

不同质地土壤玉米秸秆还田配施腐熟剂效应的研究

于宗波, 杨恒山, 萨如拉, 李媛媛, 罗方, 郭晓旭

(内蒙古民族大学农学院, 内蒙古自治区饲用作物工程技术研究中心, 内蒙古 通辽 028042)

摘要: 为研究筛选不同质地土壤秸秆还田适宜的秸秆腐熟剂, 于 2017—2018 年在西辽河平原灌区中壤土和砂壤土秸秆还田配施人元腐熟剂和中农绿康腐熟剂, 以秸秆还田不施腐熟剂为对照, 共设置 6 个处理, 测定玉米秸秆腐解率、玉米产量、玉米根系特性和土壤化学性状, 研究不同秸秆腐熟剂对玉米产量及土壤特性的影响。结果表明: 不同质地土壤 2 种腐熟剂秸秆腐解率间无显著差异; 中壤土 2 年各处理玉米产量及根系特性、土壤化学性状均表现为人元腐熟剂 > 中农绿康腐熟剂 > 秸秆还田不施腐熟剂, 且中农绿康腐熟剂和人元腐熟剂显著高于秸秆还田不施腐熟剂, 而 2 种腐熟剂处理之间无显著差异; 砂壤土 2 年各处理玉米产量及根系特性、土壤化学性状均表现为中农绿康腐熟剂 > 人元腐熟剂 > 秸秆还田不施腐熟剂, 且中农绿康腐熟剂显著高于人元腐熟剂和秸秆还田不施腐熟剂。2 年不同质地土壤中配施腐熟剂在根系特性、土壤化学性状方面表现为砂壤土配施中农绿康腐熟剂效果优于人元腐熟剂, 而中壤土配施 2 种腐熟剂效果无显著性差异。

关键词: 秸秆腐熟剂; 玉米; 根系特性; 土壤酶活性; 土壤化学性状

中图分类号: S158.5; S513

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)04-0234-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2019.04.033

Effect of Maize Straw Returning Combined with Maturation Agent in Different Texture Soils

YU Zongbo, YANG Hengshan, SA Rula, LI Yuanyuan, LUO Fang, GUO Xiaoxu

(Inner Mongolia Autonomous Region Forage Crop Engineering Technology Research Center, College of Agricultural, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028042)

Abstract: In order to study the suitable straw decomposition agents for different soil textures, six treatments were set up to determine the decomposition rate of maize straw, maize yield, characteristics of maize root system and soil chemical properties in the irrigation area of West Liaohe Plain from 2017 to 2018, in which maize straw mixed with Renyuan maturation agent and Zhongnong Lv kang maturation agent were returned to medium loam and sandy loam, and straw returning to the field without applying maturation agent was taken as the control. The results showed that there was no significant difference in the decomposing rate between the two kinds of maturation agents in different texture soils. The yield, root characteristics and soil chemical properties of the middle loam in the two years all followed the order of Renyuan maturation agent > Zhongnong Lv kang maturation agent > control, and the values of Zhongnong Lv kang maturation agent and Renyuan maturation agent were significantly higher than those of the control, while there was no significant difference between the two kinds of maturation agents. The yield, root characteristics and soil chemical properties of sandy loam in the two years all followed the order of Zhongnong Lv kang maturation agent > Renyuan maturation agent > control, and the values of Zhongnong Lv kang maturation agent were all significantly higher than those of Renyuan maturation agent and the control. For improvement of the root characteristics and soil chemical properties, in sandy loam soil, the effect of applying Zhongnong Lv kang maturation agent was better than that of Renyuan maturation agent, while in medium loam, there was no significant difference between the two kinds of maturation agents.

Keywords: straw maturation agent; maize; root characteristics; soil enzyme activity; soil chemical properties

收稿日期: 2019-01-14

资助项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0300805); 内蒙古自治区自然科学基金项目(2018MS03059)

第一作者: 于宗波(1992—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事玉米高产栽培研究。E-mail: 747406382@qq.com

通信作者: 杨恒山(1967—), 男, 教授, 博士, 主要从事玉米高产栽培研究。E-mail: yanghengshan2003@aliyun.com

秸秆是一种培肥土壤的有机肥源,能够对作物增产起到一定作用,是最直接有效的可再生资源^[1];但大多数直接被焚烧,不仅对大气造成污染,而且对土壤生态系统造成了严重的破坏。内蒙古自治区是我国玉米主产区之一,该区域年均气温较低,且低温持续时间较长,导致秸秆降解缓慢,难以作为当季作物的肥源,秸秆降解是制约该区域秸秆还田的关键因素^[2]。有学者^[3-4]认为,秸秆深翻还田能明显提高砂壤土有益微生物的数量和土壤酶活性,有利于维持土壤养分平衡,改善土壤理化性状;也有研究^[5]证明,对田间施加秸秆腐熟剂可加快秸秆腐熟,同时对培肥土壤也能起到一定的促进作用^[6-7];张电学等^[8]研究认为,配施促腐剂对作物产量有较好的增产效果;玉米秸秆还田配施腐熟剂对玉米产量具有显著的增产效果^[9],但也有研究与之相反,施加腐熟剂秸秆降解的速度并没有加快,且降解速率与秸秆填埋量也有关^[10-11]。由此可见,不同地区秸秆还田配施秸秆腐熟剂效果不同,而通辽地区主要质地土壤为中壤土和砂壤土,而关于不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂的深入研究较少,本文通过连续2年的定位试验,探究不同质地土壤配施秸秆腐熟剂对玉米产量、根系特性及土壤特性的影响,以期对玉米秸秆还田提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验区自然概况

