

玉米秸秆不同还田方式下腐解菌剂的应用效果研究

范作伟, 陈帅民, 李阳阳, 高玉山, 窦金刚, 侯中华, 刘慧涛, 吴海燕

(吉林省农业科学院农业资源与环境研究所, 长春 130033)

摘要: 试验设置3种秸秆还田方式和2种剂型腐解菌剂处理, 以秸秆离田和秸秆还田无菌剂为对照。在玉米收获后测定不同处理的秸秆腐解率、土壤养分含量、单株生物量和产量, 研究还田方式对秸秆降解效果、土壤养分含量和玉米产量的影响, 比较不同秸秆还田方式下腐解菌剂对秸秆腐解效果。结果表明, 旋耕和深耕还田的秸秆腐解率要显著高于浅旋还田。秸秆深耕还田相较于浅旋和旋耕还田可以显著提高0~60 cm土壤有机质、速效钾含量和玉米产量。在施用腐解菌剂处理中, 固体菌剂的秸秆腐解率高于液体菌剂, 无显著差异。在秸秆浅旋和旋耕还田方式下, 施用菌剂处理的秸秆腐解率显著高于未施用菌剂处理。在秸秆深耕还田条件下, 施用菌剂显著增加了玉米单株生物量。腐解菌剂对秸秆腐解和玉米生长具有一定促进作用, 在秸秆不同还田方式下腐解菌剂的应用效果存在一定差异。

关键词: 玉米; 微生物菌剂; 耕作方式; 土壤养分; 秸秆腐解率

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

Study on Application Effect of Microbial Decomposing Inoculum in Different Maize Straw Returning Methods

FAN Zuo-wei, CHEN Shuai-min, LI Yang-yang, GAO Yu-shan, DOU Jin-gang,

HOU Zhong-hua, LIU Hui-tao, WU Hai-yan

(Institute of Agricultural Environment and Resources Research,

Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: In this study, three straw-returning methods and two microbial decomposing inoculums treatments were established. And two control treatments were established. One is with straw return but without microbial inoculum, and the other one is without straw return or microbial inoculum. The straw decomposition rate, soil nutrient content, maize biomass and yield of different treatments were measured after maize harvest. The results showed that the straw decomposition rate in rotary tillage and deep tillage was higher than in moldboard plowing. Deep tillage could significantly increase deep layer soil(0–60 cm) nutrient content and maize yield compared with rotary tillage and moldboard plowing. Microbial inoculum application could significantly increase straw decomposition rate in moldboard plowing and rotary tillage. And microbial inoculum could increase maize biomass in deep tillage. All results indicated that microbial decomposing inoculum could promote straw decomposition and maize growth, but the application effect was different in different straw-returning methods.

Key words: Maize; Microbial inoculum; Tillage method; Soil nutrient; Straw decomposition rate

中国每年产生约7亿t的农作物秸秆, 玉米秸秆产量占农作物秸秆总量的30%左右^[1,2]。东北地区是

我国重要的粮食主产区, 每年可收集的玉米秸秆资源总量达到1.7亿t, 秸秆资源十分丰富^[3]。秸秆含有丰富的有机质、氮磷钾和微量元素, 是一种具有多用途和可再生的生物质资源, 也是农业生产重要的有机肥源。7亿t秸秆中含氮350万t、磷80万t、钾800万t, 相当于2010年全国化肥施用总量的五分之一左右^[4,5]。

玉米是吉林省第一大作物, 2018年玉米种植面积是423.15万hm², 占吉林省农作物总种植面积的

录用日期: 2020-07-22

基金项目: 国家重点研发计划专项(2016YFD0300807, 2018YFD0300204)、国家黑土地保护利用试点项目(2019前郭)

作者简介: 范作伟(1981-), 本科, 主要从事农业微生物基础与应用研究。E-mail: 39335313@qq.com

刘慧涛和吴海燕为本文通讯作者。

69.59%。在集约化产业管理模式下,玉米长期连作造成了土壤耕层结构劣化、缓冲能力减弱、黑土肥力严重退化等严重问题^[6]。玉米秸秆还田能够有效提高土壤有机质含量、增加土壤养分、改善土壤耕性及结构性,同时调节土壤微生态环境,提高土壤生物活性及多样性。鉴于东北地区的气候特点,北方春玉米秋季收获后面临冬季气温低、土壤冻结等实际问题,致使玉米秸秆还田后腐解速度缓慢、分解周期长、腐解效果差,春季还会影响土壤墒情和下茬作物的出苗率以及产量^[7]。因此,进行秸秆低温快速降解微生物菌剂与酶制剂的研发工作以及田间应用调控技术研究,是解决东北地区主要农作物秸秆综合利用的重要科学问题。

腐解菌剂是一类能够产生纤维素酶、半纤维素酶和木质素酶等的多菌株复合的微生物菌剂。自然条件下,秸秆等纤维素类物质降解是多种微生物协同作用的结果,单一微生物很难对其高效降解,而多种纤维素降解菌混合培养后,其产酶具有多样性,在各种酶的相互协同作用下有利于提高纤维素类物质的转化率^[8,9]。有研究表明,外源添加腐解菌剂可以促进秸秆还田后的腐化,增加田间土壤养分^[10,11]。但也有研究表明,腐解菌剂不能促进秸秆腐熟^[12]。腐解菌剂应用效果受到活菌数量、菌株稳定性、酶活力等内在因素和温度、pH值、土壤含水量、氧气浓度等外在环境因素的共同影响。筛选适应性广、酶活能力强、生长代谢稳定的腐解菌株和研发与腐解菌剂施用配套的秸秆还田技术是实现秸秆资源化利用的重要措施。

