

秸秆腐熟剂对玉米秸秆腐熟及土壤肥力的影响

朱 敏, 于和平, 涂国良, 李焕锋, 刘媛媛

(平凉市农业技术推广站, 甘肃 平凉 744000)

摘要: 通过 2 a 大田定位试验研究了不同腐熟剂用量处理对玉米秸秆的腐解效果和对土壤基本性质玉米产量的影响。结果表明, 施用腐熟剂可提高秸秆腐解率 8.9%~13.1%, 土壤容重较无腐熟剂处理平均降低 4.49%; 显著提高了土壤有机质、有效磷、全磷、速效钾、缓效钾的含量。秸秆还田+腐熟剂能改善土壤理化性状, 提高玉米产量, 且以秸秆还田+腐熟剂 60 kg/hm² 处理效果最佳, 玉米产量 2019、2020 年较常规种植分别提高了 1 566.67、1 990.48 kg/hm²。适合在西北黑垆土地地区应用。

关键词: 腐熟剂; 秸秆腐解率; 土壤理化性状; 玉米产量

中图分类号: S513 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2021)12-0014-08

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2021.12.004

Effect of Straw Decomposing Agent on Corn Straw Decomposition and Soil Fertility

ZHU Min, YU Heping, TU Guoliang, LI Huanfeng, LIU Yuanyuan

(Pingliang Agriculture Extension Station, Pingliang Gansu 744000, China)

Abstract: The effects of different treatments of decomposer dosage on the decomposition effect of corn straw and basic soil properties as well as corn yield were studied through two years of field positioning experiments. The results demonstrated that the straw decomposition rate of straw could be increased by 8.9%~13.1% by applying the decomposing agent, and soil bulk weight was reduced by 4.49% compared with the treatments without decomposing agent. The contents of soil organic matter, available p, total P, available K and slow available K were significantly increased. The straw returning +decomposing agent could improve soil

收稿日期: 2021-07-29

作者简介: 朱 敏(1992—), 女, 甘肃平凉人, 农艺师, 硕士, 主要从事作物高产优质高效栽培理论与技术研究工作。Email: 781516346@qq.com。

参考文献:

- [1] 曹彦贾, 海滨叶, 朝 晖, 等. 胡麻苗期不同配方除草剂茎叶喷雾防除阔叶杂草效果的研究[J]. 北方农业学报, 2019, 47(1): 85-90.
- [2] 张 炜, 陆俊武, 曹秀霞, 等. 12 个胡麻新品系在宁南旱作区的引种初报[J]. 甘肃农业科技 2018(4): 49-52.
- [3] 张 炜, 陆俊武, 曹秀霞, 等. 硫包衣尿素用量对旱作区胡麻生长及产量性状的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(5): 53-58.
- [4] 薄天岳, 杨建春, 任云英, 等. 亚麻品种资源对枯萎病的抗性评价[J]. 中国油料作物学报, 2006, 28(4): 470-475.
- [5] 张庆平, 魏海明, 张 雄. 亚麻品种抗枯萎病鉴定方法初探[J]. 内蒙古农业科技, 1998(6): 26.
- [6] 刘 秦, 姚正良, 缪纯庆. 优质胡麻新品系 988-1 选育报告[J]. 甘肃农业科技, 2020(7): 41-43.
- [7] 王 剑, 李广阔, 顾元国. 两种评价方法对亚麻品种抗枯萎病的比较试验[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(2): 278-281.
- [8] 刘信义, 陈书龙, 孙 茜. 亚麻品种抗枯萎病性鉴定[J]. 中国农业科学, 1993, 26(6): 44-49.

(本文责编: 陈 珩)

physical and chemical properties and increase corn yield, and straw returning + decomposing agent 60 kg/hm² had the best effect, and corn yield increased 1 566.67 kg/hm² and 1 990.48 kg/hm² compared with conventional planting in 2019 and 2020, respectively. It is suitable for application in northwest black loessial soil area.