试验于2017年、2018年在西辽河平原中部的通辽市开鲁县蔡家堡村玉米秸秆还田定位试验田(43°35'N, 121°09'E,海拔高度为178 m)进行,为温带大陆性季风气候,光热资源充足且雨热同期,年均气温6.8℃,平均无霜冻期为150 d,年均降水量为399 mm;土壤质地为中壤土和砂壤土,播前土壤养分状况见表1。2种质地土壤试验田相距5 km,气候类型一致。

表1 试验地耕层土壤养分含量

土壤质地	有机质/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
中壤土	15.92	53.27	10.23	97.61
砂壤土	15.34	51.88	8.87	101.21

1.2 试验设计与田间管理

选择当地主要质地土壤类型中壤土(ZR)和砂壤土(SR),分别进行玉米秸秆还田配施人元腐熟剂(RY)和中农绿康秸秆型有机物料腐熟剂(ZN,简称中农绿康腐熟剂)试验,并以秸秆还田不施腐熟剂为对照(CK),小区面积72 m²,3次重复。人元腐熟剂含细菌、放线菌、丝状菌、酵母菌等多种菌株,有效活菌数 $\geq 8.0 \times 10^7$ cfu/g;中农绿康腐熟剂含纤维素分解菌、益生菌、芽孢杆菌、绿色木霉和酵母菌等高效菌株,有效活菌数 $\geq 8.0 \times 10^7$ cfu/g。秋季玉米秸秆机

械粉碎,均匀撒于田间,再将相应的秸秆腐熟剂与锯末按1:5拌匀均匀撒施于秸秆表面,旋耕还田(深度为15 cm);2种腐熟剂用量均为30 kg/hm²,秸秆腐熟剂价格为20元/kg。2017年玉米品种为“泽玉709”,2018年玉米品种为信玉168,等行种植(50 cm),密度为7.5万株/hm²,底施磷酸二铵(P₂O₅ 46%)195 kg/hm²,硫酸钾(K₂O 50%)90 kg/hm²,追施尿素(N 46%)525 kg/hm²,分别在拔节期、大喇叭口期、吐丝期按3:6:1比例追施;灌溉方式采用大水漫灌,生育期间共灌水4次。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 产量及产量构成因素 各小区测产面积为56 m²,测鲜粒重和含水率,折算成含水量为14%的产量,并记录有效穗数,分别取10穗风干后考种。

1.3.2 根系生物量 于吐丝期,各小区均在同行内选取代表性连续的3株,以第1株1/2株距处到第3株1/2株距处为长,以1/2行距为宽,挖长方形样方分层取根,每层15 cm,共3层。各土层根系装入冰盒带回实验室,洗净后挑出杂质和死根,于80℃烘干测定干重。

1.3.3 根系酶活性 在吐丝期、乳熟期,按照1.3.2方法取根,采用氮蓝四唑光化还原法^[12]测定超氧化物歧化酶(SOD)活性,愈创木酚法^[13]测定过氧化物酶(POD)活性,硫代巴比妥酸比色法^[14]测定丙二醛(MDA)含量。

1.3.4 土壤酶活性测定 于吐丝期取土样,采用5点蛇形法采集,各小区取0—15,15—30,30—45 cm土样,同一层次混合均匀,四分法分取足量阴干,研磨至可通过1 mm筛孔备用^[15]。采用3,5—二硝基水杨酸比色法测定土壤纤维素酶活性,靛酚比色法测定土壤脲酶活性^[16]。

1.3.5 土壤速效养分测定 于吐丝期按照1.3.4方法取0—15 cm土样。采用碱解扩散法测定碱解氮含量,钼锑抗比色法测定有效磷含量,火焰光度法测定速效钾含量^[17]。

1.3.6 秸秆腐解率测定 2017年秋季秸秆还田时,将撒有相应秸秆腐熟剂的粉碎玉米秸秆装入尼龙网袋(60 cm×100 cm,孔径200目),每个尼龙袋装玉米秸秆9 kg(干重),扎好埋入15 cm深土层中;以不撒腐熟剂为对照,5次重复,2种质地土壤共埋入120个网袋;分别于大喇叭口期、吐丝期、乳熟期和完熟期取样,每个时期取出5袋,用蒸馏水冲洗,除去菌体及可溶物,105℃烘干后称重,失重法计算秸秆腐解率。

秸秆腐解率=剩余秸秆干质量(kg)/原始秸秆干质量(kg)×100%

1.4 数据处理

采用 Excel 和 SPSS 19.0 软件进行数据作图与统计分析, LSD 法检验处理间差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对玉米秸秆腐解率的影响