不同耕作方式可以影响土壤容重、孔隙度和土壤含水量等土壤物理性质。土壤深耕、深松和旋耕均能降低0~20 cm土层土壤紧实度和土壤容重^[13]。深耕相较于免耕和旋耕对深层土壤容重影响更大,对土壤孔隙状况改善效果更好^[14,15]。不同耕作方式下土壤含水量和水分入渗能力均有所不同。免耕处理可使土壤结构稳定,增加蓄水能力,降低水分流失。翻耕或深松可以促进水分的入渗速率,降低土壤表层水分蒸发量并且减少地表径流,最终提高土壤含水量^[16~18]。土壤物理性质的改变会影响土壤养分运移和土壤微生物群落结构^[19]。田间秸秆腐解与微生物活动密切相关,秸秆还田方式的不同造成秸秆所在的土壤物理、化学和生物环境均不相同,秸秆腐解效果也不相同。因此研究秸秆不同还田方式对秸秆腐解效果的影响,对于发展吉林省玉米产业具有重要意义。

本研究设置3种秸秆还田方式和2种剂型腐解

菌剂处理,以秸秆离田和秸秆还田无菌剂为对照,分析还田方式对秸秆降解效果、土壤养分含量和玉米产量的影响,同时比较不同秸秆还田方式下腐解菌剂对秸秆腐解效果,为玉米生产实践提供重要参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2019年4~10月在吉林省松原市前郭尔罗斯县宝甸乡(东经124°36'12",北纬44°53'32")进行,该地区年平均气温4.5℃,年平均日照2 900 h,全年无霜期平均135~145 d,年平均降雨量350~500 mm,气候类型属于温带半湿润大陆性气候,土壤类型是黑钙土。试验设置前为玉米连作、秸秆离田的种植方式。

1.2 功能菌及腐解菌剂

供试功能菌株:为本研究室分离筛选、优化复配得到的复合菌系,包括长枝木霉(*Trichoderma longibrachiatum*)、嗜热毁丝霉(*Myceliophthora thermophila*)和枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)。

液体剂型腐解菌剂制备:长枝木霉和嗜热毁丝霉培养基:葡萄糖:20 g/L,玉米浆:10 mL/L,硫酸镁0.2 g/L,磷酸氢二钾0.5 g/L,pH调至5.8~6.2。35℃、150 r/min振荡培养24 h;枯草芽孢杆菌培养基:葡萄糖20 g/L,玉米浆10 mL/L,硫酸镁0.2 g/L,磷酸氢二钾0.5 g/L,柠檬酸钠0.1 g/L,pH调至6.8~7.2。28℃、150 r/min振荡培养24 h。3株菌株单独培养,混合后施入田间(总有效活菌数≥1.0亿cfu/mL)。

固体剂型腐解菌剂制备:将豆粕、玉米小颗粒、稻糠按质量比4:3:3充分混合,且每1 kg固体中添加20 g葡萄糖,加入适量水,121℃灭菌30 min。将制备好的液体菌剂均匀喷洒到固体中(20 mL原液喷洒100 g固体),用灭菌水调至含水量约为60%。在恒温培养箱中30℃培养5 d,置于室温下干燥,粉碎后备用(总有效活菌数≥1.0亿cfu/g)。

1.3 试验设计

本试验在春季耕种前(4月上旬)将玉米秸秆粉碎后全量还田(约5 t/hm²),设置3种秸秆还田方式和秸秆离田对照。3种秸秆还田深度分别为0~10 cm、0~30 cm和0~50 cm,分别界定为浅旋、旋耕和深耕。秸秆还田前,向秸秆中施入固体或液体腐解菌剂,用量为秸秆重量的0.5%,同时设置无菌剂对照。为了便于机械耕作,本试验不设随机重复,每个小区120 m²(图1)。采样时将每个小区平均分成3个亚区。

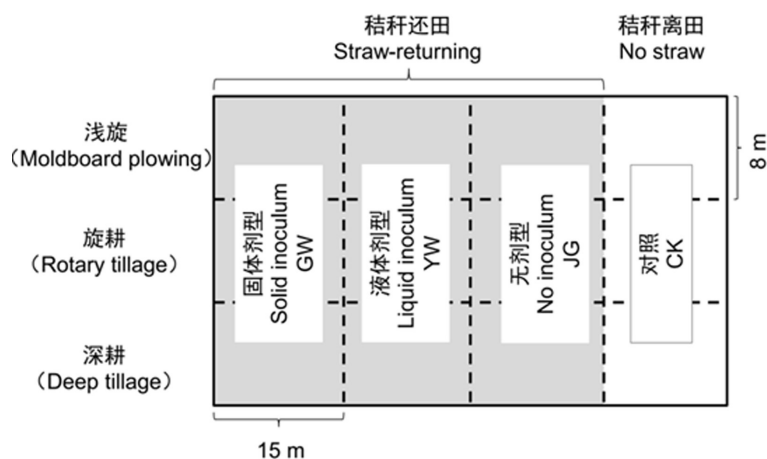


图1 田间试验处理

Fig.1 Field treatment

供试玉米品种为迪卡159,种植密度为7.5万株/hm²。宽窄行种植,各处理施肥量相同,N肥(尿素)220 kg/hm²、P肥(P₂O₅)肥80 kg/hm²、K肥(K₂O)90 kg/hm²,底肥一次性施入。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 秸秆腐解率测定

