

· 热带作物 ·

DOI: 10.15886/j.cnki.rdswwb.20230054



主持人: 徐 冉

不同沟埋还田模式下菠萝 秸秆腐解特征研究

杨书云¹, 蔡金文¹, 李受鹏¹, 韩彦¹, 金鑫¹,
侯广庆¹, 邵徐杰¹, 程文肖¹, 李长江^{1,2}

(1. 海南大学热带作物学院/海南省热带生物资源可持续利用重点实验室, 海口 570228;
2. 海南大学三亚南繁研究院, 海南 三亚 572025)

摘要: 为探究不同沟埋还田模式对菠萝秸秆腐解特性的影响, 共设置5种沟埋还田处理 [①沟埋 10 cm 还田起垄覆膜 (DRF10); ②沟埋 20 cm 还田起垄覆膜 (DRF20); ③沟埋 30 cm 还田起垄覆膜 (DRF30); ④沟埋 30 cm 还田起垄 (DR30); ⑤沟埋 30 cm 还田平作 (DC30)] 来分析5种还田模式下菠萝秸秆腐解率, 腐解速率, 纤维素、半纤维素、木质素的释放率, 土壤理化性质及酶活性。结果表明: 菠萝秸秆腐解主要聚集在还田腐解前 60 d, 腐解率达到 56% 以上; 在还田腐解 15~30 d 秸秆的腐解速率达到最高。DRF20 处理在秸秆还田腐解 15 d 纤维素释放率和腐解率都显著高于其他处理, 且在还田腐解 30 d 其木质素释放率和腐解率也最高。而 DRF30 处理腐解率, 腐解速率及纤维素、半纤维素释放率都显著低于其他处理。还田腐解 540 d 后 DRF30 处理木质素释放率及腐解率都显著高于其他处理。DRF30 处理土壤含水量、温度高于 DR30 和 DC30 处理。DRF30、DR30 和 DC30 处理酶活性高于其他处理, 但并不总显著。秸秆腐解率与纤维素、木质素释放率呈显著正相关, 与磷酸酶呈显著负相关。综上所述, DRF20 处理下菠萝秸秆前期腐解快, 而 DRF30 处理则在菠萝秸秆中后期腐解快。

关键词: 菠萝秸秆; 秸秆还田; 腐解特性; 土壤特性

中图分类号: S154.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-7054(2024)02-0133-08

杨书云, 蔡金文, 李受鹏, 等. 不同沟埋还田模式下菠萝秸秆腐解特征研究 [J]. 热带生物学报, 2024, 15(2): 133-140. doi: 10.15886/j.cnki.rdswwb.20230054

我国作为农业大国, 农业秸秆资源丰富^[1-2]。近些年, 秸秆还田已作为一项重要的农业可持续利用措施被广泛利用。秸秆还田后在土壤微生物和酶的作用下腐解, 释放氮、磷、钾及其他中微量元素供作物吸收利用, 提高土壤养分以及有机质含量, 提高土壤水分含水量, 进而提升作物产量^[3-5], 并能解决农业资源的浪费和缓解肥料的过量施用所带来的土壤退化及环境污染问题^[6-7]。因此, 秸秆还田在农业上已备受关注。

秸秆还田后的腐解率、腐解速率及其受土壤环境的影响是秸秆还田效果发挥的关键。秸秆腐解会受到秸秆特性、环境因素以及土壤微生物等因素的影响^[8-10]。有研究表明, 由于大豆秸秆的碳氮比远低于玉米秸秆, 更适合微生物的活动, 导致其秸秆腐解速率较快^[9,11]。同时, 秸秆中纤维素、半纤维素和木质素含量也是影响秸秆腐解速率的因素, 陈尚洪等^[12]指出秸秆中纤维素和木质素含量越高, 秸秆中分解速率越慢。埋深 20 cm 玉米秸

收稿日期: 2023-04-22

修回日期: 2023-06-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(32260724); 海南省自然科学基金项目(323RC424); 海南省研究生创新科研课题项目(SA2200000806)