由图 1 可知,随着玉米生育期的推进,各处理玉米秸秆腐解率提高,但增速有所差异;ZR-CK、SR-CK 和 ZR-ZN 增速较平缓,而 ZR-RY 腐解率持续增长。ZR-ZN 和 SR-ZN 腐解率较高,达到 88.55% 和 88.48%,但处理间未达显著性差异,较 ZR-CK 和 SR-CK 高出 154.75% 和 95.36%。SR-RY 玉米秸秆腐解率最高,达到 88.69%,较 SR-CK 高出 95.82%;而 ZR-RY 秸秆腐解率 84.82%,较 ZR-CK 高出 144.02%;ZR-CK 秸秆腐解率低于 SR-CK。

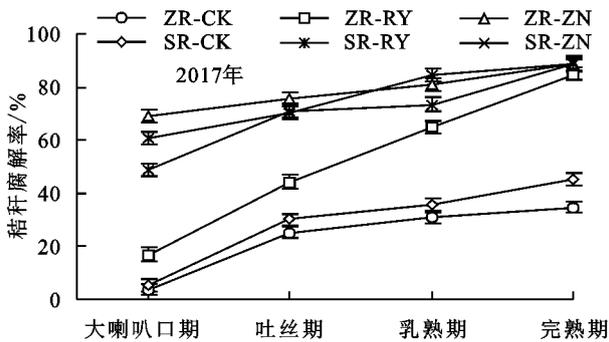


图 1 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对玉米秸秆腐解率的影响

2.2 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对玉米产量的影响

由表 2 可知,中壤土 2017 年和 2018 年各处理产量均表现为 ZR-RY > ZR-ZN > ZR-CK, 且配施腐熟剂处理显著高于 ZR-CK; 砂壤土 2017 年和 2018 年各处理产量均表现为 SR-ZN > SR-RY > SR-CK, 且 SR-ZN 产量显著高于 SR-RY 和 SR-CK。2 年 ZR-RY 与 SR-RY 产量无显著差异, 而 SR-ZN 产量显著高于 ZR-ZN, SR-ZN 产量显著高于 SR-RY; 2 年 ZR-CK 与 SR-CK 产量无显著差异。从产量构成因素来看, 产量差异形成的原因主要在有效穗数上; 2 年有效穗数均表现为 ZR-RY 和 ZR-ZN 显著高于 ZR-CK, 且 ZR-ZN 和 ZR-RY 间差异不显著; SR-ZN 有效穗数显著高于 SR-RY 和 SR-CK, 而 SR-RY 和 SR-CK 间差异不显著; 2 年各处理穗粒数和千粒重均未达显著性差异。

2.3 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对玉米根干重的影响

由表 3 可知,中壤土各土层根干重均表现为 ZR-RY > ZR-ZN > ZR-CK, 且 ZR-ZN 和 ZR-RY

显著高于 ZR-CK, 而 ZR-ZN 和 ZR-RY 之间无显著差异; 砂壤土各土层根干重均表现为 SR-ZN > SR-RY > SR-CK, 且 SR-ZN 显著高于 SR-RY 和 SR-CK。中壤土 2017 年、2018 年 ZR-RY 和 ZR-ZN 根干重较 ZR-CK 分别增加 30.66% 和 17.10%, 56.60% 和 19.42%; 砂壤土 2017 年、2018 年 SR-RY 和 SR-ZN 根干重较 SR-CK 分别增加 13.08% 和 36.47%, 19.03% 和 66.95%。2 年同一腐熟剂在不同质地土壤中根干重均表现为 ZR-RY > SR-RY、SR-ZN > ZR-ZN, 且上述对比中仅 ZR-RY 显著高于 SR-RY。2 年 ZR-CK 与 SR-CK 各土层根干重无显著差异。秸秆还田配施 2 种腐熟剂均能增加玉米根生物量, 中农绿康秸秆腐熟剂在 2 种质地土壤中促进根生物量增加较为明显。

表 2 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对玉米产量的影响

年份	处理	有效穗数/ ($\times 10^4$ 穗 \cdot hm^{-2})	穗粒数/粒	千粒重/g	实测产量/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)
2017	ZR-CK	4.51b	536.15a	363.91a	9.60b
	ZR-ZN	4.95a	542.46a	364.01a	10.33a
	ZR-RY	5.03a	555.15a	371.95a	10.84a
	SR-CK	4.51b	526.55a	368.35a	9.51b
	SR-ZN	4.89a	553.97a	370.23a	10.00a
	SR-RY	4.55b	544.74a	369.37a	9.61b
2018	ZR-CK	6.77b	546.99a	373.80a	13.40b
	ZR-ZN	7.01a	559.85a	383.69a	13.65a
	ZR-RY	7.37a	568.84a	389.00a	14.43a
	SR-CK	6.44b	544.03a	370.73a	12.95b
	SR-ZN	7.27a	558.97a	373.30a	13.87a
	SR-RY	6.79b	552.07a	371.35a	13.00b