2019年春季播种前(4月25日)称取25 g玉米秸秆于30 mm×30 mm的4 mm孔隙网袋中,按照田间试验要求施用腐解菌剂。在田间秸秆还田时埋入地下,埋入深度,浅旋10 cm,旋耕30 cm,深耕50 cm。每个亚区3个重复(秸秆离田处理无网袋)。在玉米收获后挖出网袋,用清水将秸秆洗净,然后80℃烘干至恒重,测定袋内秸秆重量,测定夏季腐解菌剂对玉米秸秆的腐解率。2019年玉米收获后(9月28日)称取200 g玉米秸秆施用腐解菌剂后按上述方法埋入不同还田模式的土壤中,测定冬季腐解菌剂对玉米秸秆的腐解率。腐解率=(原秸秆重量-培养后秸秆重量)/原秸秆重量×100%。

1.4.2 土壤养分含量测试

玉米成熟后,采集0~20 cm、21~40 cm、41~60 cm土壤样品,每个亚区取3点,混合均匀后为1次重复,土壤样品过2 mm筛后保存于4℃。土壤理化性质参照《土壤农业化学分析方法》标准方法^[20]。pH采用电位法(水土比2.5:1)测定;土壤硝态氮含量(NO₃⁻-N)采用紫外分光光度法(A=A_{220 nm}-A_{275 nm})测定;土壤铵态氮含量(NH₄⁺-N)采用靛酚蓝比色法(A_{625 nm})测定;土壤有机质(SOM)采用水合热重铬酸钾氧化-比色法(A_{590 nm})测定;土壤有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法;土壤速效钾用乙酸铵浸提-火焰光度法。

1.4.3 玉米地上部生物量和产量测定

玉米成熟后,每个亚区随机采取3株玉米,去掉玉米穗后在105℃下杀青30 min,80℃烘干至恒重,测量玉米地上部干物质重量。每个亚区选取10.4 m²的玉米进行考种,测定其产量及产量构成,利用测定的含水量折算出小区的实际产量。

1.5 数据处理

用SPSS统计软件对数据进行多重比较(LSD法)。

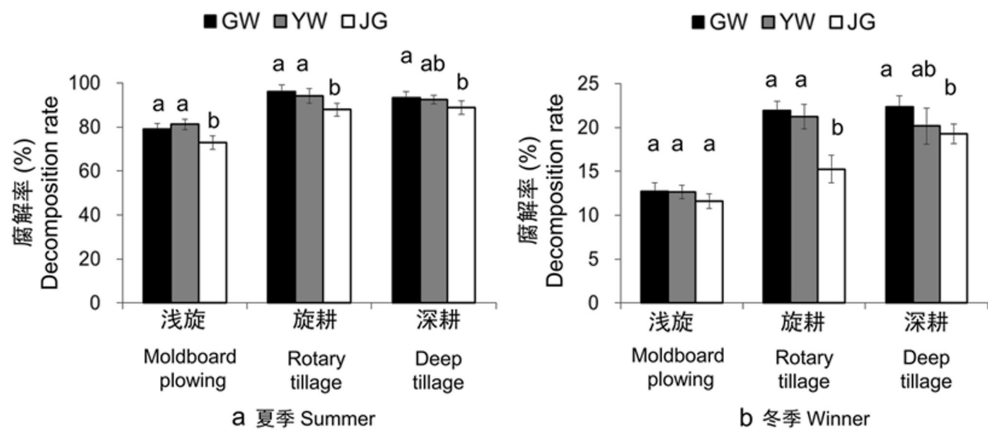
2 结果与分析

2.1 秸秆还田方式和腐熟菌剂对秸秆腐解率的影响

夏季(2019年4月25日至2019年9月25日)不同还田模式施用腐解菌剂的秸秆腐解率见图2。秸秆在浅旋还田方式的腐解率(61.1%~68.0%)低于在旋耕和深耕还田方式下的腐解率(82.2%~72.2%和82.7%~73.5%)。秸秆3种还田方式下,施用菌剂处理的腐解率均高于未施用腐解菌剂处理,浅旋和旋耕方式下差异达到显著水平。在不同秸秆还田方式下,固体菌剂腐解效果均略高于液体菌剂腐解效果,但无显著差异性。

冬季(2019年9月25日至2020年4月25日)不同还田模式施用腐解菌剂的秸秆腐解率,秸秆在浅旋还田方式的腐解率(11.6%~12.8%)低于在旋耕和深耕还田方式的腐解率(15.3%~21.9%和19.3%~22.3%)。秸秆3种还田方式下,施用菌剂处理的腐解率均高于未施用腐解菌剂处理,旋耕深耕方式下差异达到显著水平。在不同秸秆还田方式下,固体菌剂腐解效果均略高于液体菌剂腐解效果,但无显

著差异性。腐解菌剂在冬季对秸秆的腐解效果与玉米生长季表现出相同的趋势,说明腐解菌的效果较为稳定。



注:不同字母表示同一秸秆还田方下各处理之间具有显著差异(P<0.05)。
Note: The different letters indicate significant difference(P<0.05) in the same straw-returning method.