Key words: Decomposing agent; Straw decomposition rate; Soil physicochemical properties; Corn yield

秸秆是一种有利于土壤改良的有机肥源,是直接有效的可再生资源,能够对作物增产起到一定作用^[1-2]。作物的秸秆主要由木质素和纤维素组成,有非常丰富的有机质、微量元素、氮、磷、钾,可以提供农作物生长所需的多种营养元素^[3]。秸秆还田是改良土壤性状的重要措施,也是作物秸秆重要的利用途径^[4]。秸秆还田能够把农作物生产过程中吸收的大部分营养元素归还到土壤,减少了秸秆焚烧造成的环境污染^[5],在增加土壤有机质的同时,促进了土壤微粒的团聚作用,改善了土壤物理性状及其保水能力和渗透性^[6-7]。在农作物种植中提高秸秆的有效利用,不仅能减少秸秆资源浪费及焚烧秸秆对环境的污染,而且能改善土壤性状,做到藏碳于田。

近年来,尽管已有很多研究证明秸秆还田的养分效应能使作物明显增产,但秸秆中纤维素类物质分解较慢,对下季作物的产量无明显增产效应,同时还有腐解速率低、养分释放速度慢、腐解时间长等问题^[8-9]。腐熟分解不完全的秸秆进入土壤后造成有机酸积累、腐解缓慢以及秸秆携带的病原体、虫卵、草籽等在还田过程中进入土壤,带来病虫害问题,限制了它的推广^[10-11]。因此,如何加快土壤中秸秆的腐解成为秸秆还田中应该着重考虑的问题。胡诚等^[12]对黄泥田的试验研究表明,秸秆还田施用秸秆腐熟剂后降低了土壤容重,秸秆配施化肥并调节其 C/N 条件下,施用促腐剂较未施用处理增产达显著水平,作物各生育期土壤微生物量、酶活性均表现出高于未施用处理的趋势^[13]。施用腐熟剂可有效促进秸秆腐解和增加作物产量^[14],且在温带季风性气候条件下,将

玉米秸秆于旱地条件下还田,在还田初始 C/N 大于 30 以及土壤呈酸或碱性时配施腐熟剂效果最佳^[15]。秸秆还田条件下腐熟剂与土壤质地间响应不同,所以秸秆腐熟剂配施应因地制宜^[16]。秸秆还田配施腐熟剂可增加水稻钾素吸收量,提高钾肥利用效率,实现增产效果^[17]。不同地区秸秆还田配施秸秆腐熟剂效果不同,西北地区主要土壤质地为黑垆土,关于黑垆土土壤秸秆还田配施腐熟剂的研究鲜见报道。我们通过连续定位试验,探索适宜西北地区黑垆土玉米秸秆还田的最佳方法,以期为玉米秸秆还田大面积推广应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在甘肃省平凉市崆峒区大寨回族乡白土村,供试土壤为黑垆土。试验区海拔 1 550 m,年平均温度 7.6 °C,≥10 °C 积温 4 500 °C,年降水量 480 mm 左右,年蒸发量 1 530 mm,无霜期 150 d 左右。试验地田面平整、肥力均匀,供试土壤容重 1.156 g/cm³,0~20 cm 土层土壤含有机质 16.20 g/kg、全氮 0.83 g/kg、全磷 0.75 g/kg、有效磷 14.8 mg/kg、全钾 22.90 g/kg、速效钾 102.0 mg/kg、缓效钾 1 042.0 mg/kg,pH 为 8.4。

1.2 试验材料

指示春玉米品种为福盛源 57。还田秸秆为玉米秸秆。秸秆腐熟剂为微生物腐熟剂(有机物料腐熟剂),上海联业生物工程有限公司生产,有效活菌数≥0.5 亿 /g;形态为粉剂。

1.3 试验方法

试验设 4 个处理,即 T1,不施腐熟剂秸秆还田;T2,秸秆还田+腐熟剂 30

kg/hm²; T3, 秸秆还田 + 腐熟剂 60 kg/hm²; T4, 秸秆还田 + 腐熟剂 90 kg/hm²。以常规种植(秸秆不还田)为对照(CK)。3 次重复, 小区面积 42 m² (7 m × 6 m), 各处理随机排列, 各处理间农艺措施、施肥情况一致。2018 年 10 月底将前茬玉米秸秆用粉碎机铡成为 5 ~ 6 cm 的小段, 按照试验设计均匀铺设在各小区, 并按设计分别将秸秆腐熟剂与尿素(75 kg/hm²)混匀, 撒在相应处理的秸秆表面, 旋耕翻压, 施肥水平及种植时期等管理措施同大田保持一致。