第一作者: 杨书云(1997-), 女, 海南大学热带作物学院 2020 级硕士研究生. E-mail: 1539812933@qq.com

通信作者: 李长江(1989-), 男, 博士, 副教授. 研究方向: 热带作物高产高效栽培. E-mail: lichangjiang99@163.com

秆腐解率要显著高于埋深 35 cm 处理,且松原地区玉米秸秆腐解率要快于长春地区^[13]。另外,秸秆翻压在重壤土中腐解要快于轻壤土;土壤在低 pH 条件下微生物活性降低,秸秆腐解速率减慢^[14]。有研究还发现,在 27 °C 左右和土壤含水量在 16%~20% 范围内,秸秆腐解速率最快^[15-16]。可见,秸秆类型、秸秆埋深及环境条件等的不同都会造成秸秆腐解特性的不同。

菠萝 [*Ananas comosus*(L.)Merr.] 作为一种重要的热带水果,在热带地区大面积种植^[17]。菠萝收获后产生的茎、叶等秸秆量巨大,但当今除少量被粉碎还田外,绝大部分被焚烧或丢弃^[18]。菠萝秸秆中氮磷钾等养分元素以及有机质含量丰富,可以为作物提供养分^[15]。刘传和等^[18]的研究表明,菠萝秸秆还田后可提高土壤养分和酶活性,和降低土壤容重,同时提高了菠萝产量。然而菠萝秸秆还田后其腐解特性还鲜有研究。秸秆沟埋还田可以提高秸秆层的土壤温度、养分以及有机质含量,改变土壤微生物群落组成,进而提高作物产量^[19-21]。沟埋还田措施已在小麦、水稻等作物上有很多研究和应用^[6,22],但目前菠萝秸秆还田主要集中在翻耕还田上,沟埋还田的应用还未有研究,因此本研究基于不同菠萝秸秆沟埋还田模式,研究其对菠萝秸秆腐解特性的影响,为菠萝秸秆沟埋还田方式在热带地区的应用与研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验地点为海南省乐东黎族自治县海南大学热带作物学院试验基地(108°46'E, 18°39'N),气候为典型的热带季风气候,土壤类型为热带地区燥红土,试验田土壤(0~20 cm)基本理化性质为 pH 4.75,有机质含量 7.57 g·kg⁻¹,碱解氮含量 23.33 mg·kg⁻¹,速效磷含量 118.52 mg·kg⁻¹,速效钾含量 99.00 mg·kg⁻¹。菠萝秸秆腐解期间的日平均温度和日累计降水量见图 1。

1.2 供试材料 秸秆选用台农 17 号菠萝秸秆,秸秆的基本特性指标为全氮含量 4.96 g·kg⁻¹,全磷含量 1.65 g·kg⁻¹,全钾含量 7.14 g·kg⁻¹,纤维素含量 125.40 mg·g⁻¹,半纤维素含量 179.18 mg·g⁻¹,木质素含量 132.27 mg·g⁻¹。

1.3 试验设计 试验采用 5 种沟埋还田处理,分

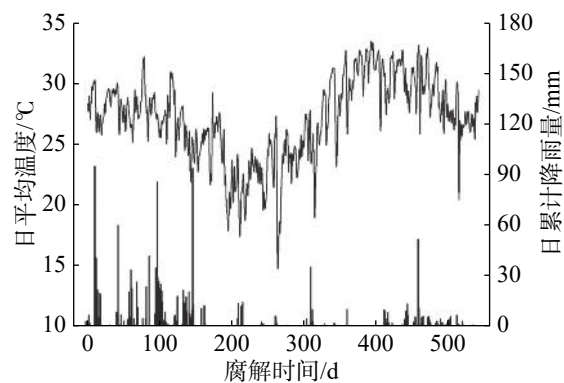


图 1 菠萝秸秆腐解期间日平均温度和日累计降水量

别为①沟埋 10 cm 还田起垄覆膜(DRF10);②沟埋 20 cm 还田起垄覆膜(DRF20);③沟埋 30 cm 还田起垄覆膜(DRF30);④沟埋 30 cm 还田起垄(DR30);⑤沟埋 30 cm 还田平作(DC30)。本试验采用尼龙网袋法进行秸秆腐解试验^[10]。将秸秆烘干后剪碎(5 cm)进行试验,装入尼龙网袋(200 目, 15 cm×20 cm)中,每袋 40 g。试验在菠萝苗移栽当天(2021-05-23)将装有菠萝秸秆的网袋按不同处理的要求埋入土中。