注:表中同列不同小写字母表示同年同一质地土壤不同处理间差异显著($P < 0.05$)。下同。

表 3 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对玉米根干重的影响
单位: g/株

年份	处理	0—15 cm	15—30 cm	30—45 cm	总重
2017	ZR-CK	18.43b	1.43b	0.49b	20.35b
	ZR-ZN	21.47a	1.76a	0.60a	23.83a
	ZR-RY	23.84a	1.92a	0.83a	26.59a
	SR-CK	17.26b	1.34b	0.43b	19.03b
	SR-ZN	23.38a	1.81a	0.78a	25.97a
	SR-RY	19.53b	1.37b	0.62a	21.52b
2018	ZR-CK	21.84b	1.71b	0.55b	24.10b
	ZR-ZN	26.24a	1.91a	0.63a	28.78a
	ZR-RY	34.67a	2.19a	0.88a	37.74a
	SR-CK	19.37b	1.67b	0.50b	21.54b
	SR-ZN	32.98a	2.12a	0.86a	35.96a
	SR-RY	23.25b	1.69b	0.70b	25.64b

2.4 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对玉米根系酶活性的影响

2.4.1 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对玉米根系 SOD 活性的影响 由表 4 可知, 2 年各处理根系 SOD 活性均表现为吐丝期小于乳熟期, 同一处理各

土层吐丝期 SOD 活性表现为 0—15 > 15—30 > 30—45 cm, 乳熟期则相反。中壤土 2 年各时期各土层根系 SOD 活性均表现为 ZR—RY > ZR—ZN > ZR—CK, 且 ZR—ZN 和 ZR—RY 根系 SOD 活性显著高于 ZR—CK, 而 ZR—ZN 和 ZR—RY 无显著差异; 砂

壤土 2 年各时期各土层根系 SOD 活性均表现为 SR—ZN > SR—RY > SR—CK, 且 SR—ZN 根系 SOD 活性显著高于 SR—RY 和 SR—CK。同一腐熟剂在不同质地土壤中表现为, ZR—RY 根系 SOD 活性显著高于 SR—RY, 其他处理均不显著。

表 4 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对玉米根系 SOD 活性的影响

年份	处理	吐丝期 SOD 活性/(U·g ⁻¹ FW)			乳熟期 SOD 活性/(U·g ⁻¹ FW)		
		0—15 cm	15—30 cm	30—45 cm	0—15 cm	15—30 cm	30—45 cm
2017	ZR—CK	82.35b	74.28b	66.19b	99.31b	111.99b	129.57b
	ZR—ZN	126.98a	108.35a	85.36a	133.19a	142.64a	155.35a
	ZR—RY	141.07a	132.81a	105.68a	156.47a	162.47a	172.45a
	SR—CK	73.98b	66.66b	59.16b	90.36b	101.64b	119.72b
	SR—ZN	132.39a	116.74a	93.23a	137.43a	146.73a	159.82a
	SR—RY	87.22b	74.18b	64.28b	92.83b	104.27b	123.74b
2018	ZR—CK	105.87b	94.73b	82.25b	126.92b	138.23b	157.36b
	ZR—ZN	126.53a	118.36a	101.87a	139.27a	148.65a	163.76a
	ZR—RY	158.37a	134.87a	119.65a	167.32a	173.28a	192.75a
	SR—CK	85.36b	79.21b	66.88b	99.37b	119.26b	137.34b
	SR—ZN	136.35a	121.53a	103.24a	149.62a	158.47a	173.27a
	SR—RY	101.23b	87.21b	74.26b	120.62b	130.19b	147.26b

2.4.2 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对玉米根系 POD 活性的影响 由表 5 可知, 2 年各处理根系 POD 活性均表现为吐丝期小于乳熟期, 同一处理各土层吐丝期 POD 活性表现为 0—15 cm > 15—30 cm > 30—45 cm, 乳熟期则相反。中壤土 2 年各时期各土层根系 POD 活性均表现为 ZR—RY > ZR—ZN > ZR—CK, 且 ZR—ZN 和 ZR—RY 根系 POD 活

性显著高于 ZR—CK, 而 ZR—ZN 和 ZR—RY 无显著差异; 砂壤土 2 年各时期各土层根系 POD 活性均表现为 SR—ZN > SR—RY > SR—CK, 且 SR—ZN 根系 POD 活性显著高于 SR—RY 和 SR—CK。同一腐熟剂在不同质地土壤中表现为, ZR—RY 根系 POD 活性显著高于 SR—RY, SR—ZN 与 ZR—ZN 不显著。

表 5 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对玉米根系 POD 活性的影响

年份	处理	吐丝期 POD 活性/(U·g ⁻¹ FW)			乳熟期 POD 活性/(U·g ⁻¹ FW)		
		0—15 cm	15—30 cm	30—45 cm	0—15 cm	15—30 cm	30—45 cm
2017	ZR—CK	49.26b	44.18b	35.26b	57.28b	73.18b	82.66b
	ZR—ZN	69.62a	53.22a	47.75a	73.98a	92.28a	110.47a
	ZR—RY	77.51a	65.19a	54.01a	82.16a	102.71a	116.37a
	SR—CK	43.29b	38.17b	35.16b	53.28b	64.19b	82.61b
	SR—ZN	76.13a	62.16a	55.27a	81.53a	94.97a	122.66a
	SR—RY	49.27b	43.54b	37.18b	59.37b	68.28b	86.47b
2018	ZR—CK	67.28b	52.62b	47.28b	77.18b	89.38b	105.92b
	ZR—ZN	75.61a	61.98a	53.28a	87.47a	102.29a	111.38a
	ZR—RY	87.23a	74.18a	61.35a	96.23a	105.28a	127.36a
	SR—CK	52.26b	44.31b	39.41b	64.71b	70.82b	83.66b
	SR—ZN	76.39a	63.38a	54.16a	89.22a	106.28a	116.74a
	SR—RY	58.47b	47.11b	42.19b	66.71b	73.19b	84.76b