1.4 测定指标及方法

利用环刀法测定试验前基础土壤和收获后各处理 0 ~ 20 cm 土层土壤容重。玉米收获后各处理取土壤(0 ~ 20 cm)样品, 测定有机质、全氮、全磷、速效磷、全钾、速效钾、缓效钾、土壤 pH, 其结果由委托化验机构(天水矿产勘察院监测中心)提供。

秸秆腐熟度采用失重率法测定^[18]。施用秸秆腐熟剂前取部分秸秆烘干分别放入 24 个带编号的尼龙网袋中, 每袋 100 g 左右, 记为 N₀, 施用腐熟剂后于 10 月底埋入土深 5 ~ 10 cm 处, 每处理 6 袋。翌年播种全膜覆盖前(腐熟约 150 d), 从各处理中随机取出 1 袋, 玉米收获后(腐熟 1 a), 再取出 1 袋, 将样品冲洗, 直至滴下的水无色(表明泥土等异物冲洗干净), 然后置 85 °C 烘干 6 h 后(要求烘至恒重), 准确称重并记录

每袋的质量 N_x, 计算玉米覆膜前和收获后的秸秆失重率 W_x。

$$W_x = 100 \times (N_0 - N_x) / N_0$$

式中, W_x 为秸秆失重率; N₀ 为初始秸秆烘干后的重量; N_x 为每次取出的秸秆, 洗净并烘干后的重量, X=1, 2。

观察记载玉米各生育时期, 及时调查不同处理的生物学性状及病虫害发生情况, 玉米成熟后, 按小区进行田间测产。

1.5 数据统计

试验数据利用 SPSS 软件进行方差分析和 LSD 多重比较, 用 Excel 2016 软件进行图表制作。

2 结果与分析

2.1 腐熟剂对玉米产量的影响

由表 1 可知, 施用秸秆腐熟剂对玉米穗行数、行粒数没有明显影响, 但对百粒重、籽粒产量的影响均呈现出增加趋势。2019 年百粒重从高到低依次为 T4、T3、T1、T2、CK, 与 CK 相比, T1、T2、T3、T4 百粒重分别增加 2.45、1.75、4.10、4.14 g; 折合产量从高到低依次为 T3、T4、T2、T1、CK, T1、T2、T3、T4 较 CK 分别增产 5.0%、7.3%、19.3%、12.1%; T3、T4 与 CK 相比, 折合产量差异显著。2020 年百粒重从高到低依次为 T3、T4、T1、T2、CK, T1、T2、T3、T4 百粒重较 CK 分别增加 2.69、1.14、6.28、2.88 g; 产量从高到低依次为 T3、T4、

表 1 不同处理的玉米主要产量构成因素

年份	处理	穗行数 /行	行粒数 /粒	百粒重 /g	小区平均产量 /(kg/42 m ²)	折合产量 /(kg/hm ²)
2019年	CK	16.89 b	39.67 a	24.45 c	34.12	8 123.81 c
	T1	17.87 a	40.33 a	26.90 b	35.83	8 530.95 bc
	T2	17.77 a	37.33 b	26.20 b	36.61	8 716.67 bc
	T3	17.90 a	39.43 a	28.55 a	40.70	9 690.48 a
	T4	18.20 a	38.03 b	28.59 a	38.24	9 104.76 ab
2020年	CK	15.87 a	34.67 b	27.60 d	41.36	9 847.62 d
	T1	16.13 a	35.40 b	30.29 b	44.00	10 476.19 c
	T2	16.27 a	36.50 ab	28.74 c	46.86	11 157.14 b
	T3	16.53 a	34.53 b	33.88 a	49.72	11 838.10 a
	T4	16.13 a	37.67 a	30.48 b	47.74	11 366.67 b

