

郭伟,马传芳,马倩,等. 秸秆配施氮素与腐植酸对玉米苗期系统抗性 & 土壤微生物的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2020(4):32-39, 40.

秸秆配施氮素与腐植酸对玉米苗期系统抗性 及土壤微生物的影响

郭伟,马传芳,马倩,胡慧影

(黑龙江八一农垦大学/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:作物秸秆还田后其腐解过程对土壤的理化特性及作物生长具有短期和长期的双重效应,采用秸秆还田配套措施缓解秸秆腐解对当季作物幼苗生长的不利影响,是提高作物秸秆还田技术效率的关键问题。本研究以秸秆腐解对作物系统抗性与土壤微生物影响为切入点,通过盆栽试验,研究玉米秸秆还田配施腐植酸及氮肥对土壤真菌、细菌和放线菌数量,以及玉米植株抗氧化系统和苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的变化。结果表明:与不加入秸秆的对照比较,施用秸秆玉米抽雄期土壤放线菌、细菌和真菌的数量降低,从而影响了土壤微生物总量的增长。秸秆配施氮素或腐植酸降低了细菌、放线菌和真菌数量,因此,氮素或腐植酸配施秸秆处理拔节期的土壤微生物总量较只施用秸秆处理分别显著降低了29.3%和42.7%,两者同时配施处理的微生物总量显著降低了63.2%。施用秸秆使玉米拔节期超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性较不施用秸秆对照显著降低,超氧阴离子自由基(SAR)的积累导致丙二醛(MDA)含量显著增加和PAL活性的增强,秸秆配施氮肥导致SOD和POD活性的进一步降低和MDA含量的增加。施用秸秆对抽雄期玉米抗氧化系统的影响较小,但秸秆配施氮肥和腐植酸显著降低了POD活性。抽雄期施入秸秆处理的PAL活性较不施用秸秆对照降低了26.8%,但秸秆配施腐植酸或氮肥的PAL活性较只施秸秆处理分别显著提高了69.3%和60.1%,秸秆同时配施腐植酸和氮素处理的PAL活性较只施秸秆处理显著提高了76.2%。抽雄期只施用秸秆处理的植株干重较不施用秸秆对照降低了28.3%,秸秆配施腐植酸或氮肥处理的干重较只施用秸秆对照分别显著增加了24.4%和59.2%,秸秆同时配施腐植酸和氮素处理的干重较只施用秸秆处理显著增加了28.2%。因此,增施氮肥和腐植酸可以作为玉米连作下秸秆还田技术的配套措施。

关键词:玉米秸秆;腐植酸;氮素;土壤微生物;系统抗性

东北地区是我国最大的玉米产区,也是因作物秸秆焚烧而引发的霾污染多发和重发区域^[1],秸秆综合利用,尤其是加强秸秆还田力度成为当前农业生产面临的关键问题。另外,作物秸秆是一类富含养分的可再生生物质资源,将秸秆燃烧或移出耕地(同时缺少有机肥料投入)是造成黑土退化的重要原因^[2]。大量的研究和实践证明,长期的秸秆还田后可以有效改善土壤的理化性质,促进幼苗生长和经济产量的形成^[3-4]。但是秸秆还田后对当季作物生长的影响是多方面的,在适宜的生态条件和技术措施下有利于作物生长^[5-6],但也有研究认为,还田的秸秆在土壤微生物作用下腐解,打破土壤的碳氮平衡^[7],增加水分的消

耗^[8],产生大量对作物根系生长具有强烈化感效应的腐解产物^[9],尤其是玉米营养生长期,也是秸秆腐解的旺盛时期,造成作物当季经济产量的降低^[10]。因此,在秸秆还田过程中采取必要的配套措施降低对当季作物幼苗的不利影响,对秸秆还田技术全面应用具有十分重要的意义。秸秆还田配施氮肥^[11]或有机肥^[12],不但有利于秸秆的腐解,也有利于提高作物的氮素利用效率^[13]。但有机肥配施时玉米当季氮素含量趋于减少,可能是微生物繁殖导致的土壤氮含量降低^[14]。可见,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^[15]。秸秆施入造成的当季作物幼苗生长障碍是一种生物和非生物并存的综合逆境。而作物通过膜成分的改变和活性氧清除系统的激活来适应环境胁迫^[16],其效率由一系列小分子物质含量和抗氧化酶活性决定^[17]。同时,当作物局部细胞感受胁迫,还能引起全株性的系统响应^[18],使植物能够及时、高效地应对逆境胁迫^[19]。腐植

收稿日期:2020-03-02

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)。

第一作者:郭伟(1977-),男,博士,教授,从事禾本科作物生理生态与栽培技术研究。E-mail:agrigo@163.com。

酸作为一种大分子有机物质,叶面施用^[20]或与化肥一起根际施用^[21]均可显著提高抗氧化酶活性,增加游离脯氨酸含量^[20],提高作物的抗性,还可改善土壤的理化特性,提高肥料利用效率^[11],增强根系活力^[21],促进作物经济产量的形成^[11]。针对东北黑土区土壤过度耕作造成的理化质量逐渐恶化、玉米连作面积大、秸秆还田质量差的问题,研究了玉米秸秆还田配套技术,缓解秸秆腐解与当季玉米生长的矛盾,为该地区秸秆还田质量的提高提供参考。