1.4 测定内容与方法

1.4.1 秸秆指标 从菠萝移栽后 5(2021-05-28)、15、30、60、90、120、150、180、240、300、360、450、540 d 取出埋入土中的秸秆。取出秸秆后于烘箱中 60 °C 烘干至恒重后称质量,并计算腐解率和腐解速率^[23]。腐解率(%)=(0 天的干物质量 - n 天的干物质量)/0 天的干物质量。腐解速率(g·d⁻¹)=(m 天的干物质量 - n 天的干物质量)/(m - n)天。将过筛后的秸秆称质量,使用试剂盒(苏州格锐思生物科技有限公司)测定秸秆中纤维素含量、半纤维素含量、木质素含量。纤维素或半纤维素或木质素释放率(%)=[1 - (M_t C_t)/(M₀ C₀)]×100。M_t 为 t 天秸秆干物质量, C_t 为 t 天秸秆纤维素含量或半纤维素含量或木质素含量, M₀ 为秸秆原始干物质量, C₀ 为原始秸秆纤维素含量/半纤维素含量/木质素含量^[24]。

1.4.2 土壤指标 取秸秆样的同时,在每个小区随机取秸秆层土壤样品,将其带入实验室用于其他土壤性状指标的测定。与秸秆取样时间一致,土壤温度使用地温计测定不同秸秆层土壤的温度。土壤水分含量采用烘干法测定^[25]。土壤 pH 值采用 pH 计电位法测定,水土质量比为

2.5 : 1^[25]。脲酶活性用靛酚比色法测定^[26], 酸性磷酸酶用磷酸苯二钠比色法测定^[26], 过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定^[26]。

1.5 数据分析 采用 Excel 2019 进行数据整理, 采用 Statistix 8 进行数据分析, 采用 SigmaPlot 14.0 进行数据作图, 处理间差异显著性使用 LSD 检验法比较。

2 结果与分析

2.1 不同沟埋还田处理对秸秆腐解率和腐解速率的影响 不同沟埋还田处理对秸秆腐解率和腐解速率的影响见图 2。菠萝秸秆还田后呈现出先慢后快之后又逐渐变慢的“S”型腐解趋势(图 2-A), 其腐解主要聚集在还田腐解前 60 d, 腐解率达到 56% 以上; 还田腐解 60~180 d 内秸秆腐解率增幅变小, 仅增加 11%~16%; 180~540 d 秸秆腐解率增加更为缓慢, 仅增加了 5%~8%。同时, 秸秆腐解速率在还田腐解 15~30 d 达到最高, 之后缓慢下降。在秸秆还田腐解 15 d, DRF20 处理腐解率最高, 其腐解率为 14.31%, 显著高于其他处理 ($P<0.05$); 而 DRF30 和 DR30 处理下秸秆腐解率和腐解速率最低, 显著低于其他处理。还田腐解 30 d 后, DRF20 处理秸秆腐解率最高, 显著高于 DRF10 处理 ($P<0.05$), 但与其他处理间并没有显著差异; 并且各处理间的腐解速率并没有显著差