图2 不同秸秆还田方式下腐解菌剂对秸秆腐解率的影响
Fig.2 Effects of microbial inoculums on straw decomposition rate in different straw-returning methods

2.2 秸秆还田方式对土壤养分的影响

秸秆还田处理(JG)与秸秆离田处理(CK)相比,不同秸秆还田方式主要对不同土层土壤有机质、有效磷和速效钾含量具有一定影响(表1至表3)。3种秸秆还田方式都显著增加了0~20 cm土壤有机质含量。秸秆深耕还田可以显著增加41~60 cm土壤有机质含量。在秸秆离田处理中,3种耕作方式下41~60 cm土壤有机质含量在17.6~18.9 g/kg;秸秆

深耕还田后,土壤有机质含量增加到20.3 g/kg;秸秆浅旋和旋耕还田对41~60 cm土壤有机质含量没有影响。秸秆浅旋和旋耕还田显著增加0~20 cm土壤有效磷含量,秸秆深耕还田对表层土壤有效磷含量无显著影响,显著增加了21~40 cm土壤有效磷含量,由4.8 mg/kg增至6.1 mg/kg。在秸秆深耕还田条件下,41~60 cm土壤速效钾含量是107~119 mg/kg,显著高于秸秆离田的处理(93 mg/kg)。

表1 秸秆浅旋还田方式下腐解菌剂对土壤养分的影响
Table 1 Effects of microbial inoculums on soil nutrients in moldboard plowing straw-returning method

土层 (cm) Soil layer	处 理 Treatment	pH值 pH value	硝态氮 (mg/kg) NO ₃ ⁻ -N	铵态氮 (mg/kg) NH ₄ ⁺ -N	有机质(g/kg) Soil organic matter	有效磷 (mg/kg) Available phosphorus	速效钾(mg/kg) Available potassium
0~20	GW	8.01±0.02 c	14.9±0.8 a	0.16±0.01	26.6±0.8 a	12.7±0.5 a	158±7 a
	YW	8.04±0.02 c	16.2±0.7 a	0.13±0.01	26.5±0.5 a	12.4±0.5 a	157±5 a
	JG	8.10±0.01 b	12.4±0.9 b	0.10±0.02	25.0±0.4 b	10.4±0.2 b	161±6 a
	CK	8.14±0.01 a	11.6±0.9 b	0.15±0.01	23.0±0.3 c	4.3±0.3 c	144±4 b
21~40	GW	8.11±0.05	10.2±0.4 ab	0.14±0.04	21.6±0.8	4.8±0.1	107±6
	YW	8.11±0.04	11.2±0.6 a	0.16±0.03	21.4±0.7	4.7±0.3	109±5
	JG	8.12±0.01	9.9±0.3 b	0.13±0.02	21.3±0.6	4.9±0.5	110±4
	CK	8.14±0.03	9.3±0.6 b	0.15±0.01	21.3±0.6	4.6±0.3	106±5
41~60	GW	8.10±0.01	10.3±0.1	0.15±0.03	18.9±0.4	3.5±0.4	83±1
	YW	8.10±0.02	11.1±0.6	0.18±0.03	18.6±0.3	3.8±0.3	85±1
	JG	8.07±0.08	11.0±0.2	0.12±0.05	18.4±0.2	4.1±0.5	87±3
	CK	8.10±0.01	10.2±0.8	0.16±0.01	18.6±0.2	4.0±0.5	84±3

注:不同字母表示同一土层内各处理之间具有显著差异(P<0.05)。下表同。
Note: The different letters indicate significant difference(P<0.05) in the same soil layer. The same below.

2.3 不同秸秆还田方式下配施腐熟菌剂对土壤养分的影响

在秸秆浅旋还田方式下,施用菌剂(GW 和 YW)与未施菌剂处理(JG)相比,0~20 cm 土壤 pH 显著降低,有机质、有效磷和速效钾含量显著增加,0~40 cm 土壤硝态氮含量显著增加。在秸秆旋耕还田

方式下,施用菌剂(GW 和 YW)显著降低 0~20 cm 土壤 pH 值、增加 21~40 cm 土壤硝态氮、铵态氮和有机质含量。在秸秆深耕还田方式下,施用菌剂(GW 和 YW)增加 21~40 cm 土壤速效钾含量。土壤养分指标在施用固体和液体菌剂条件下无显著变化。

表2 秸秆旋耕还田方式下腐解菌剂对土壤养分的影响
Table 2 Effects of microbial inoculums on soil nutrients in rotary tillage straw-returning method

