



秸秆还田方式对玉米田 AM 真菌侵染效应及球囊霉素含量的影响

徐莹莹, 王俊河, 刘玉涛, 王宇先, 高盼, 杨慧莹, 樊景胜, 曲忠诚

(黑龙江省农业科学院 齐齐哈尔分院/国家玉米产业体系齐齐哈尔综合试验站, 黑龙江齐齐哈尔 161006)

摘要:为改良土壤结构,提高土壤生物活性,以玉米秸秆不还田为对照(CK),设置秸秆覆盖还田、秸秆旋耕还田和深翻秸秆还田3种方式,测定不同方式对玉米田有机质、养分含量、AM真菌侵染效应及GRSP含量的影响。结果表明:和CK相比,连续2年秸秆还田可提高土壤有机质和养分含量,有利于AM真菌生长代谢及对根系侵染效应的发挥,且3种还田方式中,秸秆深翻还田效果最显著,可使AM真菌对玉米根系的侵染频度提高88.67%;侵染强度提高300.66%;孢子数增加106.67%。

关键词:玉米;秸秆还田;有机质;AM真菌;侵染;球囊霉素

丛枝菌根(Arbuscular Mycorrhizae, AM)是土壤中一类特殊真菌侵染植物根系形成的互利共生体,因其在植物根系皮层细胞内形成丛枝状结构而得名^[1]。能与植物根系形成丛枝菌根的真菌称为丛枝菌根真菌,即球囊菌门真菌,简称AM真菌。AM真菌是一类专性活体营养共生菌,具有土壤习居性,在生态系统中发挥着重要作用,如促进植物水、养分吸收,增强植物抗逆、抗胁迫能力,改良土壤结构,提高土壤生态系统稳定性等^[2]。研究发现,AM真菌中的球囊霉素属能够产生一种专性蛋白,这种专性蛋白被称为球囊霉素(或球囊霉素相关土壤蛋白,GRSP)^[3]。GRSP主要由蛋白质和碳水化合物组成,因此含有丰富的碳素,在土壤有机质组成中起到重要作用^[4]。GRSP是土壤有机碳库的重要组分。AM真菌菌丝分泌的GRSP进入土壤后,可与沙土、黏土颗粒以及有机物质结合,最终形成团聚体结构。GRSP通过固持团聚体中相对不稳定的有机碳,可有效减缓它们的分解速率^[2,5-6]。

AM真菌和GRSP的形成及作用效果除了与植物种类有关外,还与农业耕作措施等密切相关

关^[7-8]。秸秆还田是向土壤中注入有机物料的过程,由于不同还田方式下秸秆腐解效果不同,必然造成养分释放程度不同,进而对AM真菌侵染效应及GRSP含量的影响也存在差别。目前,关于秸秆还田方式对AM真菌侵染效应及GRSP含量影响的报道较少,因此本研究分析秸秆覆盖、秸秆旋耕和秸秆深翻3种还田方式下土壤养分变化情况,以及对AM真菌侵染效应及GRSP含量的影响,为半干旱区选择适宜的秸秆还田方式,提升地力,提高土壤生物活性,激发作物增产潜力提供重要依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2015-2017年在黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院试验基地(N47°16'26"、E123°41'46")进行,该区属于松嫩平原西部半干旱区,海拔143 m。2017年试验地生育期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温为2 952.4 $^{\circ}\text{C}$,降水量为327.2 mm,无霜期154 d。土壤类型为碳酸盐黑钙土,基础肥力为有机质含量26.52 g $\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮1.63 g $\cdot\text{kg}^{-1}$,全磷0.91 g $\cdot\text{kg}^{-1}$,全钾5.00 g $\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮100.05 mg $\cdot\text{kg}^{-1}$,有效磷16.91 mg $\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾134.03 mg $\cdot\text{kg}^{-1}$,pH 7.82。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验设置4种处理,如表1所示。采用大区对比,不设重复,大区面积0.33 hm²,秸秆还田处理均为连续两年全量还田,还田量为9 000 kg $\cdot\text{hm}^{-2}$ 。供试品种为先玉

