对提高产量和改善品质具有重要作用。研究证明施用腐殖酸可以增加植物对磷元素的吸收,促进植物生长发育^[24]。付桃秀研究发现,相较于常规施肥,化肥减量配施有机肥对早稻成熟期磷养分的吸收并未表现出显著影响^[25]。在本研究中,拔节期的植株磷含量随着化肥施用量的减少逐渐增加,当化肥减量 30%,即使配施一定量的腐殖酸,植株体内的磷含量仍较低。当植物生长到抽雄期,植株内的磷含量会随着化肥施用量的减少而降低,这可能是由于土壤中磷抑制了植株磷的吸收,也可能是作物徒长消耗了大量磷元素。

李孝良等的研究表明,随着有机肥替代化肥量的增加,玉米植株内的钾含量逐渐减少^[26]。党翼等的研究表明,随生育进程的不断延长,植株全钾含量逐渐增加,在施等量化肥的基础上配施有机肥可以显著提高玉米植株对钾的吸收^[27]。本研究结果表明,与常规施用化肥相比,化肥减量配施腐殖酸植株体内的钾含量逐渐增加,这与冯敬涛等的研究结果^[28]一致。

3.3 化肥减量配施腐殖酸对玉米干物质质量的影响

地上部干物质质量是评价作物生长发育情况比较重要的一个指标,它不仅与产量相关,也与养分的吸收积累量和肥料利用效率有着密不可分的关系^[29]。本研究发现,腐殖酸是影响地上部干物质积累的重要因素,化肥减量配施腐殖酸的养分模式,不仅增加了干物质质量,而且对玉米稳产增产及绿色农业发展具有重要意义。本试验是盆栽试验,环境条件有一定的局限性,在接下来的研究中需要通过田间试验进一步验证。

4 结论

本试验通过化肥减量配施不同腐殖酸对玉米植株养分含量及抗氧化能力进行比较,化肥减量配施腐殖酸刺激了作物根系对速效养分的吸收,玉米植株的氮、磷和钾素含量提高,尤其增强了对钾素的吸收能力,其中 0.85CF 处理的效果更显著,腐殖酸处理诱导了 SOD、POD、CAT 和 APX 等抗氧化酶系活性的增强,增加了植株的 SAR 含量,降低了 MDA 含量,同时促进了谷胱甘肽等抗氧化物质的合成,加强了玉米植株的系统抗性。0.85CF 和 0.70CF 处理均增加了玉米植株地上部干物质积累。综合分析,常规化肥减量 15% 配施 400 kg/hm² 腐殖酸是本研究中最适合的施肥量,可为东北地区玉米绿色高效栽培的肥料用量提供理论依据。

参考文献:

- [1] 张福锁,王激清,张卫峰,等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报,2008,45(5):915-924.
- [2] Wilson W S. Humic substances, peats and sludges: health and environmental aspects [M]. London: Royal Society of Chemistry, 1997.
- [3] Chen X G, Kou M, Tang Z H, et al. Responses of root physiological characteristics and yield of sweet potato to humic acid urea fertilizer [J]. PLoS One, 2017, 12(12): e0189715.
- [4] Suman S S, Spehia R S, Sharma V. Humic acid improved efficiency of fertigation and productivity of tomato [J]. Journal of Plant Nutrition, 2017, 40(3): 439-446.
- [5] Selladurai R, Purakayastha T J. Effect of humic acid multnutrient fertilizers on yield and nutrient use efficiency of potato [J]. Journal of Plant Nutrition, 2016, 39(7): 949-956.
- [6] Ahmad T, Khan R, Nawaz Khattak T. Effect of humic acid and fulvic acid based liquid and foliar fertilizers on the yield of wheat crop [J]. Journal of Plant Nutrition, 2018, 41(19): 2438-2445.
- [7] 吴敏,何鹏,韦家少. 钾水平对巴西橡胶树幼苗 MDA 含量和保护酶活性的影响[J]. 热带作物学报, 2010, 31(3): 376-380.
- [8] 姜宗庆,李成忠,余乐,等. 干旱胁迫对薄壳山核桃叶片丙二醛含量和 3 种抗氧化酶活性的影响[J]. 上海农业学报, 2019, 35(1): 7-10.
- [9] Shan C J, Zhang S L, Ou X Q. The roles of H₂S and H₂O₂ in regulating AsA-GSH cycle in the leaves of wheat seedlings under drought stress [J]. Protoplasma, 2018, 255(4): 1257-1262.
- [10] 张志良,瞿伟菁,李小方. 植物生理学实验指导 [M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [11] 上海植物生理研究所,上海市植物生理学会. 现代植物生物学实验指南 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 149.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 284-285.
- [13] 张水勤,袁亮,林治安,等. 腐殖酸促进植物生长的机理研究进展 [J]. 腐植酸, 2018(1): 46.
- [14] 崔仕春,杨秀芬,郑兴耘,等. 生物有机肥控制小麦全蚀病及作用机理初探 [J]. 中国生物防治学报, 2016, 32(1): 112-118.
- [15] 王彩虹,郝水源. 长期施用腐殖酸复合微生物肥对小麦生长及产量的影响 [J]. 江苏农业科学, 2022, 50(7): 100-105.
- [16] 宋以玲,于建,陈士更,等. 化肥减量配施生物有机肥对玉米生长及土壤微生物和酶活性的影响 [J]. 化肥工业, 2019, 46(1): 55-61.
- [17] 刘方春,邢尚军,马海林,等. 生物肥对冬枣生物学特性及产量和品质的影响 [J]. 水土保持学报, 2010, 24(6): 222-226.
- [18] 郭丽红,王定康,王德斌,等. 抗坏血酸和谷胱甘肽在小麦幼苗冷激诱导抗冷性中的变化 [J]. 昆明师范高等专科学校学报, 2007, 29(4): 66-68.
- [19] 郑俊鸞,孙艳,韩寿坤,等. 土壤紧实胁迫对黄瓜抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响 [J]. 中国农业科学, 2013, 46(2): 433-440.
- [20] 王聪,朱月林,杨立飞,等. NaCl 胁迫对菜用大豆种子抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5): 1209-1216.
- [21] 牛振明. 化肥减量及氮素形态配比对甘蓝养分吸收、产量和品质的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2014: 34-35.
- [22] 汤宏,张杨珠,侯金权,等. 不同施肥条件下夏季辣椒的生长发育与养分吸收规律研究 [J]. 土壤通报, 2012, 43(4): 890-895.
- [23] 贾豪语. 肥料配施对花椰菜生长、品质及养分吸收利用的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2013: 19-20.
- [24] 李杰,贾豪语,颀建明,等. 生物肥部分替代化肥对花椰菜产量、品质、光合特性及肥料利用率的影响 [J]. 草业学报, 2015, 24(1): 47-55.
- [25] 付桃秀. 化肥减量配施不同有机肥对双季稻产量和土壤肥力的影响 [D]. 南昌: 江西农业大学, 2016: 11-12.
- [26] 李孝良,胡立涛,王泓,等. 化肥减量配施有机肥对皖北夏玉米养分吸收及氮素利用效率的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2019, 42(1): 118-123.
- [27] 党翼,张建军,赵刚,等. 不同用量的有机肥对陇东旱地春玉米生长特性及产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2015(3): 62-67.
- [28] 冯敬涛,于天武,吴晓娴,等. 微生物菌肥对苹果土壤理化特性及养分吸收的影响 [J]. 北方园艺, 2021(2): 97-102.
- [29] 霍昭光. 水肥一体化技术对烤烟干物质积累和矿质养分吸收的影响 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2018: 17-18.