T2、T1、CK, T1、T2、T3、T4 折合产量较 CK 分别增加 6.4%、13.3%、20.2%、15.4%。4 个秸秆还田处理产量构成因素大都优于不还田对照, 秸秆还田并施用腐熟剂的处理均优于无腐熟剂的秸秆还田处理, 2 a 的平均折合产量均以处理 T3 为最高, 2019 年为 9 690.48 kg/hm², 2020 年为 11 838.10 kg/hm²。

2.2 腐熟剂对玉米秸秆腐解率的影响

由图 1 看出, 与 T1 比较, 各处理秸秆覆膜前、收获后平均腐解率均有增加的趋势, 覆膜前秸秆腐解率 T2、T3、T4 较 T1 分别提高 9.9%、18.9%、20.3%; 收获后秸秆腐解率 T2、T3、T4 较 T1 分别提高 8.9%、11.6%、13.1%。说明施用秸秆腐熟剂腐熟约 150 d 时, 秸秆腐解速度明显加快, 腐解 1 a 时腐熟剂可以加快玉米秸秆腐熟速度, 腐熟剂用量越大其作用效果越明显, 但 T4 处理与 T3 处理之间差异不显著。

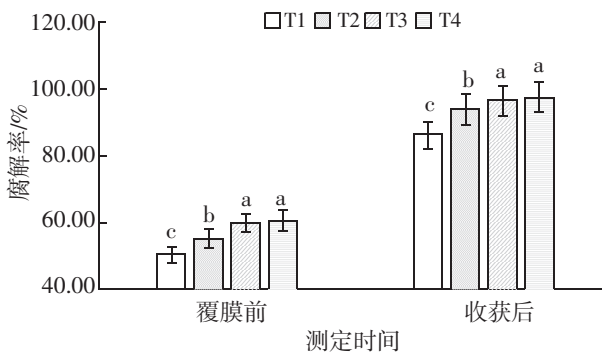
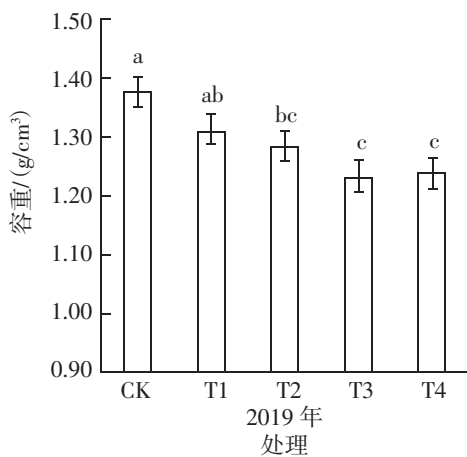


图 1 不同处理 2 a 平均玉米秸秆腐解率变化



2.3 腐熟剂对土壤容重的影响

如图 2 所示, 秸秆还田施用腐熟剂对表层土壤容重具有显著的降低作用, 2019、2020 年趋势表现一致。不同处理的土壤容重从小到大依次为 T3、T4、T2、T1、CK。CK 与 T1 差异不显著, 与 T2、T3、T4 差异显著; T1 与 T2 差异不显著, 与 T3、T4 差异显著。T1、T2、T3、T4 处理较 CK 降幅 2019 年分别为 5.1%、7.2%、10.9%、10.1%, 2020 年分别为 3.6%、4.5%、10.0%、10.9%。T2、T3、T4 处理较 T1 处理降幅 2019 年分别为 2.29%、6.11%、5.34%, 2020 年分别为 0.94%、6.60%、5.66%。与 T2 相比, 2019 年 T3、T4 容重降幅分别为 3.9%、3.1%, 2020 年降幅为 5.7%、6.6%, 且差异显著。T3 与 T4 之间 2 a 差异均不显著。可见增施腐熟剂能够有效降低土壤容重。

2.4 腐熟剂对土壤理化性状的影响

不同处理对土壤理化性状的影响如表 2 所示。2019 年土壤有机质、有效磷、速效钾均由大到小依次为 T4、T3、T2、T1、CK, T1、T2、T3、T4 有机质较 CK 分别增加 1.3%、5.1%、6.3%、9.5%, 有效磷分别增加 2.7%、8.1%、9.4%、13.5%, 速效钾分别增加 3.6%、8.7%、9.9%、12.2%; 缓效钾由大到小依次为 T3、T4、T2、T1、CK。全氮、全磷、全钾、pH 各处理间差异不明显。2020