1 材料与方法

1.1 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,土壤含有有机质 $8.2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $38.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $10.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $101.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、pH8.4。试验用玉米品种为郑单958。试验用氮素为尿素(含氮46%),腐植酸为BR级化学试剂,黄腐酸含量 $\geq 90\%$ 。

1.2 方法

1.2.1 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,按照试验设计,于2018年10月16日将秸秆粉碎样与尿素及少量土壤(0.5 kg)混合后施入盆内表土以下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。

表1 试验处理及代号

Table 1 The treatment method and code of test (g·盆⁻¹)

处理 Treatments	秸秆量 Mass of straw	腐植酸量 Mass of humic acid	尿素量 Mass of urea fertilizer
S1N1HA1	25	10	0.2
S1N0HA1	25	10	0
S1N1HA0	25	0	0.2
S1N0HA0	25	0	0
S0N1HA1	0	10	0.2
S0N0HA1	0	10	0
S0N1HA0	0	0	0.2
S0N0HA0	0	0	0

1.2.2 测定项目及方法 玉米拔节期(D1)和抽雄期(D2)分别取样。用直径5 cm土钻距植株5 cm处取土壤,按照深度5~10 cm土层和10~15 cm土层分别混合土样,自然风干后粉碎研磨测定土壤真菌、细菌和放线菌数量。取土样的同期取玉米植株,叶片测定抗氧化特性,剩余植株地上部分在烘箱内110℃杀青1 h后80℃烘干至恒重,冷却至室温后称重(折合为单株干重)。

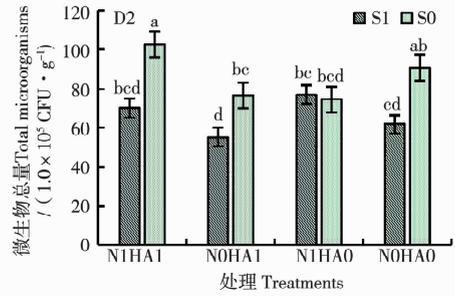
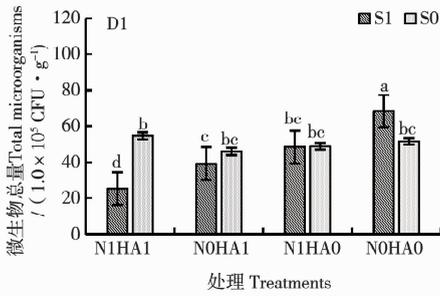
参照刘萍等^[22]的方法,采用氯化硝基四氮唑蓝光还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性;采用愈创木酚比色法测定过氧化物酶(POD)活性;采用羟胺氧化法测定超氧阴离子自由基(SAR)含量;采用硫代巴比妥酸比色法测定丙二醛(MDA)含量。参照中国科学院上海植物生理研究所^[23]的方法,采用分光光度法测定苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性。土壤真菌、细菌和放线菌数量采用稀释平板法测定。土壤微生物总量等于真菌、细菌与放线菌之和。

1.2.3 数据分析 利用WPS软件进行绘图,SPSS Statistics 25软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 秸秆配施氮素与腐植酸对土壤微生物数量的影响

2.1.1 秸秆配施氮素与腐植酸对土壤微生物总量的影响 由图1可知,玉米拔节期(图1左)和抽雄期(图1右)土壤微生物总量与秸秆施用关系密切,拔节期只施用秸秆处理(S1N0HA0)的土壤微生物总量较不施秸秆处理(S0N0HA0)显著提高了32.7%,而抽雄期显著降低了31.7%,主要是因为不施用秸秆处理抽雄期的微生物总量较拔节期增加了75.4%,而施用秸秆处理则降低了9.7%。在不施用秸秆的情况下,腐植酸与氮素配施对玉米拔节期土壤微生物总量无显著影响。秸秆配施氮素(S1N1HA0)拔节期的土壤微生物总量较S1N0HA0显著降低了29.3%;秸秆配施腐植酸(S1N0HA1)较S1N0HA0显著降低了42.7%;秸秆同时配施腐植酸和氮素(S1N1HA1)较S1N0HA0显著降低了63.2%。秸秆配施氮素或腐植酸对抽雄期的土壤微生物总量影响不显著。秸秆的施入不利于玉米拔节期到抽雄期土壤微生物总量的增加(比较各处理的抽雄期与拔节期土壤微生物总量差值),而秸秆配施腐植酸和氮素较只施入秸秆更有利于土壤微生物的增长。



不同小写字母表示各处理间差异达 0.05 水平。下同。

Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

图 1 秸秆配施氮素与腐植酸对玉米拔节期(左)和抽雄期(右)土壤微生物总量的影响

Fig.1 Effects of maize straw with nitrogen and humic acid on soil microbial biomass at maize jointing stage(left) and tasseling stage(right)

2.1.2 秸秆配施氮素与腐植酸对土壤放线菌数量的影响 不施秸秆情况下,玉米拔节期和抽雄期施用腐植酸和氮素对土壤放线菌数量没有显著影响(图 2)。秸秆配施腐植酸(S1N0HA1)拔节期土壤放线菌数量较 S1N0HA0 显著降低了 52.2%,同时配施氮素(S1N1HA1)则较

S1N0HA0 显著降低了 71.1%。抽雄期施用秸秆(S1N0HA0)土壤放线菌数量较 S0N0HA0 显著降低了 45.5%,配施氮素 S1N1HA0 则与对照 S0N0HA0 间无显著差异。秸秆的施入降低了玉米抽雄期土壤放线菌数量,而秸秆配施腐植酸或/和氮素较只施入秸秆增加了土壤放线菌数量。