2.4.3 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对玉米根系 MDA 含量的影响 由表 6 可知, 2 年各处理根系 MDA 含量均表现为吐丝期小于乳熟期, 同一处理各时期各土层 MDA 含量均表现为 0—15 cm > 15—30 cm > 30—45 cm。中壤土 2 年各时期各土层根系 MDA 含量均表现为 ZR—CK > ZR—ZN > ZR—RY, 且 ZR—CK 根系 MDA 含量显著高于 ZR—ZN 和 ZR—RY, 而 ZR—ZN 和 ZR—RY 无显著差异; 砂壤土 2 年各时期各土层根系 MDA 含量均表现为 SR—CK > SR—RY > SR—ZN, 且 SR—CK 和 SR—RY 根系 MDA 含量显著高于 SR—ZN。同一腐熟剂在不同质地土壤中表现为, SR—RY 根

系 MDA 含量显著高于 ZR—RY, SR—ZN 与 ZR—ZN 不显著。2 种腐熟剂在不同质地土壤中均对提高根系 SOD、POD 活性及降低 MDA 含量有积极作用。

2.5 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对土壤速效养分的影响

由图 2 可知, 中壤土 2 年碱解氮、速效钾、有效磷含量均表现为 ZR—RY > ZR—ZN > ZR—CK, ZR—ZN 和 ZR—RY 碱解氮、速效钾含量显著高于 ZR—CK, 而 ZR—ZN 和 ZR—RY 间无显著差异; ZR—RY 有效磷含量显著高于 ZR—ZN 和 ZR—CK。砂壤土 2 年碱解氮、速效钾、有效磷含量均表现为 SR—ZN > SR—RY >

SR-CK,且 SR-ZN 速效养分含量均显著高于 SR-RY 和 SR-CK。2 年同一腐熟剂不同质地土壤碱解氮、速效钾、有效磷含量均表现为 SR-ZN>ZR-ZN,但碱解氮、速效钾含量无显著差异,有效磷含量差异显著;2 年同一腐熟剂不同质地土壤碱解氮、速效钾、有效磷

含量均表现为 ZR-RY>SR-RY,达显著性差异。2 年 ZR-CK 速效养分含量均高于 SR-CK,但无显著差异。2018 年速效养分含量总体高于 2017 年,2018 年配施腐熟剂第 2 年,秸秆腐烂较好,从而释放更多的养分,增加了速效养分含量。

表 6 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对玉米根系 MDA 含量的影响

年份	处理	吐丝期 MDA 含量/($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ FW)			乳熟期 MDA 含量/($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ FW)		
		0—15 cm	15—30 cm	30—45 cm	0—15 cm	15—30 cm	30—45 cm
2017	ZR-CK	12.68a	11.79a	10.63a	13.79a	12.26a	11.74a
	ZR-ZN	10.01b	9.42b	8.53b	10.99b	9.61b	8.74b
	ZR-RY	9.23b	8.68b	7.97b	9.87b	9.11b	8.63b
	SR-CK	15.16a	14.39a	13.34a	16.71a	15.14a	13.63a
	SR-ZN	9.64b	8.77b	7.91b	10.73b	9.35b	8.24b
	SR-RY	14.36a	13.87a	12.77a	15.67a	14.74a	13.19a
2018	ZR-CK	11.97a	11.36a	10.74a	12.89a	11.98a	11.37a
	ZR-ZN	11.02b	10.36b	9.73b	12.52b	11.48b	10.31b
	ZR-RY	9.24b	8.79b	8.03b	11.01b	10.35b	9.46b
	SR-CK	14.98a	13.77a	12.79a	15.14a	14.14a	13.75a
	SR-ZN	10.63b	9.91b	9.02b	11.97b	11.32b	9.77b
	SR-RY	13.23a	12.78a	11.45a	14.76a	13.79a	12.86a