收稿日期:2018-10-26

基金项目:国家现代农业产业技术体系专项(CARS-02-38);黑龙江省农业科学院院级科研资助项目(2017SJ034);农业基础性长期性科技工作国家农业微生物观测监测任务(ZX07S0803)。

第一作者简介:徐莹莹(1989-),女,硕士,研究实习员,从事作物耕作栽培和农业微生物研究。E-mail: ghdetongzhuo@163.com。

通讯作者:王俊河(1963-),男,研究员,从事作物耕作栽培研究。E-mail: wangjunhe63@163.com。

335,种植密度 6 万株·hm⁻²,一次性施入复合肥 750 kg·hm⁻² (N14%、P22% 和 K14%)。2017 年 5 月 12 日播种,播种后喷灌 30 mm,10 月 6 日收获,常规田间管理。

表 1 试验设计
Table 1 Experiment design

| 处理 Treatments | 秸秆还田方式 Straw return method |
|------------------|---|
| 秸秆不还田(CK) | 玉米收获后秸秆全部移除,之后进行精量播种。 |
| 秸秆覆盖还田 | 秸秆粉碎机将秸秆粉碎成 5~10 cm 小段后均匀覆盖在地表,采用免耕播种机精量播种。 |
| 秸秆旋耕还田 | 采用灭茬旋耕联合整地机将秸秆粉碎成 5~10 cm 小段后旋入土中,使土壤与秸秆混合均匀,旋耕深度 15 cm,之后进行精量播种。 |
| 秸秆深翻还田 | 秸秆粉碎后,采用翻转犁深翻作业,将秸秆翻入 30 cm 土层中,使上下层混合,之后耙地,进行精量播种。 |

1.2.2 取样方法 在玉米成熟期取样,此时 AM 发育完全,孢子成熟,易于进行孢子分离观察。每个处理选取 3 个采样点,采集土层 0~30 cm 的玉米根系及根围土壤。具体操作为:去掉地表大块砂石和其他杂物,用酒精消毒过的干净铁锹挖出 0~30 cm 根系,去掉地上部,连根带土放入取样袋中,带回实验室备用。在实验室中,将附着于根系上的土轻轻抖落在塑料袋中,其中一部分土壤风干后用于孢子计数和土壤化学性状分析,另一部分冻干后用于 GRSP 含量测定。用酒精消毒过的剪子从每株玉米根系各剪下 30 根细根,立即清洗固定根系,用于侵染率测定。

1.2.3 测定项目及方法 (1)土壤有机质含量、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷和速效钾含量测

定采用鲍士旦法^[9]。(2)菌根侵染率测定:侵染率包括侵染频度 F 和侵染强度 M。对根系进行固定、透明、染色和制片后^[10],在显微镜下检查每条根段的侵染情况,按根段中菌根侵染分级标准 0、<1%、<10%、>50%、<50% 和 >90% (图 1)。用以下公式计算侵染频度 F 及侵染强度 M:

侵染频度 F (%) = (侵染根段数/全部根段数) × 100;

侵染强度 (%) = [(0.95 × N5 + 0.70 × N4 + 0.30 × N3 + 0.05 × N2 + 0.01 × N1)/全部根段数] × 100;

其中,0.95、0.7、0.3...,分别代表各级所占的权重,N5、N4、N3、N2、N1 分别代表各级根段数之和。

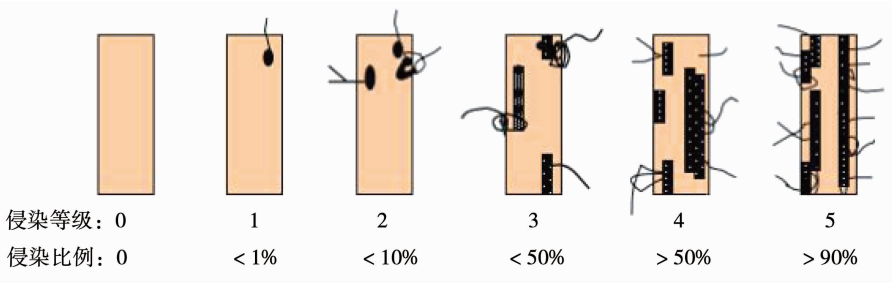


图 1 侵染等级和侵染比例示意图
Fig. 1 The schematic map of infection grade and the infection proportion