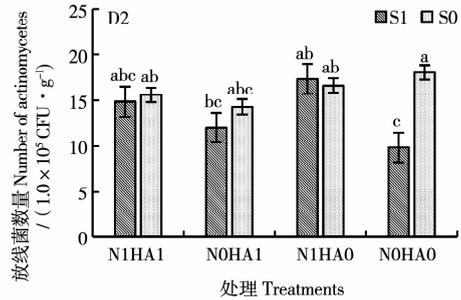
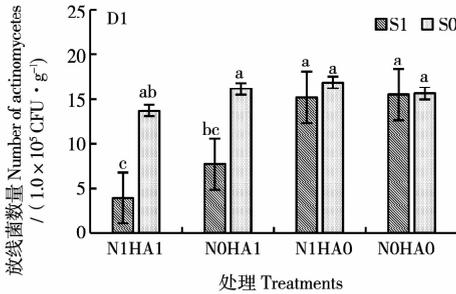


图 2 秸秆配施氮素与腐植酸对玉米拔节期(左)和抽雄期(右)土壤放线菌数量的影响

Fig.2 Effects of maize straw with nitrogen and humic acid on soil actinomycetes number at maize jointing stage(left) and tasseling stage (right)

2.1.3 秸秆配施氮素与腐植酸对土壤细菌数量的影响 不施入秸秆情况下,施入腐植酸和氮素(S0N0HA1 和 S0N1HA0)较 S0N0HA0 略降低了土壤细菌数量,两者同时配施(S0N1HA1)较单施(S0N0HA1 和 S0N1HA0)显著提高了细菌数量,但各处理与对照(S0N0HA0)间差异不显著(图 3)。施入秸秆(S1N0HA0)玉米拔节期的土壤细菌数量较对照 S0N0HA0 显著增加了 57.8%,而抽雄期 S1N0HA0 较 S0N0HA0 降低了 26.6%;由拔节期到抽雄期,对照 S0N0HA0 的土壤细菌数量增加了 99.2%,施入秸秆处理 S1N0HA0 的土壤细菌数量略有降低。秸秆配施腐植酸和氮素(S1N0HA1 和 S1N1HA0)拔节期细菌数量较 S1N0HA0 分别显著降低了 40.0% 和 42.6%,同时配施腐植酸和氮素(S1N1HA1)则较 S1N0HA0 降低了 65.8%,而抽雄期各施用

秸秆处理间细菌数量变化不显著。秸秆的施入不利于玉米拔节期到抽雄期土壤细菌数量的增加,而秸秆配施腐植酸和氮素较只施入秸秆更有利于土壤细菌数量的增加。

2.1.4 秸秆配施氮素与腐植酸对土壤真菌数量的影响 由图 4 可知,不施秸秆情况下,施用氮素(S0N1HA0)玉米拔节期土壤真菌数量较对照 S0N0HA0 增加了 33.3%,施用腐植酸(S0N0HA1)较 S0N0HA0 略有降低,两者同时施用(S0N1HA1)较 S0N0HA0 降低了 16.7%;而抽雄期各不施秸秆处理对土壤真菌数量影响不显著。施用秸秆拔节期 S1N0HA0 真菌数量较对照 S0N0HA0 显著增加了 83.3%,而抽雄期 S1N0HA0 真菌数量较 S0N0HA0 显著降低了 44.4%;秸秆配施腐植酸处理(S1N0HA1)的拔节期土壤真菌数量较 S1N0HA0 降低了 22.7%,抽

雄期则较 S1N0HA0 增加了 26.7%; 秸秆配施氮素 (S1N1HA0) 及同时配施氮素和腐植酸处理 (S1N1HA1) 与 S1N0HA0 比较对土壤真菌数量影响不显著。不施入秸秆玉米拔节期至抽雄期

土壤真菌数量增加了 125.0%, 而施入秸秆限制了真菌数量的增加 (抽雄期较拔节期降低了 31.8%), 秸秆配施腐植酸处理缓解了由于秸秆施入导致的拔节至抽雄期真菌数量的降低。

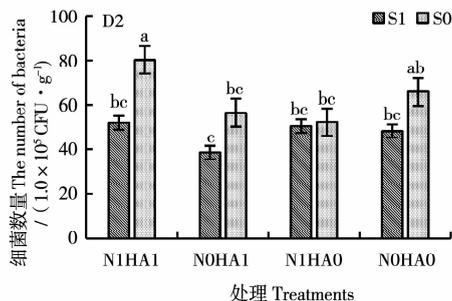
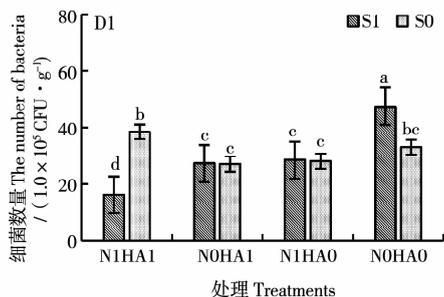


图3 秸秆配施氮素与腐植酸对玉米拔节期(左)和抽雄期(右)土壤细菌数量的影响
Fig. 3 Effects of maize straw with nitrogen and humic acid on soil bacteria number at maize jointing stage (left) and tasseling stage (right)