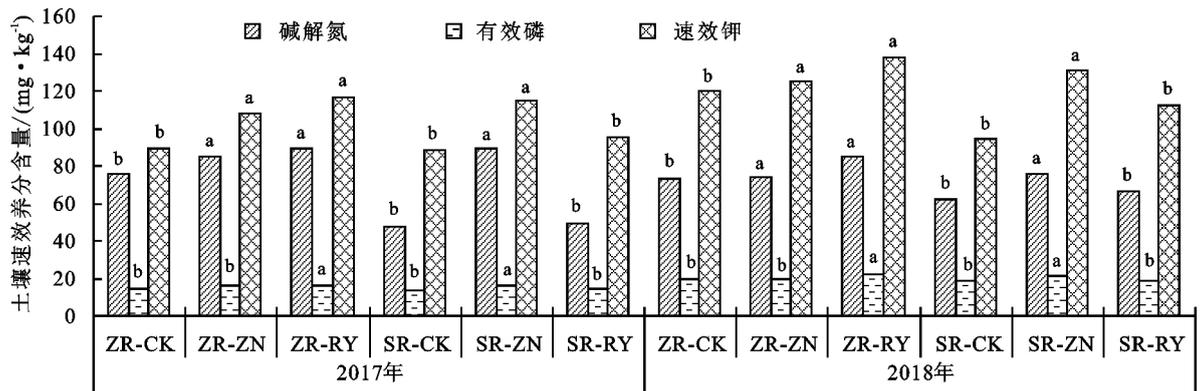


图 2 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对土壤速效养分含量的影响

2.6 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对土壤酶活性的影响

2.6.1 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对土壤脲酶活性的影响 由图 3 可知,中壤土 2 年各土层脲酶活性均表现为 ZR-RY>ZR-ZN>ZR-CK,2017 年 ZR-RY 脲酶活性显著高于 ZR-ZN 和 ZR-CK,2018 年各处理达显著性差异;2017 年、2018 年 ZR-RY 和 ZR-ZN 脲酶活性平均值较 ZR-CK 分别增加 28.21% 和 5.13%,37.50% 和 25.00%。砂壤土 2 年各土层脲酶活性均表现为 SR-ZN>SR-RY>SR-CK,且 SR-ZN 脲酶活性显著高于 SR-RY 和 SR-CK;2017 年、2018 年 SR-RY 和 SR-ZN 脲酶活性平均值较 SR-CK 分别增加 5.56% 和 16.67%,17.78% 和 40.00%。2 年同一腐熟剂不同质地土壤脲酶活性均表现为 SR-ZN>ZR-ZN(到 2018 年达显著性差异)、ZR-RY>SR-RY(2 年均达显著性差异),2 年各土层脲酶活性均为 ZR-CK>SR-CK,但差异均不显著。

2.6.2 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对土壤纤维素酶活性的影响 由图 4 可知,中壤土 2 年各土层

纤维素酶活性均表现为 ZR-RY>ZR-ZN>ZR-CK,2017 年 ZR-ZN 和 ZR-RY 纤维素酶活性显著高于 ZR-CK,2018 年 ZR-RY 纤维素酶活性显著高于 ZR-ZN 和 ZR-CK;2017 年、2018 年 ZR-RY 和 ZR-ZN 纤维素酶活性平均值较 ZR-CK 分别增加 15.59% 和 5.04%,13.50% 和 4.08%。砂壤土 2 年各土层纤维素酶活性均表现为 SR-ZN>SR-RY>SR-CK,且 SR-ZN 纤维素酶活性显著高于 SR-RY 和 SR-CK;2017 年、2018 年 SR-RY 和 SR-ZN 纤维素酶活性平均值较 SR-CK 分别增加 2.89% 和 9.31%,4.66% 和 17.35%。2 年同一腐熟剂不同质地土壤纤维素酶活性均表现为 SR-ZN>ZR-ZN(到 2018 年达显著性差异)、ZR-RY>SR-RY(2 年均达显著性差异),2 年各土层纤维素酶活性均为 ZR-CK>SR-CK,但差异均不显著。

3 讨论

刘慧屿等^[18]认为,秸秆坐水还田结合菌剂较常规秸秆还田措施更适合风砂土田的玉米生长发育,包括地上部分的生长发育、植株生物量,地下部分根系

发育,并显著提高土壤活性碳氮、微生物固氮作用。窦莉萍^[19]认为,连续 5 年秸秆还田,黑土与棕壤在团聚体稳定性、有机碳含量及分布方面改善效果较好,秸秆还田产生的效益更高。本文研究中,中壤土和砂壤土秸秆还田配施人元和中农绿康腐熟剂对玉米根干重、根系 SOD、POD 活性均有所提高,MDA 含量有所下降,说明秸秆还田配施腐熟剂根系膜质过氧化

程度较轻,清除自由基,具有较强的抗衰老能力,为玉米生育后期根系的吸收能力提供保障。中壤土秸秆还田配施中农绿康腐熟剂与人元腐熟剂效果无差异,而砂壤土秸秆还田配施中农绿康腐熟剂效果较好。不同质地土壤根际微生物多样性存在差异,腐熟剂与土著微生物的协同作用也可能不同,是造成不同质地土壤施用腐熟剂效果差异的主要原因。