(3)孢子数测定:每份样品取 100 g 风干土,采用湿筛蔗糖离心法进行孢子的分离提取^[11],在体式显微镜下观察孢子并计数,折算出每 g 干土中的孢子数量:土壤孢子数=样品孢子数量/土壤样品烘干重,其中土壤样品烘干重=测定孢子数量所称风干土重 × (1-土壤含水率/100),土壤含水率采用铝盒烘干法测定^[12]。(4)GRSP 含量测定:GRSP 分为易提球囊霉素(easily extractable glomalin,EE-GRSP)和总球囊霉素(total gloma-

lin,T-GRSP),采用 Bradford 法^[13],其含量以每 g 土壤中 GRSP 的 mg 数表示。

1.2.4 数据分析 采用 Excel 2010 和 SPSS 17.0 进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田方式对土壤含水率及化学性状影响

由表 2 可知,与 CK 相比,3 种秸秆还田方式均能提高土壤含水率、有机质、全量氮、全磷、全钾和

碱解效氮、有效磷、速效钾含量,说明秸秆还田有助于改良土壤结构,提高土壤通透性和保水性,同时,秸秆连续 2 年还田向土壤注入大量有机碳、氮源,促进有机质积累。由于秸秆还田方式不同,秸秆腐解及养分释放效果存在差异,其中秸秆深翻还田效果最佳,各项指标(除有机质含量外)均显著高于对照和其他秸秆还田处理,其次为旋耕还田,覆盖还田。

2.2 秸秆还田方式对 AM 真菌侵染效应影响

由表 3 可知,AM 真菌侵染频度、侵染强度和孢子数表现为秸秆深翻还田>秸秆旋耕还田>秸

秆覆盖还田>秸秆不还田,秸秆还田处理各项指标均显著高于对照,这主要是由于秸秆还田能有效改良土壤结构,降低土壤紧实度,提高土壤透水透气性,利于作物根系下扎延伸,有利于根系对水分和养分的吸收利用,为 AM 真菌的生长繁殖提供更加适宜条件。与 CK 相比,秸秆深翻还田、旋耕还田和覆盖还田的侵染频度分别提高88.67%、77.67%和 44.50%;侵染强度分别提高 306.58%、132.97%和 32.97%;孢子数分别增加 106.67%、73.33%和 46.67%。

表 2 秸秆还田方式对土壤含水率及化学性状影响

Table 2 Effect of straw return method on water content and chemical properties of soil

| 处理 Treatment | 含水率/% Water content | 有机质/ (g·kg ⁻¹) Organic matter | 全氮/ (g·kg ⁻¹) Total nitrogen | 全磷/ (g·kg ⁻¹) Total phosphorus | 全钾/ (g·kg ⁻¹) Total potassium | 碱解氮/ (mg·kg ⁻¹) Alkaline nitrogen | 有效磷/ (mg·kg ⁻¹) Available phosphorus | 速效钾/ (mg·kg ⁻¹) Available potassium |
|-----------------|------------------------|---|--|--|---|---|--|---|
| 秸秆不还田(CK) | 17.34 c | 27.07 b | 1.68 b | 0.99 c | 5.21 d | 105.42 d | 17.13 d | 142.16 d |
| 秸秆覆盖还田 | 19.12 b | 27.53 a | 1.77 b | 1.08 c | 5.44 c | 112.64 c | 19.64 c | 153.74 c |
| 秸秆旋耕还田 | 19.43 b | 28.73 a | 1.82 a | 1.21 b | 5.55 b | 114.21 b | 22.79 b | 160.81 b |
| 秸秆深翻还田 | 23.36 a | 29.27 a | 1.95 a | 1.46 a | 5.80 a | 118.87 a | 27.47 a | 169.79 a |

表中小写字母表示不同处理间各指标差异显著性(P<0.05)。下同。
The lowercase letters in the table showed significant differences among different treatments (P<0.05). The same below.