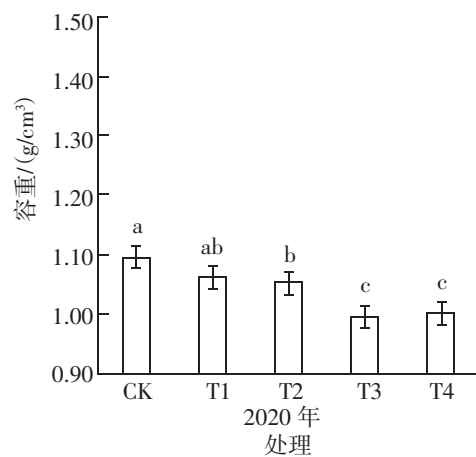


图 2 不同处理对土壤容重的影响

年有机质、有效磷、速效钾由大到小依次为 T4、T3、T2、T1、CK，T1、T2、T3、T4 有机质较 CK 分别增加 3.2%、5.7%、7.0%、10.8%，有效磷增加 1.2%、3.8%、6.2%、11.2%。全钾、缓效钾由大到小依次为 T3、T4、T2、T1、CK，但差异不明显。2 a 综合来看，与 CK 相比，T4 处理有机质、有效磷、速效钾含量最高，T3 处理全磷、全钾、缓效钾三个指标含量最高。与 2019 年相比，2020 年各处理土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾、全钾、缓效钾、pH 都有所升高。总体来看，施用秸秆腐熟剂的处理土壤理化性状均明显优于未施用腐熟剂还田处理，且

作用时间越长差异越明显。说明在同等管理条件下，施用腐熟剂能够改善土壤结构，不同程度增加土壤养分含量，pH 升高，2 a 试验结果表现基本一致。

2.5 秸秆腐解率与土壤理化性状和产量的相关性

由表 3 可以看出，秸秆腐解率与小区平均产量、玉米折合产量、百粒重呈显著正相关，相关系数分别为 0.426、0.431、0.436。腐解率与土壤有机质、全钾、有效磷、速效钾呈极显著正相关，与全氮、全磷、缓效钾相关性不显著。相关性最大的性状为有机质，相关性系数为 0.885；其次为速效钾，

表 2 不同处理对土壤理化性状的影响

年份	处理	有机质 /(g/kg)	全氮 /(g/kg)	有效磷 /(mg/kg)	全磷 /(g/kg)	速效钾 /(mg/kg)	全钾 /(g/kg)	缓效钾 /(mg/kg)	pH
2019年	CK	15.8	0.98	7.4	0.69	114.1	20.0	1 123	8.02
	T1	16.0	1.00	7.6	0.71	118.2	20.2	1 155	7.92
	T2	16.6	1.10	8.0	0.73	124.0	20.4	1 157	7.98
	T3	16.8	1.00	8.1	0.73	125.4	20.5	1 159	8.03
	T4	17.3	1.00	8.4	0.69	128.0	20.3	1 142	8.04
2020年	CK	15.8	1.00	8.0	0.70	114.0	20.6	1 265	8.50
	T1	16.3	1.10	8.1	0.70	122.0	20.5	1 268	8.29
	T2	16.7	1.20	8.3	0.72	126.0	20.8	1 300	8.43
	T3	16.9	1.20	8.5	0.72	130.0	21.1	1 365	8.32
	T4	17.5	1.30	8.9	0.72	137.0	21.0	1 341	8.34