土 层 (cm) Soil layer	处 理 Treatment	pH 值 pH value	硝态氮 (mg/kg) NO ₃ ⁻ -N	铵态氮 (mg/kg) NH ₄ ⁺ -N	有机质(g/kg) Soil organic matter	有效磷 (mg/kg) Available phosphorus	速效钾(mg/kg) Available potassium
0~20	GW	7.98±0.03 ab	15.7±0.8 a	0.18±0.04	25.4±0.6 a	6.5±0.4 a	148±5
	YW	7.91±0.05 b	16.2±0.2 a	0.19±0.01	25.7±0.5 a	5.6±0.4 ab	136±2
	JG	8.02±0.03 a	14.9±0.4 a	0.17±0.04	25.0±0.5 a	6.1±0.6 a	141±3
	CK	8.03±0.03 a	9.9±0.9 b	0.16±0.01	24.1±0.2 c	4.7±0.6 b	141±7
21~40	GW	8.15±0.07	8.6±0.2 a	0.19±0.01 a	23.8±0.7 a	4.2±0.2	106±6
	YW	8.14±0.04	8.5±0.3a	0.21±0.03 a	24.6±0.7 a	5.2±0.5	111±8
	JG	8.10±0.05	7.4±0.3b	0.10±0.01 b	21.1±0.5 b	4.7±0.6	110±1
	CK	8.15±0.03	7.6±0.1b	0.13±0.01 b	21.3±0.5 b	4.3±0.5	113±2
41~60	GW	7.97±0.05	8.5±0.7	0.06±0.02	17.2±0.6 b	3.4±0.6	92±6
	YW	8.02±0.04	8.3±0.6	0.10±0.01	18.5±0.1 a	3.6±0.3	92±7
	JG	8.01±0.04	8.1±0.8	0.07±0.01	16.9±0.6 b	3.3±0.5	87±3
	CK	8.03±0.05	7.3±0.6	0.07±0.03	17.6±0.5 b	3.5±0.7	89±7

表3 秸秆深耕还田方式下腐解菌剂对土壤养分的影响
Table 3 Effects of microbial inoculums on soil nutrients in deep tillage straw-returning method

土 层 (cm) Soil layer	处 理 Treatment	pH 值 pH value	硝态氮 (mg/kg) NO ₃ ⁻ -N	铵态氮 (mg/kg) NH ₄ ⁺ -N	有机质(g/kg) Soil organic matter	有效磷(mg/kg) Available phosphorus	速效钾(mg/kg) Available potassium
0~20	GW	8.00±0.03	16.0±0.5	0.20±0.02	25.6±0.8 a	8.9±0.4	131±10
	YW	7.99±0.06	14.1±0.6	0.18±0.07	26.4±0.9 a	8.5±0.2	137±4
	JG	7.97±0.01	14.1±0.6	0.21±0.06	24.1±0.5 ab	8.4±0.3	139±8
	CK	8.01±0.09	15.7±0.9	0.20±0.01	21.7±0.9 b	8.5±0.5	130±4
21~40	GW	8.10±0.02	11.3±0.6 a	0.10±0.02	23.7±0.7 a	6.9±0.5a	131±10 a
	YW	8.17±0.03	11.5±0.8 a	0.14±0.05	23.1±0.4 a	6.6±0.7a	137±5 a
	JG	8.12±0.02	7.5±0.4 b	0.13±0.04	23.3±0.7 a	6.1±0.4a	115±7 b
	CK	8.15±0.03	7.3±0.5 b	0.10±0.04	20.9±0.8 b	4.8±0.8b	118±7 b
41~60	GW	8.03±0.05	10.8±0.7 a	0.06±0.02	21.6±0.6 a	3.5±0.2	107±5 a
	YW	8.04±0.02	10.3±0.9 a	0.10±0.04	20.9±0.7 a	3.7±0.3	111±13 a
	JG	8.02±0.01	7.4±0.6 b	0.07±0.01	20.3±0.6 a	3.4±0.5	119±6 a
	CK	8.03±0.07	7.7±0.6 b	0.07±0.06	18.9±0.5 b	3.3±0.4	93±5

2.4 秸秆还田方式和腐熟菌剂对单株生物量和产量的影响

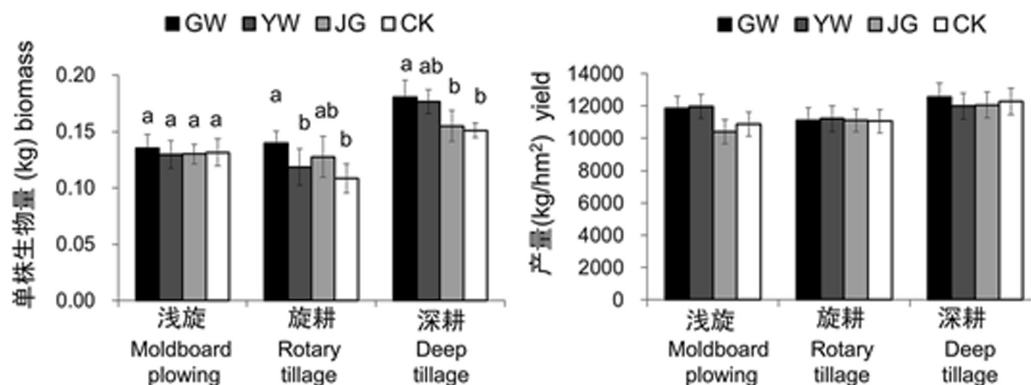
各试验处理的单株生物量和产量见图3。在秸秆浅旋还田方式下玉米单株生物量为0.13~0.14 kg,各处理间单株生物量无显著变化。在秸秆旋耕还田

方式下单株生物量为0.11~0.14 kg,施用固体腐解菌剂处理的单株生物量要显著高于其他处理。在秸秆深耕还田方式下单株生物量为0.13~0.17 kg,施用菌剂处理(GW 和 YW)的单株生物量高于未施用菌剂处理(JG),其中 GW 处理单株生物量要显著高于

JG处理。在不同秸秆还田方式中,有无秸秆(JG与CK)对单株生物量无显著影响。

在秸秆浅旋、旋耕和深耕还田方式下的玉米产量分别是10 876~11 959 kg/hm²、11 054~11 224 kg/hm²

和12 057~12 462 kg/hm²。秸秆深耕还田方式下的玉米产量要高于浅旋和旋耕还田方式下的玉米产量。施用菌剂处理的玉米产量要略高于未施用菌剂处理,但无显著差异。



注:不同字母表示同一秸秆还田方下各处理之间具有显著差异($P<0.05$)。

Note: The different letters indicate significant difference ($P<0.05$) in the same straw-returning method.