表 3 秸秆还田方式对 AM 真菌侵染频度、侵染强度及孢子数影响

Table 3 Effect of straw return method on infection frequency, infection intensity and spore number of AM fungi

| 处理 Treatment | 侵染频度 F/% Infection frequency | 侵染强度 M/% Infection intensity | 孢子数/(个·g ⁻¹ 干土) Spore number |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|--|
| 秸秆不还田(CK) | 6.00 c | 0.91 d | 15.0 c |
| 秸秆覆盖还田 | 8.67 b | 1.21 c | 22.0 b |
| 秸秆旋耕还田 | 10.66 a | 2.12 b | 26.0 a |
| 秸秆深翻还田 | 11.32 a | 3.70 a | 31.0 a |

2.3 秸秆还田方式对土壤 GRSP 含量影响

由表 4 可知,各处理的 EE-GRSP 和 T-GRSP 含量显著差异(P<0.05),表现为秸秆深翻还田>秸秆旋耕还田>秸秆覆盖还田>秸秆不还田,说明秸秆还田有利于 AM 真菌菌丝的形成,且深翻还田后作用效果更加明显。

2.4 AM 真菌侵染及 GPRS 含量与土壤性状相关性分析

由表 5 可知,AM 真菌的侵染频度 F、侵染强

度 M、孢子数、EE-GRSP 及 T-GRSP 均与有机质、全氮、碱解氮和有效磷含量显著正相关(P<0.05),且有机质含量与孢子数和 EE-GRSP 极显著正相关(P<0.01),说明有机质对 AM 真菌的生长繁殖和菌丝分泌等具有重要影响。此外,孢子数、EE-GRSP 和 T-GRSP 还与全磷和全钾含量显著正相关(P<0.05),说明土壤全磷、全钾含量的增加也有利于 AM 真菌数量扩增,可促进 GRSP 的分泌。M 和 EE-GRSP 与土壤含水率也具有显著相关性(P<0.05)。

表 4 秸秆还田方式对土壤 GRSP 含量影响

Table 4 Effect of straw return method on GRSP content of soil

| 处理 Treatment | 易提球囊霉素/ (mg·g ⁻¹) EE-GRSP | 总球囊霉素/ (mg·g ⁻¹) T-GRSP |
|-----------------|---|---|
| 秸秆不还田(CK) | 0.43 d | 0.53 d |
| 秸秆覆盖还田 | 0.56 c | 0.62 c |
| 秸秆旋耕还田 | 0.65 b | 0.71 b |
| 秸秆深翻还田 | 0.79 a | 0.79 a |

表 5 AM 真菌侵染及 GPRS 含量与土壤性状相关性分析

Table 5 Correlation analysis of AM fungi infection,GPRS content and soil properties

| 指标 Index | 含水率/% Water content | 有机质/ (g·kg ⁻¹) Organic matter | 全氮/ (g·kg ⁻¹) Total nitrogen | 全磷/ (g·kg ⁻¹) Total phosphorus | 全钾/ (g·kg ⁻¹) Total potassium | 碱解氮/ (mg·kg ⁻¹) Alkaline nitrogen | 有效磷/ (mg·kg ⁻¹) Available phosphorus | 速效钾/ (mg·kg ⁻¹) Available potassium |
|-------------|---------------------------|--|---|---|--|--|---|--|
| F | 0.837 | 0.955 * | 0.988 * | 0.925 | 0.887 | 0.966 * | 0.970 * | 0.851 |
| M | 0.967 * | 0.972 * | 0.987 * | 0.888 | 0.946 | 0.983 * | 0.965 * | 0.889 |
| 孢子数 | 0.927 | 0.991 ** | 0.980 * | 0.971 * | 0.957 * | 0.962 * | 0.967 * | 0.935 |
| EE-GRSP | 0.956 * | 0.995 ** | 0.968 * | 0.959 * | 0.981 * | 0.980 * | 0.967 * | 0.927 |
| T-GRSP | 0.925 | 0.985 * | 0.981 * | 0.982 * | 0.963 * | 0.971 * | 0.986 * | 0.940 |

* 表示在 0.05 水平上显著($P<0.05$), ** 表示在 0.01 水平上显著($P<0.01$).
* indicates significant at 0.05 level($P<0.05$), and ** indicates significant at 0.01 level ($P<0.01$).