表 3 秸秆腐解率、土壤理化性状与产量相关性分析^①

变量因子	有机质	全氮	全磷	全钾	有效磷	速效钾	缓效钾	小区平均产量	折合产量	百粒重	穗行数	行粒数
全氮	0.609**											
全磷	0.367*	0.524**										
全钾	0.500**	0.814**	0.453*									
有效磷	0.908**	0.754**	0.249	0.752**								
速效钾	0.973**	0.717**	0.390*	0.578**	0.921**							
缓效钾	0.438*	0.869**	0.458*	0.967**	0.701**	0.539**						
小区平均产量	0.547**	0.795**	0.328	0.904**	0.784**	0.628**	0.911**					
折合产量	0.518**	0.800**	0.269	0.913**	0.782**	0.603**	0.918**	0.983**				
百粒重	0.649**	0.687**	0.208	0.773**	0.837**	0.681**	0.791**	0.880**	0.876**			
穗行数	-0.009	-0.299	0.295	-0.465**	-0.315	-0.079	-0.454*	-0.318	-0.381*	-0.258		
行粒数	-0.083	-0.507**	-0.188	-0.585**	-0.323	-0.099	-0.590**	-0.359	-0.413*	-0.263	0.635**	
腐解率	0.885**	0.378	0.276	0.558**	0.766**	0.851**	0.399	0.426*	0.431*	0.436*	-0.170	-0.236

①**表示在 0.01 级别，相关性极显著；*表示在 0.05 级别，相关性显著。

相关性系数为 0.851。折合产量与土壤有机质、全氮、全钾、有效磷、速效钾、缓效钾呈极显著正相关。可见秸秆腐解率的提高可以提升土壤有机质、全钾、有效磷、速效钾的含量，从而提高玉米产量。

3 小结与讨论

施用腐熟剂能显著提高秸秆腐解度，2019、2020 年连续施用腐熟剂腐解 1 a 使秸秆腐解率提高 8.9%~13.1%，较无腐熟剂秸秆还田处理的土壤容重降低，土壤有机质、有效磷、全磷、速效钾、缓效钾也较不施腐熟剂的秸秆还田处理显著提高。

秸秆还田后为土壤带入了养分，提高了土壤的肥力。作物秸秆是重要的有机肥源^[19]，每 100 kg 小麦秸秆腐解后能为土壤提供氮 0.64 kg、磷 0.20 kg、钾 1.07 kg、有机质 81.2 kg 和丰富的微量元素^[20]，每 100 kg 稻草还田所带入土壤的钾相当于 3.8 kg KCl^[21]。许多研究表明，长期秸秆还田后增加了土壤中的速效钾和有机质，10 a 以上的长期定位试验表明，秸秆还田后全氮和有机质分别增加了 10.1%和 11.0%^[22]。秸秆还田不仅增加了土壤活性有机碳含量，同时也显著提高了 0~20 cm 土层活性有机碳占总有机碳含量的比重，提高幅度达 21.1%~23.1%。这是因为还田后秸秆中的碳氮转化为土壤中的碳氮，增加了土壤全氮和有机质的含量。本研究结果显示，施用腐熟剂，使地块还田秸秆的纤维完全被破坏，组织软化，腐熟时间缩短，具有明显的腐化现象，腐熟度提高了 8.9%~13.1%。这与萨如拉等^[16]及杨帆等^[23]研究结果一致。秸秆中木质纤维素的成分多样、结构复杂，分子很稳定，不易降解，难于被直接分解利用，腐解度慢^[18]。秸秆腐熟剂利用微生物的分解代谢作用快速将秸秆中的纤维素、半纤维素和木质素等成分转化为富含营养元素的简单化合物，使秸秆降解为腐殖质。本试验发现，在同

等管理条件下，秸秆还田结合施用腐熟剂有利于土壤容重的降低，增加土壤孔隙度，土壤有机质、有效磷、速效钾的质量分数均增加。李春杰等^[24]研究表明，施用秸秆腐熟剂显著增加土壤速效钾含量，但对其他土壤养分含量均无显著影响。另一些研究表明，秸秆还田不仅能提高土壤有机质含量以及改善土壤理化性状，同时作物秸秆与氮肥配合施用，具有提高农田养分循环利用效率及氮肥利用率的作用^[25-29]。上述研究结果有差异的原因可能是不同地域环境气候，腐熟时间及土质不同造成。总的来说秸秆还田施用腐熟剂对土壤理化性状具有有益影响。