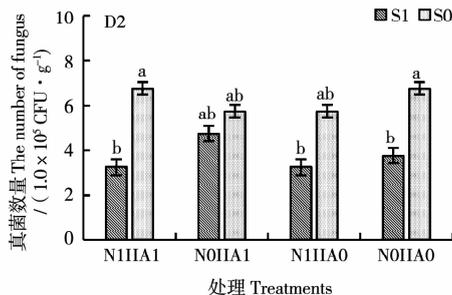
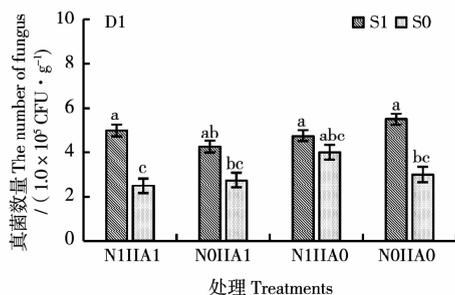


图4 秸秆配施氮素与腐植酸对玉米拔节期(左)和抽雄期(右)土壤真菌数量的影响
Fig. 4 Effects of maize straw with nitrogen and humic acid on soil fungus number at maize jointing stage (left) and tasseling stage (right)

2.2 秸秆配施氮素与腐植酸对玉米幼苗系统抗性的影响

2.2.1 秸秆配施氮素与腐植酸对玉米幼苗抗氧化特性的影响 由表 2 可知, 施入秸秆 (S1N0HA0) 玉米幼苗拔节期的植株 SAR 含量较 S0N0HA0 增加了 4.4%, SOD 活性显著降低了 43.4%, POD 活性显著降低了 30.7%, MDA 含量显著增加了 71.2%; 在不施用秸秆情况下, 施用腐植酸 (S0N0HA1) 较 S0N0HA0 的 SOD 和 POD 活性分别显著降低了 30.8% 和 30.0%, 而 MDA 含量显著提高了 31.9%; 同时施用腐植酸和氮素 (S0N1HA1) 较 S0N0HA0, SOD 和 POD 活性进一步显著降低了 46.2% 和 65.7%, MDA 含量显著提高了 81.6%。秸秆配施氮素或腐植酸 (S1N1HA0 和 S1N0HA1) 较只施秸秆处理 (S1N0HA0) 的 SOD 酶活性分别增加了 25.2% 和 34.0%, 而 MDA 含量分别降低了 23.9% 和 16.7%。秸秆配施腐植酸和氮素 (S1N1HA1) 较 S1N0HA0 的 SOD 酶活性增加了 32.0%, 而

POD 活性降低了 36.1%, 而 MDA 含量没有显著变化。

施用秸秆 (S1N0HA0) 与不施用秸秆处理 (S0N0HA0) 的抽雄期植株的抗氧化酶活性和 SAR、MDA 含量没有显著差异。施用腐植酸或氮素处理 (S0N0HA1 和 S0N1HA0) 的 SOD 活性较 S0N0HA0 分别增加了 22.0% 和 16.1%; S0N1HA0 处理的 POD 活性较 S0N0HA0 显著降低了 42.7%; S0N0HA1 和 S0N1HA0 的 MDA 含量较 S0N0HA0 分别降低了 22.2% 和 11.6%; 同时施用腐植酸和氮素 (S0N1HA1) 的 POD 活性较 S0N0HA0 显著降低了 61.0%, SAR 和 MDA 含量较对照 S0N0HA0 无显著变化。秸秆配施氮素或腐植酸 (S1N1HA0 和 S1N0HA1) 的 SOD 和 POD 活性与 S1N0HA0 无显著差异; MDA 含量较 S1N0HA0 略分别增加了 8.3% 和 16.7%, 与 S1N0HA0 差异不显著; 秸秆配施氮素和腐植酸 (S1N1HA1) 处理的 SOD 和 POD 活性较 S1N0HA0 分别降低了 28.1% 和 20.2%, MDA

含量增加了16.5%。综上分析,施入秸秆后较不施用秸秆玉米幼苗的SOD和POD活性降低,SAR和MDA含量增加,秸秆配施腐植酸(S1

N0HA1)较S0N0HA1可不同程度的提高植株SOD和POD活性,但SAR和MDA含量也略有增加。

表2 秸秆配施氮素与腐植酸对玉米幼苗抗氧化特性的影响

Table 2 Effects of maize straw with nitrogen and humic acid on oxidation resistance of maize seedling

时期 Stage	处理 Treatments	超氧阴离子自由基 SAR/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}$)		超氧化物歧化酶 SOD/($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}\cdot\text{min}^{-1}$)		过氧化物酶 POD/ ($\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{FW}\cdot\text{min}^{-1}$)		丙二醛 MDA/ ($\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}$)	
		S1	S0	S1	S0	S1	S0	S1	S0
		拔节期 Jointing stage	N1HA1	1.41 ab	1.40 ab	1.36 ab	0.98 b	0.62 c	0.48 c
	N1HA0	1.39 ab	1.36 b	1.29 bc	1.67 ab	0.98 b	1.32 a	5.89 cd	4.96 cd
	N0HA1	1.40 ab	1.39 ab	1.38 abc	1.26 bc	1.03 b	0.98 b	6.45 bc	5.96 cd
	N0HA0	1.42 a	1.36 b	1.03 b	1.82 a	0.97 b	1.40 a	7.74 ab	4.52 d
抽雄期 Tasseling stage	N1HA1	1.44 a	1.40 ab	0.82 b	1.13 ab	0.67 b	0.32 d	7.12 a	6.70 ab
	N1HA0	1.41 ab	1.33 b	1.12 ab	1.44 a	0.83 a	0.47 c	6.62 ab	5.89 bc
	N0HA1	1.43 ab	1.33 b	1.22 ab	1.37 a	0.87 a	0.85 a	7.13 a	5.18 cd
	N0HA0	1.37 ab	1.36 ab	1.14 ab	1.18 ab	0.84 a	0.82 a	6.11 abc	6.66 ab