3 结论与讨论

3.1 秸秆还田方式对土壤性状的影响

本研究结果表明,连续两年秸秆还田对土壤理化性状具有一定影响。秸秆还田处理下,有机质、全氮、全磷、全钾及碱解氮、有速磷、速效钾含量有所增加,且速效养分含量增幅较大,同时可提高土壤含水率,为作物生长提供更适宜的环境条件。由于秸秆还田方式不同,秸秆腐解及养分释放效果存在差异,3 种还田方式中秸秆深翻还田效果最佳,其次为旋耕还田,覆盖还田,这与前人研究结果相一致^[14-17]。

3.2 秸秆还田方式对 AM 真菌侵染效应及球囊霉素含量的影响

AM 真菌对外来扰动敏感,因此被视为衡量土壤肥力的重要潜在指标。王晓英等^[18]认为,在一定范围内,有机质及养分含量升高有利于 AM 真菌的生长繁殖,使 AM 真菌对植物根系的侵染频度、强度及孢子数目显著提高。本研究中,AM 真菌的侵染频度 F、侵染强度 M、孢子数、EE-GRSP 及 T-GRSP 均与有机质、全氮、碱解氮和有效磷含量显著正相关($P<0.05$),且有机质含量与孢子数和 EE-GRSP 极显著正相关($P<0.01$),说明有机质对 AM 真菌产孢和菌丝分泌等具有重要影响。此外,孢子数、EE-GRSP 和 T-GRSP 还与全磷和全钾含量显著正相关($P<0.05$),说明土壤养分含量的适度增加也有利于 AM 真菌数量扩增,可促进 GRSP 的分泌。

3.3 秸秆还田方式应用探讨

本研究基于单年单环境试验数据,分析了秸秆不同还田方式对玉米田 AM 真菌侵染效应及球囊霉素含量的影响。结果表明,从当年土壤理

化性质及 AM 真菌的各项指标来看,3 种还田方式中,秸秆翻埋还田更能够增强土壤保水性,提高有机质及养分含量,进而更有利于 AM 真菌侵染效应的发挥。而针对年际变化及不同环境应结合具体种植情况及其他各项因素选择不同还田方式,因此,进行长期定位试验以及多因素、多地点试验将作为下一步的研究重点。

参考文献:

[1] 陈永亮,陈保冬,刘蕾,等. 丛枝菌根真菌在土壤氮素循环中的作用[J]. 生态学报,2014,34(17):4807-4815.
[2] 田慧,刘晓蕾,盖京苹,等. 球囊霉素及其作用研究进展[J]. 土壤通报,2009,40(5):1215-1220.
[3] 张贵云. 不同农业措施对丛枝菌根真菌群落结构和侵染效应的影响[D]. 南京:南京农业大学,2013.
[4] 仲召亮,王文杰,张文天,等. 不同林分及农田土壤中球囊霉素蛋白组成特征差异研究[J]. 北京林业大学学报,2016,38(4):107-115.
[5] Cambardella C A, Elliott E T. Particulate soil organic matter across a grassland cultivation sequence [J]. Soil Science Society of America Journal,1992,56: 777-783.
[6] Sis J, Elliott E T, Paustian K, et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils [J]. Soil Science Society of America Journal,1998,62: 1367-1377.
[7] 阙弘,葛阳洋,康福星,等. 南京典型利用方式土壤中球囊霉素含量及剖面分布特征[J]. 土壤,2015,47(4):719-724.
[8] 杜介方. 施肥对土壤团聚体分布及其中球囊霉素的影响[D]. 大连:大连交通大学,2010.
[9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2007.
[10] 钟思远,张静,童琳,等. 南亚热带森林优势树种氮、磷可利用性与菌根侵染率的关系[J]. 生态环境学报,2016,25(12):1929-1936.
[11] 郭鹏. Am 真菌与草莓共生关系研究[D]. 河北:河北大学,2007.