秸秆还田秸秆量大，还田腐解缓慢，出现整地、出苗、秧苗生长易受缺氮、还原物质的影响而黄苗、易倒伏，因此需要经常在秸秆还田的同时施用秸秆腐解剂。本研究发现，施用秸秆腐熟剂能显著提高玉米产量，其主要通过提高玉米的百粒重实现。这是因为有机物料腐熟剂对秸秆的腐熟作用能为作物提供适当的养分，延长籽粒发育后期的灌浆持续时间和灌浆速率，使灌浆后期物质供应充足^[30]，从而使产量增加，这与前人研究结果相似^[31-33]。潘剑玲等^[34]认为在碳氮比为 25~30、土壤含水量为田间持水量的 60%~70%、土壤温度为 20~30℃、翻埋深度为 5 cm 时，秸秆腐解效果较好。李庆康等^[35]发现水稻、小麦秸秆还田时施用秸秆腐解剂对提高稻、麦产量具有明显的增产效果。罗文丽等^[36]用尼龙网袋法研究水稻秸秆腐解规律及其养分释放特征，发现加入腐熟剂能促进秸秆腐解和氮磷钾的释放，这是由于施用秸秆腐解剂后加快了秸秆的腐解，缩短了秸秆的腐解周期，使秸秆中的养分尽快释放到土壤里。腐熟剂后腐解秸秆，能够加快秸秆的腐烂，但腐熟剂用量过多和过少都不利于作物秸秆腐烂而释放养分，合理的用量是使秸秆腐烂释放养分的保障^[37]。

从本试验结果来看,在秸秆还田施用腐熟剂 60 kg/hm² 的条件下,土壤容重、理化性状最优,腐解率较高,增产最明显。此条件下根际土壤碳氮比及养分能够满足根际土壤微生物的繁殖代谢,并能维持相对稳定的微生物群落,因此效果最佳,这与肖承泽等^[38]研究相似。

参考文献:

- [1] AMAYA N, MEDERO N, TANCREDI N, et al. Activated car-bonbriquettes from biomass materials[J]. Bioresource Technology, 2007, 98(8): 1635-1641.
- [2] 宋淑珍, 官旭胤, 刘立山. 玉米秸秆饲用品质调控研究综述[J]. 甘肃农业科技, 2021, 52(3): 86-89.
- [3] 潘艳婷, 徐秋兰. 水稻秸秆还田技术应用效果分析[J]. 农业研究与应用, 2011(4): 13-15.
- [4] 侯亚红, 王磊, 付小花, 等. 土壤呼吸对秸秆与秸秆生物炭还田的响应及其微生物机制[J]. 工业微生物, 2014, 44(5): 7-13.
- [5] 黄新建, 谢贤敏. 水稻秸秆还田腐熟剂品种比较试验[J]. 南方农业, 2013(7): 91-92.
- [6] 李春霞, 陈卓, 王俊忠, 等. 秸秆还田与耕作方式对土壤酶活性动态变化的影响[J]. 河南农业科学, 2006, 35(11): 68-70.
- [7] 贾伟, 周怀平, 解文艳, 等. 长期秸秆还田秋施肥对褐土微生物碳、氮量和酶活性的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(2): 138-142.
- [8] 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.
- [9] 张经廷, 张丽华, 吕丽华, 等. 还田作物秸秆腐解及其养分释放特征概述[J]. 核农学报, 2018, 32(11): 2274-2280.
- [10] 姜珊珊, 李光艳, 吴斌, 等. 有机物料腐熟剂对玉米秸秆降解及小麦生长的影响[J]. 山东农业科学, 2019, 51(12): 63-66.
- [11] 赵秀玲, 任永祥, 赵鑫, 等. 华北平原秸秆还田生态效应研究进展[J]. 作物杂志, 2017(1): 1-7.
- [12] 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): 59-69.
- [13] 刘元东, 刘香坤, 姜玉琴, 等. BM 秸秆腐熟剂在小麦上的应用效果[J]. 河南农业科学, 2011, 40(12): 77-79.
- [14] 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.
- [15] 杨欣润, 许邺, 何治逢, 等. 整合分析中国农田腐熟剂施用对秸秆腐解和作物产量的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(7): 1359-1367.
- [16] 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.
- [17] 张舒予, 金梦灿, 马超, 等. 秸秆还田配施腐熟剂对水稻产量及钾肥利用率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018(1): 49-55.
- [18] 杨晓燕, 叶伟伟, 张龙, 等. 秆腐熟剂对小麦秸秆的腐熟及还田效应的影响[J]. 工业微生物, 2020, 50(3): 30-35.
- [19] 戴志刚, 鲁剑巍, 鲁明星, 等. 水稻秸秆用量对淹水培养土壤表层溶液理化性质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 20-24.
- [20] 黄绍文, 金继运, 王泽良, 等. 北方主要土壤钾形态及其植物有效性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(2): 156-164.
- [21] 李继福, 鲁剑巍, 任涛, 等. 稻田不同供钾能力条件下秸秆还田替代钾肥效果[J]. 中国农业科学, 2014, 47(2): 292-302.
- [22] JINZHOU WANG, XIUJUN WANG, MING-GANG XU, et al. Crop yield and soil organic matter after long-term straw return to soil in China[J]. Nutr. Cycl. Agroecosyst., 2015, 102: 371-381.
- [23] 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.
- [24] 李春杰, 孙涛, 张兴义. 秸秆腐熟剂对寒