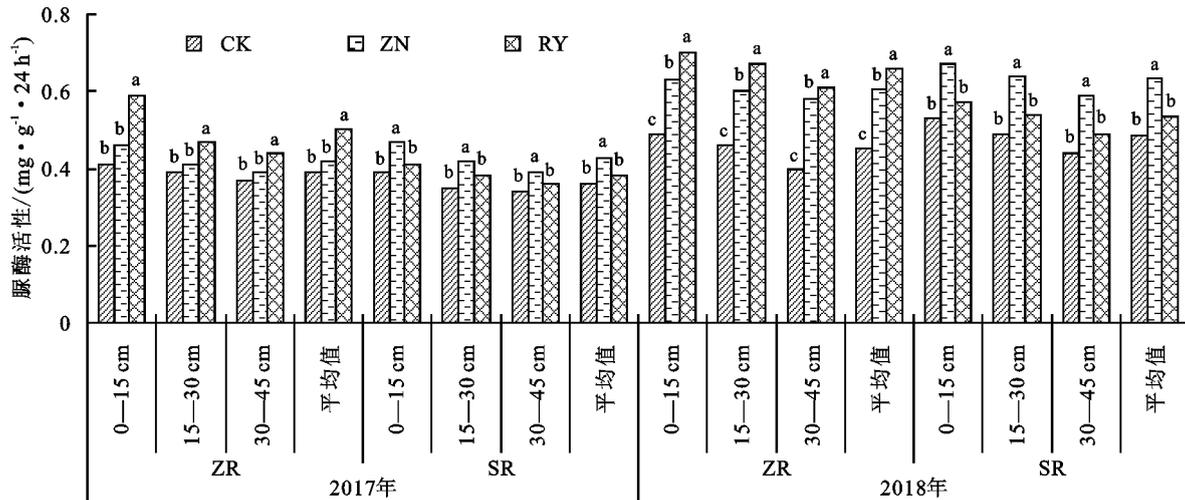


图 3 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对土壤脲酶活性的影响

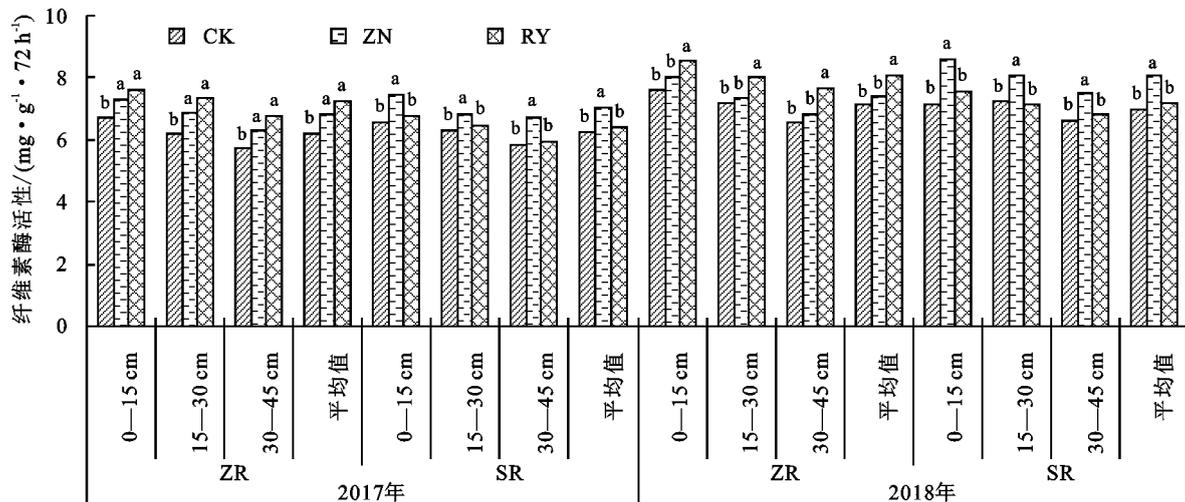


图 4 不同质地土壤秸秆还田配施腐熟剂对土壤纤维素酶活性的影响

土壤酶活性作为评价土壤肥力的重要指标之一^[20],可作为表征土壤中营养物质转化、能量代谢旺盛程度的重要生物指标,其中土壤脲酶活性对评价土壤肥力水平有重要意义^[21]。萨如拉等^[11]研究认为,配施秸秆腐熟剂处理土壤酶活性总体上均高于未配施秸秆腐熟剂处理;李春阳^[22]研究表明,秸秆还田会提高土壤中脲酶的含量;在玉米抽雄期,随着秸秆施入量的增加,土壤纤维素酶的含量呈现先上升后下降的趋势。本研究中,中壤土和砂壤土秸秆还田配施腐熟剂均能提高土壤酶活性。

土壤养分是影响土壤酶活性高低的重要因素^[23],是作物生长发育过程中可利用土壤氮素的重要来源。樊俊等^[24]认为,秸秆还田和腐熟有机肥可

提高土壤速效钾含量,土壤脲酶活性呈增加趋势,较不翻压秸秆提高 25.1%,以腐熟有机肥处理的效果最好,同时秸秆喷施快速腐熟剂后还田比不配施秸秆腐熟剂产量提高 7.8%^[25]。秸秆还田增施腐熟剂对作物产量的提高更有效,这与本文研究结果一致。

由于黏粒与有机质的黏结能力比砂壤土强,中壤土具有比砂壤土更高的养分和水分保持能力;可溶性有机氮在中壤土中显著高于砂土,而芳香性官能团含量显著低于砂土;细菌和真菌数量的分布是中壤土>砂壤土,放线菌数量的分布是砂壤土>中壤土^[26];土壤硝酸细菌、亚硝酸细菌及氨氧化细菌数量中壤土>砂壤土^[27],还田玉米秸秆分解 10 个月后,壤土放线菌含量显著高于砂土;环丙基脂肪酸/一般饱和脂肪