2.2.2 秸秆配施氮素与腐植酸对玉米PAL的影响 苯丙氨酸解氨酶(PAL)作为系统抗性的重要衡量指标,玉米拔节期在不施秸秆情况下,施用腐植酸(S0N0HA1)PAL酶活性较S0N0HA0提高了17.4%,施用氮素(S0N1HA0)较S0N0HA0显著提高了38.1%,同时配施腐植酸与氮素(S0N1HA1)较S0N0HA0显著提高了59.0%(图5)。施用秸秆(S1N0HA0)PAL活性较S0N0HA0显著提高了39.2%,但秸秆配施腐植酸或/和氮素的各处理与S1N0HA0的PAL活性没有显著差异。

素(S0N0HA1和S0N1HA0)处理的PAL活性与S0N0HA0没有显著差异,同时施用腐植酸和氮素(S0N1HA1)处理的PAL活性较S0N0HA0显著提高了45.4%。施入秸秆(S1N0HA0)的PAL活性较S0N0HA0降低了26.8%,配施腐植酸或氮素(S1N0HA1和S1N1HA0)的PAL活性较S1N0HA0分别显著提高了69.3%和60.1%,同时配腐植酸和氮素(S1N1HA1)处理的PAL酶活性较S1N0HA0显著提高了76.2%。腐植酸和氮素均有提高玉米PAL活性的作用,且与秸秆配施具有一定的互作效应,提高玉米有效的系统抗性。

在不施秸秆情况下,抽雄期施用腐植酸或氮

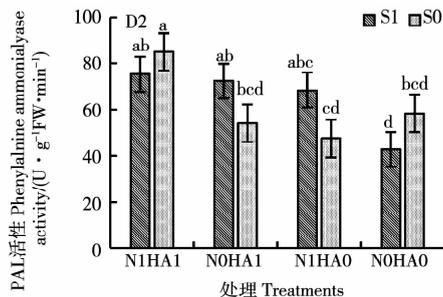
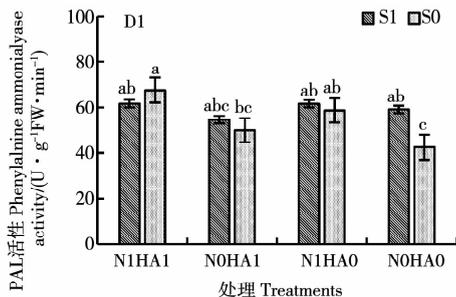


图5 秸秆配施氮素与腐植酸对玉米拔节期(左)和抽雄期(右)植株苯丙氨酸解氨酶活性的影响

Fig. 5 Effects of maize straw with nitrogen and humic acid on PAL activity of seedling at maize jointing stage(left) and tasseling stage(right)

2.3 秸秆配施氮素与腐植酸对植株干重的影响

由图6可知,不施用秸秆情况下,施用腐植酸与氮素处理(S0N0HA1和S0N1HA0)的拔节期植株干重较对照(S0N0HA0)分别增加了15.3%和16.3%,同时施用腐植酸和氮素(S0N1HA1)

植株干重较对照(S0N0HA0)显著增加了73.5%;施用秸秆(S1N0HA0)干重较S0N0HA0则降低了14.7%,秸秆配施腐植酸或/和氮素的各处理的干重与S1N0HA0间无显著差异。

不施用秸秆情况下,施用氮素处理(S0N1HA0)

的抽雄期植株干重较对照(S0N0HA0)显著增加了 16.5%,同时配施氮素和腐植酸(S0N1HA1)干重较对照(S0N0HA0)显著增加了 22.9%;施用秸秆(S1N0HA0)干重较对照(S0N0HA0)则降低了 28.3%,配施腐植酸与氮素(S1N0HA1 和 S1N1HA0)干重较 S1N0HA0 分别显著增加了

24.4%和 59.2%,同时配施氮素和腐植酸(S1N1HA1)干重较 S1N0HA0 显著增加了 28.2%。施用秸秆的拔节期和抽雄期各处理的干重均低于不施用秸秆处理,尤其是同时配施腐植酸和氮素处理。

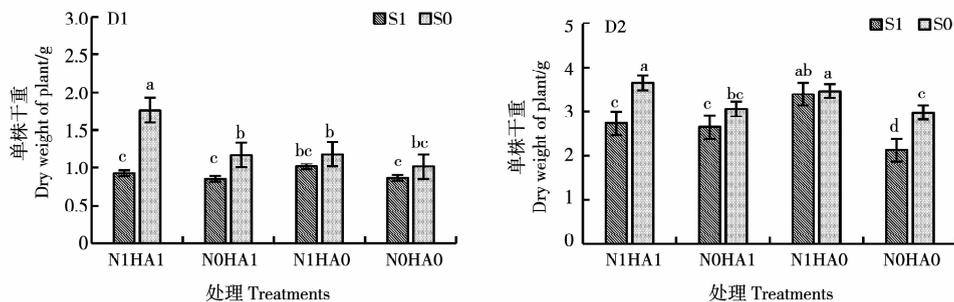


图 6 秸秆配施氮素与腐植酸对玉米拔节期(左)和抽雄期(右)植株干重的影响

Fig. 6 Effects of maize straw with nitrogen and humic acid on dry weight of seedling at maize jointing stage(left) and tasseling stage (right)