- 地玉米秸秆降解率和土壤理化性状影响[J]. 华北农学报, 2015, 30(Z): 507-510.
- [25] MONACO S, HATCH D J, SACCO D, et al. Changes in chemical and biochemical soil properties induced by 11-yr repeated additions of different organic materials in maize-based forage systems[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2008, 40(3): 608-615.
- [26] BERTORA C, ZAVATTARO L, SACCO D, et al. Soil organic matter dynamics and losses in manured maize-based forage systems[J]. European Journal of Agronomy, 2009, 30(3): 177-186.
- [27] NIU L A, HAO J M, ZHANG B Z, et al. Influences of long-term fertilizer and tillage management on soil fertility of the North China plain[J]. Pedosphere, 2011, 21(6): 813-820.
- [28] MALHI S S, NYBORG M, PUURVEEN D, et al. Long-term tillage, straw management and nitrogen fertilization effects on organic matter and mineralizable carbon and nitrogen in a black chernozem soil[J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 2012, 43(20): 2679-2690.
- [29] CHOUDHURY A T M A, KENNEDY I R. Prospects and potentials for systems of biological nitrogen fixation in sustainable rice production[J]. Biology & Fertility of Soils, 2004, 39(4): 219-227.
- [30] 李方杰, 时明坤, 庞海芳, 等. 松土促根剂和秸秆腐熟剂对砂姜黑土农田夏玉米生长及产量的影响[J]. 河南农业大学学报, 2021, 55(2): 234-242.
- [31] 许秀, 费政军. 玉米秸秆还田配施腐熟剂对土壤理化性质及玉米产量的影响[J]. 耕作与栽培, 2017(3): 23-24.
- [32] 王祎, 李青松, 王宜伦, 等. 施氮量对小麦穗花发育及穗粒数的影响[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(5): 668-673.
- [33] 王晓楠, 吴贵玉, 付连双, 等. 氮肥处理对春小麦穗粒数形成阶段的影响[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(4): 32-35.
- [34] 潘剑玲, 代万安, 尚占环, 等. 秸秆还田对土壤有机质和氮素有效性影响及机制研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(5): 526-535.
- [35] 李庆康, 王振中, 顾志权, 等. 秸秆腐解剂在秸秆还田中的效果研究初报[J]. 生态环境学报, 2001, 10(2): 124-127.
- [36] 罗文丽, 周柳强, 谭宏伟, 等. 水稻秸秆腐解规律及养分释放特征[J]. 南方农业学报, 2014, 45(5): 808-812.
- [37] 黎成杨, 罗光琼, 杨帆, 等. 2016年正安县油菜秸秆腐熟剂不同用量对水稻产量的影响[J]. 现代农业科技, 2018(23): 20-21.
- [38] 肖承泽, 于建, 宋以玲, 等. 秸秆还田配施不同用量有机物料腐熟剂对水稻产量、土壤性质的影响[J]. 腐殖酸, 2018(4): 46-51.

(本文责编: 陈珩)

·公益广告·

倡导全民读书, 共建书香家园

倡导全民读书, 推进文明创建

倡导全民读书, 享受阅读快乐