酸比值壤土中显著高于砂土,分解秸秆微生物在壤土中所受环境压迫高于砂土^[28],说明不同质地土壤特性及其微生物群落结构不同。本研究中砂壤土秸秆还田配施中农绿康腐熟剂效果较好,而中壤土配施人元腐熟剂效果较好,这可能是 2 种腐熟剂微生物菌群不同,在不同质地土壤还田秸秆上的定殖能力存在差异及含有的菌种活化剂类型和含量不同。

4 结论

秸秆还田配施腐熟剂均能不同程度地提高秸秆分解率、根系生物量、根系酶活性,提高土壤酶活性及其速效养分含量,但秸秆腐熟剂在不同质地土壤中配施效果存在一定的差异。综合产量、土壤酶活性、根系特性来看,砂壤土秸秆还田配施中农绿康秸秆腐熟剂效果较好,中壤土秸秆还田配施人元腐熟剂效果较好。

参考文献:

- [1] Amaya N, Medero N, Tancredi N, et al. Activated carbon briquettes from biomass materials [J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98(8): 1635-1641.
- [2] 萨如拉,于宗波,郇继承,等.隔年秸秆还田对连作玉米养分积累及叶片生理特性的影响[J]. *玉米科学*, 2019, 37(3): 82-87.
- [3] 萨如拉,高聚林,于晓芳,等.玉米秸秆深翻还田对土壤有益微生物和土壤酶活性的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2014, 28(7): 138-143.
- [4] 李纯燕,杨恒山,萨如拉,等.不同耕作措施下秸秆还田对土壤速效养分和微生物量的影响[J]. *水土保持学报*, 2017, 31(1): 197-201.
- [5] 杨帆,董燕,徐明岗,等.南方地区秸秆还田对土壤综合肥力和作物产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(11): 3040-3044.
- [6] 李国阳,燕照玲,李仟,等.秸秆还田配施肥料及腐熟剂对土壤酶活性及小麦产量的影响[J]. *河南农业科学*, 2016, 45(8): 59-63.
- [7] 胡诚,陈云峰,乔艳,等.秸秆还田配施腐熟剂对低产黄泥田的改良作用[J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22(1): 59-66.
- [8] 张电学,韩志卿,刘微,等.不同促腐条件下玉米秸秆直接还田的生物学效应研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(6): 36-43.
- [9] 于建光,常志州,黄红英,等.秸秆腐熟剂对土壤微生物及养分的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(3): 563-570.
- [10] 杨振兴,周怀平,关春林,等.长期秸秆还田对旱地土壤硝态氮分布与积累的影响[J]. *华北农学报*, 2013, 28(3): 179-182.
- [11] 萨如拉,杨恒山,范富,等.秸秆还田量和腐熟剂对秸秆降解率和土壤理化性质的影响[J]. *河南农业科学*, 2018, 47(9): 56-61.
- [12] Giannopolitis C N, Ries S K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants[J]. *Plant Physiology*, 1977, 59(2): 309-314.
- [13] Caktnak I, Marschner H. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves[J]. *Plant Physiology*, 1992, 98(4): 1222-1227.
- [14] Hodges D M, Delong J M, Forney C F, et al. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds[J]. *Planta*, 1999, 207: 604-611.
- [15] 沈其.土壤肥料学通论[M].北京:高等教育出版,2008: 96.
- [16] 关松荫,张德生,张志明.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [17] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社, 2005: 189-269.
- [18] 刘慧屿,刘慧颖,娄春荣,等.不同秸秆还田模式对风砂土玉米生育特性及土壤活性碳、氮的影响[J]. *土壤通报*, 2018, 49(1): 133-139.
- [19] 窦莉洋.秸秆还田对不同类型土壤团聚体稳定性、有机碳含量及其分布的影响[D].沈阳:沈阳农业大学,2018.
- [20] Bowles T M, Acosta-Martinez V, Calderon F, et al. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, 68(1): 252-262.
- [21] 孙瑞莲,赵秉强,朱鲁生,等.长期定位施肥田土壤酶活性的动态变化特征[J]. *生态环境*, 2008, 17(5): 2059-2063.
- [22] 李春阳.不同秸秆还田量对土壤性状及玉米产量的影响[D].沈阳:沈阳农业大学,2017.
- [23] 张夫道.氮素营养研究中几个热点问题[J]. *植物营养与肥料学报*, 1998, 4(4): 331-338.
- [24] 樊俊,谭军,王瑞,等.秸秆还田和腐熟有机肥对植烟土壤养分、酶活性及微生物多样性的影响[J]. *烟草科技*, 2019, 52(2): 12-18.
- [25] 冷麟良.秸秆喷施快速腐熟剂后还田对玉米生长及产量的影响[D].长春:吉林农业大学,2012.
- [26] 高婷,张源沛.荒漠草原土壤微生物数量与土壤及植被分布类型的关系[J]. *草业科学*, 2006, 23(12): 22-25.
- [27] 张铭冉.土壤类型与栽培措施对板栗土壤酶活性及土壤微生物数量的影响[D].山东泰安:山东农业大学,2015.
- [28] 杨军.潮土地质和秸秆还田耦合条件下微生物分异及对土壤和秸秆分解的影响[D].南京:南京农业大学,2015.