图3 不同秸秆还田方式下腐解菌剂对单株生物量和产量的影响

Fig.3 Effects of microbial inoculums on biomass and yield in different straw-returning methods

3 讨论

东北地区玉米秸秆资源丰富,可利用空间很大。秸秆还田可以在微生物作用下腐解并释放氮、磷、钾等养分供作物吸收和利用,还可以增加土壤有机质。秸秆还田被认为是改善土壤理化性状和提高土壤肥力的有效措施^[21]。不同耕作方式可以改变土壤结构、持水能力、养分含量等,影响作物对水分及养分的吸收,进而影响作物的生长与产量。有关秸秆还田配施腐解菌剂的研究与应用,国内外学者已经做了大量的报道。前人研究表明,玉米秸秆还田后接种微生物腐解菌剂,可以有效促进秸秆的腐殖化速度,促进土壤中有效养分的快速积累,同时可以改善土壤微生态环境,提高土壤酶活性以及调节土壤pH值^[22~24]。本研究结果表明,秸秆不同还田方式配施腐解菌剂均能不同程度地改善土壤pH值、有机质以及养分状况。与秸秆还田不施菌剂相比,秸秆浅旋配施菌剂可以降低耕层土壤pH值,有机质、硝态氮和有效磷含量分别增加6.0%~6.4%、20.2%~30.6%和19.2%~22.1%,差异达到显著水平;铵态氮提高幅度达到30%~60%,效果十分显著。秸秆旋耕配施菌剂也降低了耕层土壤pH值,耕层土壤有机质、硝态氮含量均有不同程度的提高,在21~40 cm土层内提高幅度更加明显,分别达到了12.8%~16.6%、14.9%~16.2%,铵态氮提高幅度达到90%~110%。秸秆深耕配施菌剂改善土壤有机质的效果

优于浅旋和旋耕,在21~60 cm各个处理都有较高的有机质含量。整体而言,秸秆还田配施腐解菌剂的效果与还田方式有关,深耕优于旋耕和浅旋。不同剂型的菌剂无显著差异。

秸秆还田方式还可以影响秸秆的腐解效果^[25]。在不同的耕作栽培措施下秸秆腐解菌剂的作用效果存在显著差异,其原因可能是不同还田方式的秸秆与土壤接触程度不同,秸秆所在土壤环境具有差异,秸秆在深耕和旋耕还田方式下的腐解率要高于浅旋还田方式,这可能与土壤接触的比表面积有关。此外,表层土壤受到光照、风蚀等影响,水分蒸发量较大,土壤含水量相对较低。土壤含水量的增加提高了土壤微生物活性,有利于秸秆腐解。本研究秸秆3种还田方式配施腐解菌剂,浅旋还田的腐解率最低,为61%~68%,旋耕和深耕均达到了80%以上。菌剂的添加可显著提高秸秆腐解率,固体剂型提高了10.2%~15%,液体剂型提高了7.8%~12.5%,固体剂型腐解效果要强于液体剂型。

有关农作物秸秆直接还田,可以提高土壤有机质含量,改善土壤物理性状及养分含量,进而增加农作物产量的相关报道很多^[26],而且作物产量对不同还田方式的响应也有差别。本研究结果表明,玉米产量在深耕条件下比浅旋增加了6.5%~15.6%,比旋耕增加了8.4%~12.4%。冯艳春等^[27]研究表明,深松耕作较免耕、翻耕和浅旋处理玉米产量增幅为8.3%~11.5%。韦安培等^[28]研究表明,深松提高了小

麦产量5.82%。秸秆还田深度影响不同深度土壤养分含量。秸秆浅旋还田只对表层(0~20 cm)土壤养分具有影响,秸秆深耕还田提高了0~60 cm土壤有机质和速效钾含量,并提高了21~40 cm土壤有效磷含量,玉米根系可以在深层土壤中吸收更多养分,这可能是促进玉米生长的一个重要原因。在秸秆深耕还田方式下,尽管施用菌剂处理的玉米产量与未施菌剂处理无显著变化,但施用菌剂显著增加了单株生物量,增长了19%~24%。在浅旋处理中,施加菌剂处理玉米产量比未施加菌剂处理增加了13.6%~14.7%,腐解菌剂的施用对玉米生长具有一定促进作用。本研究结果表明,腐熟菌剂对秸秆腐解、土壤养分提高和玉米生长均表现出了明显的促进作用,而且在北方寒冷的冬季腐解菌剂对秸秆也有一定的腐解效果,施用腐熟菌剂的对于改善土壤环境的长期效应仍需进一步研究探讨。

参考文献:

- [1] 吕开宇,仇焕广,白军飞. 中国玉米秸秆直接还田的现状与发展[J]. 中国人口资源与环境, 2013, 23(3): 171-176.
Lü K Y, Chou H G, Bai J F. Development of direct return of corn stalk to soil: current status, driving forces and constraints[J]. China Population, Resource and Environment, 2013, 23(3): 171-176. (in Chinese)
- [2] 毕于运,高春雨,王亚静. 中国秸秆资源数量估算[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 211-217.
Bi Y Y, Gao C Y, Wang Y J. Estimation of straw resources in China[J]. Transaction of the CSO AE, 2009, 25(12): 211-217. (in Chinese)
- [3] 蔡红光,梁尧,刘慧涛,等. 东北地区玉米秸秆全量深翻还田耕种技术研究[J]. 玉米科学, 2019, 27(5): 123-129.
Cai H G, Liang Y, Liu H T, et al. Research on full maize straw returning with deep ploughing mode in the Northeast China[J]. Journal of Maize Sciences, 2019, 27(5): 123-129. (in Chinese)
- [4] 汪可欣,付强,张中昊,等. 秸秆覆盖与表土耕作对东北黑土根区土壤环境的影响[J]. 农业机械学报, 2016, 47(3): 131-137.
Wang K X, Fu Q, Zhang Z H, et al. Effects of straw mulching mode and tillage methods on soil environment of root zone in northeast black soil[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(3): 131-137. (in Chinese)
- [5] Kumar S, Kadono A, Lal R, et al. Long-term no-till impacts on organic carbon and properties of two contrasting soils and corn yields in Ohio[J]. Soil Science Society of American Journal, 2012, 76: 1798-1809.
- [6] 王立春,王永军,边少锋,等. 吉林省玉米高产高效绿色发展的理论与实践[J]. 吉林农业大学学报, 2018, 40(4): 383-392.
Wang L C, Wang Y J, Bian S F, et al. Theory and practice for high yield, high efficiency and green development of maize in Jilin province[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2018, 40(4): 383-392. (in Chinese)
- [7] 青格尔,于晓芳,高聚林,等. 腐解菌剂对玉米秸秆降解效果的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(12): 107-116.
Qing G E, Yu X F, Gao J L, et al. Study on degradation of corn stalk by decomposing microbial inoculants[J]. Journal of Northwest A & F University(Natural Science Edition), 2016, 44(12): 107-116. (in Chinese)
- [8] 李静,张瀚能,赵翀,等. 高效纤维素降解菌分离筛选、复合菌系构建及秸秆降解效果分析[J]. 应用与环境生物学报, 2016, 22(4): 689-696.
Li J, Zhang H N, Zhao C, et al. Isolation and screening of cellulose decomposing microbe and the straw decomposing effect of complex microbial system[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2016, 22(4): 689-696. (in Chinese)
- [9] Lynd L R, Weimer P J, Vanzyl W H, et al. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology[J]. Microbiology and Molecular Biology Reviews: MMBR, 2002, 66(3): 506-577.
- [10] 班允赫,李旭,李新宇,等. 降解菌系和助腐剂对不同还田方式下水稻秸秆降解特征的影响[J]. 生态学杂志, 2019, 38(10): 2982-2988.
Ban Y H, Li X, Li X Y, et al. Effects of straw-decomposing microbial consortia and nutrient enhancement on the decomposition characteristics of rice straws in different returning ways[J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(10): 2982-2988. (in Chinese)
- [11] 宋志伟,陈露露,潘宇,等. 3种菌剂对水稻秸秆降解性能的影响[J]. 生态环境学报, 2018, 27(11): 2134-2141.
Song Z W, Chen L L, Pan Y, et al. Influence of three microbial agents on the degradation performance of rice straw[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2018, 27(11): 2134-2141. (in Chinese)
- [12] 吴琴燕,陈宏州,杨敬辉,等. 不同腐解剂对麦秸秆腐解的初步研究[J]. 上海农业学报, 2010, 26(4): 83-86.
Wu Q Y, Chen H Z, Yang J H, et al. Preliminary study on effects of different decomposers on wheat straw[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2010, 26(4): 83-86. (in Chinese)
- [13] 关劫兮,陈素英,邵立威,等. 华北典型区域土壤耕作方式对土壤特性和作物产量的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(11): 1663-1672.
Guan J X, Chen S Y, Shao L W, et al. Soil tillage practices affecting the soil characteristics and yield of winter wheat and summer maize in North China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(11): 1663-1672. (in Chinese)
- [14] Zhang Y J, Wang R, Wang S L, et al. Effects of different sub-soiling frequencies incorporated into no-tillage systems on soil properties and crop yield in dryland wheat-maize rotation system[J]. Field Crops Research, 2017, 209: 151-158. (in Chinese)
- [15] 翟振,李玉义,郭建军,等. 耕深对土壤物理性质及小麦-玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(11): 115-123.
Zhai Z, Li Y Y, Guo J J, et al. Effect of tillage depth on soil physical properties and yield of winter wheat-summer maize[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(11): 115-123. (in Chinese)
- [16] 杨永辉,武继承,张洁梅,等. 耕作方式对土壤水分入渗、有机碳含量及土壤结构的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(2): 258-266.
Yang Y H, Wu J C, Zhang J M, et al. Effect of tillage method on soil water infiltration, organic carbon content and structure[J]. Chi-