through field and pot experiment, to provide scientific basis for its soil ecological effect. In this experiment, there were the treatment groups NaT, NbT, and NcT of different sampling times (in May, October and January of the following year) by planting *Pennisetum* sp. for 2 years, with the control groups NaK, NbK and NcK; and pot experiment with the treatment group NpT and the control group NpK, the quantity of soil microorganisms and the activity of soil enzymes were measured and analyzed. The results of soil microbial quantity and soil enzyme activity analysis in the experimental area of planting *Pennisetum* sp. were consistent with those of pot experiment. The results indicated that the quantity of soil bacteria, fungi, and actinomycetes of the treatment groups by planting *Pennisetum* sp. were extremely higher than the control groups ($P < 0.01$). The quantity of soil microorganisms in the treatment group of pot experiment increased the most than that in the control group, the quantity of bacteria, fungi and actinomycetes in the treatment group was 5.7, 9.6 and 9.1 times as much as that in the control group, respectively. The soil catalase, sucrase, urease, and acid phosphatase activity of the treatment groups were significantly higher than the control groups ($P < 0.05$), in addition to soil acid phosphatase activity of the group Nb, reached extremely significant level ($P < 0.01$). The quantity of soil microorganisms and soil activity were increased by planting *Pennisetum* sp., which indicated that the planting of *Pennisetum* sp. played a positive role in improving soil quality.

Keywords: *Pennisetum* sp.; soil microorganism; soil enzyme activity

(上接第 39 页)

- [12] 李旺霞,陈彦云. 土壤水分及其测量方法的研究进展[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(10): 335-339.
- [13] 裴浪,毕银丽,江彬,等. 覆膜与接种 AM 真菌对半干旱区玉米根际土壤理化性质的影响[J]. 菌物学报, 2017, 36(7): 904-913.
- [14] 王晓波,车威,纪荣婷. 秸秆还田和保护性耕作对砂姜黑土有机质和氮素养分的影响[J]. 土壤, 2015, 47(3): 483-489.
- [15] 夏强. 秸秆还田对土壤养分及其生物学特性影响的研
- 究[D]. 安徽:安徽农业大学, 2013.
- [16] 朱敏,石云翔,孙志友,等. 秸秆还田与旋耕对川中土壤物理性状及玉米机播质量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(7): 1025-1033.
- [17] 战秀梅,彭靖,李秀龙,等. 耕作及秸秆还田方式对春玉米产量及土壤理化性状的影响[J]. 华北农学报, 2014, 29(3): 204-209.
- [18] 王晓英,王冬. 丛枝菌根真菌与土壤养分交互作用的生态效应研究[J]. 北方园艺, 2009(6): 111-115.

Effects of Straw Return Method on AM Fungi Infection and Glomalin Content in Maize Field

XU Ying-ying, WANG Jun-he, LIU Yu-tao, WANG Yu-xian, GAO Pan, YANG Hui-ying, FAN Jing-sheng, QU Zhong-cheng

(Qiqihar Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Qiqihar Comprehensive Test Station of National Maize Industry System, Qiqihar 161006, China)

Abstract: In order to improve soil structure, enhance soil fertility and improve soil biological activity, a locatable experiment was carried out to determine the effects of different methods on organic matter, nutrient content, AM fungi infection and glomalin content in maize field. Taking without maize straw return to field as control(CK), three straw return methods were set up, including straw mulching, spinning straw into the soil and plowing straw deeply into the soil. The results showed that compared with CK, straw return for two consecutive years could increase soil organic matter and nutrient content, which was beneficial to the growth and metabolism of AM fungi and the effect on root infection. Among the three methods of straw return, the effect of plowing straw deeply into the soil was the most significant. The frequency, intensity and spore number of AM fungi under that method increased by 88.67%, 300.66% and 106.67%, respectively.

Keywords: maize; straw return; organic matter; AM fungi; infection; glomalin