2.4 玉米植株系统抗性与土壤微生物的相关分析

由表 3 可知,在本研究中拔节期或抽雄期的 SAR 与拔节期或抽雄期 MDA 含量、PAL 活性显著或极显著正相关,拔节期或抽雄期 MDA 含量与拔节期或抽雄期 PAL 活性也显著或极显著正

相关,可见,SAR 积累导致了细胞膜脂过氧化,诱导了玉米植株系统抗性的增强。幼苗拔节期植株干重与拔节期土壤真菌数量呈显著负相关,与抽雄期细菌数量呈极显著正相关,抽雄期干重与抽雄期放线菌数量呈显著正相关,而干重与系统抗性间无直接的显著相关性,由此分析,植株生长主

表 3 玉米植株系统抗性与土壤微生物的相关分析

Table 3 Correlation analysis between systematic resistance of maize plants and soil microorganisms

测定指标 Measuring item	取样时期 Sampling period	干重 Dry weight		超氧阴离子自由基 SAR		丙二醛 MDA		苯丙氨酸解氨酶 PAL	
		拔节期 Jointing stage	抽雄期 Tasseling stage						
SAR	拔节期	-0.099	-0.287	1.000	0.565	0.895**	0.231	0.807*	0.143
	抽雄期	-0.144	-0.070	0.565	1.000	0.517	0.885**	0.511	0.741*
MDA	拔节期	0.306	-0.063	0.895**	0.517	1.000	0.263	0.899**	0.364
	抽雄期	-0.100	-0.058	0.231	0.885**	0.263	1.000	0.183	0.729*
PAL	拔节期	0.413	0.265	0.807*	0.511	0.899**	0.183	1.000	0.440
	抽雄期	0.422	0.390	0.143	0.741*	0.364	0.729*	0.440	1.000
真菌 Fungus	拔节期	-0.718*	-0.611	0.742*	0.431	0.382	0.159	0.301	-0.252
	抽雄期	0.640	0.476	-0.664	-0.599	-0.369	-0.375	-0.368	0.026
细菌 Bacteria	拔节期	0.214	-0.211	0.223	-0.297	0.297	-0.223	0.072	-0.346
	抽雄期	0.853**	0.582	-0.224	-0.132	0.177	0.098	0.124	0.352
放线菌 Actinomycetes	拔节期	0.305	0.326	-0.353	-0.719*	-0.303	-0.562	-0.235	-0.589
	抽雄期	0.340	0.772*	-0.468	-0.016	-0.384	0.152	-0.16	0.242

注:**和*表示差异显著水平($P < 0.01$ 和 $P < 0.05$)。

Note:** and * indicate significant difference ($P < 0.01$ and $P < 0.05$).

要受到土壤因素的影响。拔节期植株 SAR 含量与拔节期土壤真菌的数量呈显著正相关,抽雄期植株 SAR 含量与拔节期放线菌数量呈显著负相关,结合秸秆及配施腐植酸、氮素对系统抗性和土壤微生物数量的影响,可以推测玉米-土壤田间生态系统对秸秆施用存在系统响应。

3 结论与讨论

土壤酶主要由土壤微生物分泌到土壤中,是评价土壤肥力水平的综合性指标^[24]。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,从而影响土壤的养分转化。研究认为玉米秸秆施入土壤后,土壤微生物群落数量基本上呈现先升后降并逐渐趋于平稳的趋势^[5]。但也有研究认为玉米秸秆还田对细菌的结构及多样性影响不显著,对真菌影响显著,随时间变化表现出先下降后上升再下降的趋势^[6]。玉米秸秆对土壤真菌数量的影响大于对细菌数量的影响,土壤微生物区系存在由细菌型向真菌型转化的趋势^[25]。本研究发现不施用秸秆情况下,由拔节期到抽雄期土壤微生物总量显著增加,施用秸秆不配施氮素或腐植酸微生物总量没有增加,而配施氮素和腐植酸微生物总量都获得不同程度的增加。施用秸秆拔节期增加土壤真菌数量,抽雄期降低了细菌数量,因为不施秸秆拔节到抽雄期真菌数量提高了很大幅度,而施用秸秆的略有降低。这种变化特点可能与秸秆施入量和腐解时间长短有关。除硝化细菌数量随秸秆剂量增加变化不显著外,细菌、真菌、放线菌、纤维素分解菌群落数量均随秸秆施入量的增加而增加^[26]。本研究发现,氮素和腐植酸单独施用对细菌和真菌数量影响较小;加入秸秆后细菌和真菌数量显著增加,而秸秆配施腐植酸或氮素则降低了拔节期细菌数量,但腐植酸和氮素对真菌数量影响不大。氮素是保障土壤放线菌数量的必要条件,但秸秆与腐植酸配施会减低拔节期放线菌数量。试验证明秸秆的还田方式对土壤微生物种类和数量的影响很大,秸秆腐熟后施入比秸秆直接还田更有利于微生物数量的增加^[5]。除固氮菌外秋季微生物各群落数量与春、夏相比相对较高^[5]。

低施肥常规田间管理条件下接茬冬小麦的研究也发现,SOD 活性和可溶性蛋白的变化随秸秆还田量的增加呈单峰曲线,相应的 MDA 含量变化呈单谷曲线,秸秆还田主要是通过影响 POD 活性而影响冬小麦旗叶衰老进程^[27]。本研究中施入秸秆拔节期玉米幼苗的 SAR 含量增加,MDA