- nese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(2): 258–266. (in Chinese)
- [17] 魏欢欢, 王仕稳, 杨文稼, 等. 免耕及深松耕对黄土高原地区春玉米和冬小麦产量及水分利用效率影响的整合分析[J]. 中国农业科学, 2017, 50(3): 461–477.
- Wei H H, Wang S W, Yang W J, et al. Meta analysis on impact of no-tillage and subsoiling tillage on spring maize and winter wheat yield and water use efficiency on the Loess Plateau[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(3): 461–477. (in Chinese)
- [18] Jia L Z, Zhao W W, Zhai R J, et al. Regional differences in the soil and water conservation efficiency of conservation tillage in China [J]. Catena, 2019, 175: 18–26.
- [19] Sun R B, Li W Y, Dong W X, et al. Tillage changes vertical distribution of soil bacterial and fungal communities[J]. Frontiers in Microbiology, 2018, 9: 699.
- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [21] 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 87–91.
- Han L J, Yan Q J, Liu X Y, et al. Straw resources and their utilization in China[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(3): 87–91. (in Chinese)
- [22] 张建峰, 侯红燕, 付志金. 速腐菌剂在东北地区秸秆堆肥中的功能验证及微生物菌群动态研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(26): 112–117.
- Zhang J F, Hou H Y, Fu Z J. The study on functional verification of the speed corruption completing agents in straw compost and the microbial flora dynamic in the northeast China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(26): 112–117. (in Chinese)
- [23] 解媛媛, 谷洁, 高华. 微生物菌剂酶制剂化肥不同配比对秸秆还田后土壤酶活性的影响[J]. 水土保持研究, 2010, 17(2): 233–238.
- Xie Y Y, Gu J, Gao H. Dynamic changes of soil enzyme activities in microorganism inoculants, enzymes and chemical fertilizers in different proportions after straw returning soil[J]. Research of Soil and Water conservation, 2010, 17(2): 233–238. (in Chinese)
- [24] 李玉春, 刘瑞伟, 皇传华. 微生物菌剂对小麦秸秆还田效果试验[J]. 山东农业科学, 2006(6): 52–53.
- Li Y C, Liu R W, Huang C H. Testing the effect of microbial agents for wheat straw returned[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2006 (6): 52–53. (in Chinese)
- [25] 刘海静, 任萍. 2种还田模式下小麦秸秆腐解菌剂应用效果研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(3): 166–172.
- Liu H J, Ren P. Effects of biodegradation agents on straw degradation in two kinds of straw returning[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(3): 166–172. (in Chinese)
- [26] 武志杰, 张海军, 许广山, 等. 玉米秸秆还田培肥土壤的效果[J]. 应用生态学报, 2002, 13(5): 539–542.
- Wu Z J, Zhang H J, Xu G S, et al. Effect of returning corn straw into soil on soil fertility[J]. Journal of Applied Ecology, 2002, 13(5): 539–542.
- [27] 冯艳春, 罗洋, 李瑞平, 等. 耕作方式对玉米出苗率干物质积累及产量的影响[J]. 玉米科学, 2018, 26(5): 85–90.
- Feng Y C, Luo Y, Li R P et al. Effect of different tillage systems on the seeding emergence rate, dry matter accumulation and yield of maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(5): 85–90. (in Chinese)
- [28] 韦安培, 丁文超, 胡恒宇, 等. 耕作方式及秸秆还田对土壤性质、微生物碳源代谢及小麦产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(6): 145–152.
- Wei A P, Ding W C, Hu H Y, et al. Effects of tillage methods and straw return on soil properties, metabolism of microbial carbon source and wheat yield[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2019, 37(6): 145–152. (in Chinese)

(责任编辑: 栗天宇)

(上接第 108 页)

- [23] 戴明宏, 陶洪斌, 王利纳, 等. 不同氮肥管理对春玉米干物质生产、分配及转运的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(1): 154–157.
- Dai M H, Tao H B, Wang L N, et al. Effects of different nitrogen managements on dry matter accumulation, partition and transportation of spring maize (*Zea mays* L.)[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2008, 23(1): 154–157. (in Chinese)
- [24] 朱金龙, 危常州, 张书捷, 等. 不同供氮水平对膜下滴灌春玉米干物质及养分累积的影响[J]. 新疆农业科学, 2014, 51(9): 1569–1576.
- Zhu J L, Wei C Z, Zhang S J, et al. Effects of different N rates on spring maize dry matter and nutrients accumulation under drip irrigation and film mulch[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2014, 51 (9): 1569–1576. (in Chinese)

- [25] 郝梦波, 王空军, 董树亭, 等. 减源对超高产夏玉米物质积累及氮素利用的影响[J]. 山东农业科学, 2009(8): 34–36.
- Hao M B, Wang K J, Dong S T, et al. Effects of leaf-cutting on matter accumulation and nitrogen utilization of super-high-yielding summer maize[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2009(8): 34–36. (in Chinese)
- [26] 王小燕, 于振文. 不同施氮量条件下灌溉量对小麦氮素吸收转运和分配的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3015–3024.
- Wang X Y, Yu Z W. Effect of irrigation rate on absorption and translocation of nitrogen under different nitrogen fertilizer rate in wheat[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(10): 3015–3024. (in Chinese)

(责任编辑: 姜媛媛)