含量显著升高,膜脂过氧化程度增强,相应的抗氧化酶系活性被抑制,而配施氮肥和腐植酸对 PAL 活性有显著的增强作用,玉米幼苗的系统抗性得到大幅提升。可能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素,发生与作物争氮的现象,氮素吸收受阻,影响玉米植株氮代谢^[7]。腐植酸与氮素施入水平的提高,促进了作物根系生长,提高氮素利用率^[28-29]。腐植酸与氮素的施入显著提高了拔节期和抽雄期玉米干重,而秸秆的施用显著减低了抽雄期植株干重,配施腐植酸与氮素有效缓解了秸秆对干物质积累的抑制,可能是腐植酸提高了秸秆腐解过程中玉米植株的系统抗性,促进了幼苗的生长,PAL 活性的变化也证明了这一推测。腐植酸作为一种大分子有机物质,其单独施用或制备成复合肥料施用均可起到促进玉米生长和产量形成的作用^[11,29]。

施用秸秆导致玉米拔节期土壤微生物数量和植株抗氧化酶系活性的降低,配施腐植酸与氮素加剧了这一不利影响,而施用秸秆的不利影响到玉米抽雄期得到有效缓解,尤其是配施腐植酸与氮素,POD 和 PAL 活性增强,植株系统抗性得到进一步提高,促进了植株干物质积累。因此,增施腐植酸与氮素可以作为玉米连作情况下秸秆还田的配套措施。

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] 汪景宽,李双异,张东旭,等. 20 年来东北典型黑体地区土壤肥力质量变化[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 19-24.
- [3] 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.
- [4] Dikgwalthe S B, Chen Z D, Lal 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.
- [5] 梁卫,袁静超,张洪喜,等. 东北地区玉米秸秆还田培肥机理及相关技术研究进展[J]. 东北农业科学, 2016, 41(2): 44-49.
- [6] 李万星,李丹,靳鲲鹏,等. 晋东南旱作区玉米秸秆不同覆盖方式下土壤微生物多样性变化[J]. 北方农业学报, 2019, 47(4): 40-46.
- [7] 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.
- [8] Goel L, Shankar V, Sharma R K. Investigations on effective-

- ness of wheat and rice straw mulches on moisture retention in potato crop (*Solanum tuberosum* L.) [J]. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 2019, 8: 345-356.
- [9] 郭伟, 薛盈文, 于崧, 等. 邻苯二甲酸与对羟基苯甲酸对燕麦幼苗生长及抗氧化特性的影响[J]. 植物生理学报, 2017, 53(10): 1885-1892.
- [10] 顾焱明, 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.
- [11] 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.
- [12] 孙凯, 刘振, 胡恒宇, 等. 有机培肥与轮耕方式对复玉米田土壤碳氮和产量的影响[J]. 作物学报, 2019, 45(3): 401-410.
- [13] Ming L, Yang W, Fan D, 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.
- [14] 秦俊梅, 王改玲. 不同培肥方式对复垦土壤玉米养分吸收及肥料利用率的影响[J]. 水土保持研究, 2015, 22(4): 237-240.
- [15] 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.
- [16] Tanveer A K, Qazi F, Mohammad Y. Low-temperature stress: is phytohormones application a remedy[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2017, 24(27): 21574-21590.
- [17] Belozerskaya T A, Gessler N N. Reactive oxygen species and the strategy of antioxidant defense in fungi: A review[J]. Applied Biochemistry and Microbiology, 2007, 43(5): 506-515.
- [18] Szczegielniak J, Borkiewicz L, Szurmak B, et al. Maize calcium-dependent protein kinase (ZmCPK11): local and systemic response to wounding, regulation by touch and components of jasmonate signaling[J]. Physiologia Plantarum, 2012, 146: 1-14.
- [19] Rasmann S, De Vos M, Casteel C, et al. Herbivory in the previous generation primes plants for enhanced insect resistance[J]. Plant Physiology, 2012, 158: 854-863.
- [20] 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.
- [21] 庞春花, 贺笑, 张永清, 等. 氮肥与腐殖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.
- [22] 刘萍, 李明军. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [23] 中国科学院上海植物生理研究所. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科技出版社, 2004.
- [24] Wu F P, Jia Z K, Wang S G, et al. Contrasting effects of wheat straw and its biochar on green house gas emissions and enzyme activities in a Chernozemic soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 2012, 49(5): 555-565.
- [25] 崔俊涛, 窦森, 张伟, 等. 玉米秸秆对土壤微生物性质的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2005, 27(4): 424-428.
- [26] 孙军德, 王美美, 张若溪, 等. 玉米秸秆还田对土壤微生物群落数量的影响[J]. 农业科技与装备, 2012(4): 8-10.
- [27] 郑伟, 张静, 刘阳, 等. 低施肥条件下秸秆还田对冬小麦旗叶衰老的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 4967-4975.
- [28] 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.
- [29] 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.

Effects of Maize Straw with Nitrogen and Humic Acid on Systemic Resistance and Soil Microbe at Maize Seeding Stage

GUO Wei, MA Chuan-fang, MA Qian, HU Hui-ying

(Heilongjiang Bayi Agricultural University / Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Modern Agricultural Cultivation and Crop Germplasm Improvement, Daqing 163319, China)

Abstract: Straw decomposition process after returning to the field has both short-term and long-term effects on physical and chemical characteristics of soil and crop growth. Therefore, it is a key issue to improve the technical efficiency of straw returning to the field by adopting straw returning measures to alleviate the adverse effect of straw decomposition on seedlings growth in the current season. In this study, the effects of straw decomposition on crop system resistance and soil microorganisms were taken as the starting point. The amount of soil fungi, bacteria and actinomycetes, and the activity of antioxidant system and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) of maize were studied while straw returning to the field with humic acid and nitrogen fertilizer by pot experiment. The results showed that the amount of actinomycetes, fungi and bacteria decreased, which affected the growth of soil microorganism compared with the treatment without adding straw. The application of nitrogen fertilizer or humic acid reduced the amount of bacteria, actinomycetes and fungi. Therefore, the total soil microorganisms significantly reduced by 29.3% and 42.7%, respectively, and the mixed application of nitrogen fertilizer and humic acid significantly reduced by 63.2% compared with only adding straw at

卢环,王成,曾玲玲,等.不同浓度腐殖酸处理对绿豆发芽的影响[J].黑龙江农业科学,2020(4):40-43.

不同浓度腐殖酸处理对绿豆发芽的影响

卢环,王成,曾玲玲,季生栋,刘峰,崔秀辉,姜元麒
(黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院,黑龙江齐齐哈尔161000)

摘要:为促进腐殖酸肥料在作物生产中的应用,以绿丰2号绿豆为试验材料,设置了5个浓度梯度的腐殖酸肥料,通过分析各浓度腐殖酸肥料对绿豆芽期发芽率、根长、侧根数、上胚轴、下胚轴、鲜重、干重各指标的影响,筛选出对绿豆发芽促进作用最明显的腐殖酸肥料浓度。结果表明:腐殖酸1:100 000倍液为最适宜浓度,此肥液浓度对绿豆发芽期根长、下胚轴长度、上胚轴长度、侧根数及幼苗鲜干重都有促进作用。

关键词:腐殖酸;绿豆;发芽期

黑龙江省西部地区属于干旱半干旱气候,每年春播时期是干旱最严重时期^[1-2],干旱条件对种子萌发影响非常严重。黑龙江省西部地区是东北地区的绿豆主产区,春季干旱对绿豆发芽势、发芽率、苗势都有一定的影响,严重可导致缺苗、死苗、断垄,影响产量。筛选出能提高绿豆芽势、促苗、壮苗的有机肥料很有必要。近年来,关于腐殖酸肥料的研究较多,有资料表明腐殖酸占土壤有机质的80%,为土壤腐殖质中最活跃的部分^[3],是土壤有机质结构中重要的核心组成成分,是一类多功能肥料,被用来改善土壤条件和促进植物生长^[4],它可增加化肥的有效性,对磷有增效作用,

并能刺激作物生长,促进作物种子萌发,提高种子出苗率,促进根系的生长,增强作物抗逆能力^[5-7]。在植物中,腐殖酸因对酶活性、营养物质积累和生长有促进作用,而被称为“植物的食物”^[8]。腐殖酸对促进作物生长、提高作物产量、改善作物品质具有重要作用^[9-11]。鉴于此,本文采用不同浓度梯度的腐殖酸肥料研究其对绿豆发芽的影响,以为腐殖酸肥料在黑龙江省西部地区农业生产中的应用提供数据支持。

1 材料与方 法

1.1 材 料

供试绿豆品种为绿丰2号(种子来源于黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院杂粮育种研究室);供试腐殖酸原液,来源于国家食用豆产业技术体系生理生化岗位专家组;其他试剂有75%酒精和蒸馏水。试验仪器有培养皿、容量瓶、移液枪、洗瓶、镊子、恒温培养箱培养、烘干箱、天平和高压灭菌锅。

收稿日期:2020-01-10

基金项目:国家食用豆产业技术体系建设专项资金资助(CARS-09-Z09)。

第一作者:卢环(1987-),女,硕士,研究实习员,从事植物生理及育种研究。E-mail:469512007@qq.com。

通信作者:崔秀辉(1963-),女,硕士,研究员,从事杂粮育种研究。E-mail:zls1963@163.com。

maize jointing stage. The activity of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) significantly reduced compared with the treatment without adding straw, and the accumulation of superoxide anion radical (SAR) significantly increased malondialdehyde (MDA) content and PAL activity by straw application at jointing stage of maize, while the application of nitrogen fertilizer resulted in further decrease of SOD and POD activity and the increase of MDA content. Straw application had little effect on the antioxidant system of seedlings at maize tasseling stage, but the mixed application of nitrogen fertilizer and humic acid significantly reduced the POD activity. Compared with only adding straw, straw application decreased PAL activity by 26.8% at maize tasseling stage, however, humic acid or nitrogen fertilizer with straw application significantly increased PAL activity by 69.3% and 60.1% respectively, and the application of straw mixed humic acid and nitrogen fertilizer increased PAL activity by 76.2%. Straw application decreased by 28.3% compared with the treatment without adding straw at maize tasseling stage, however, humic acid, nitrogen fertilizer and mixed application significantly increased dry weight compared with only adding straw by 24.4%, 59.2% and 28.2%, respectively. Therefore, the application of nitrogen fertilizer and humic acid can be used as a supporting measure for the technology of maize straw returning.

Keywords: maize straw; humic acid; nitrogen fertilizer; soil microbe; systemic resistance