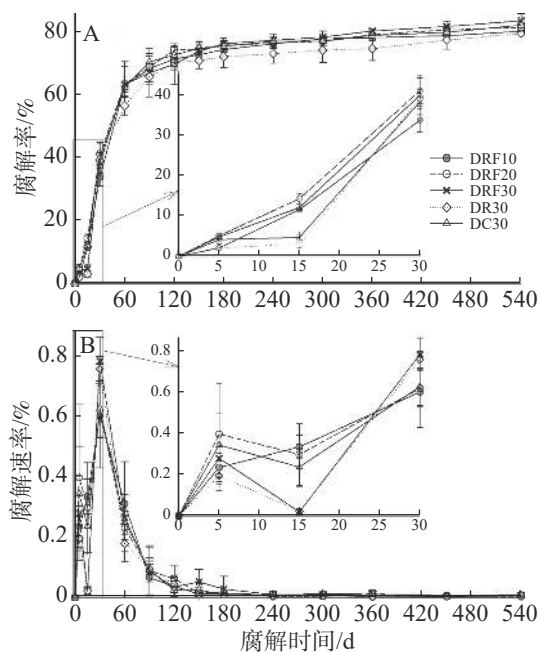


图 2 不同沟埋还田处理秸秆的腐解率和腐解速率的变化

异。各处理在还田腐解 540 d 时秸秆腐解率超过了 79%, 其中 DRF30 显著高于其他 4 个处理。整个腐解过程中 DR30 处理秸秆腐解率和腐解速率都表现最低, 在还田腐解 540 d 显著低于其他处理 ($P<0.05$)。

2.2 不同沟埋还田处理对秸秆纤维素、半纤维素、木质素的释放率的影响 不同沟埋还田处理对秸秆纤维素、半纤维素、木质素的释放率的影响见图 3。秸秆还田后秸秆中纤维素和半纤维素在还田腐解 0~60 d 之内迅速释放, 释放率分别超过了 79% 和 83%; 还田腐解 60 d 后释放逐渐变慢。还田腐解 15 d, DRF20 处理纤维素释放率显著高于其他处理 ($P<0.05$), 但半纤维素释放率与 DRF10 无显著性差异, 纤维素和半纤维素释放率分别以 DRF10 和 DRF30 处理最低, 与其他处理差异显著。还田腐解 30 d, DRF30 处理下纤维素和半纤维素的释放率显著低于其他处理 ($P<0.05$); DR30 处理纤维素释放率显著高于 DRF20 和 DRF30 处理。还田腐解 60 d 时 DRF30 处理的纤维素释放率显著高于 DR30; DRF10 处理的半纤维素释放率最高, DR30 处理的最低。还田腐解 540 d 时各处

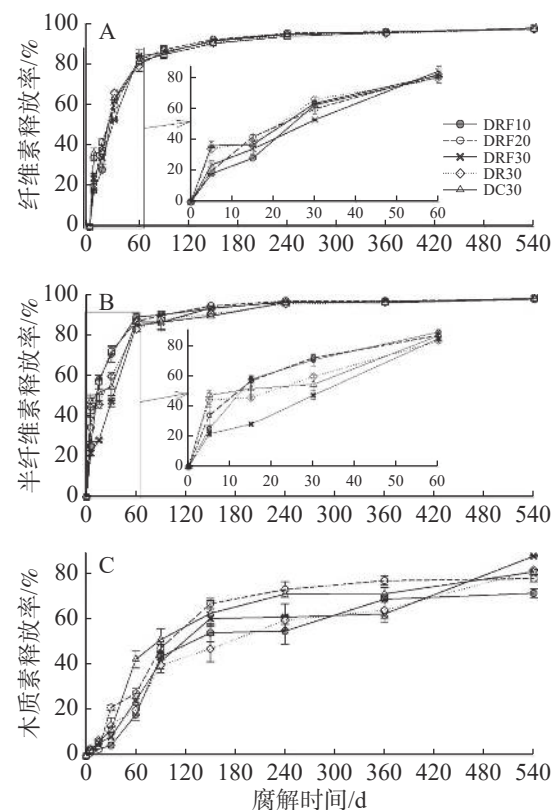


图 3 不同沟埋还田处理秸秆的纤维素、半纤维素、木质素的释放率的变化

理间纤维素和半纤维素的释放率没有明显差异。

秸秆木质素释放率表现为还田腐解 0~15 d 缓慢释放, 还田腐解 15~150 d 释放率增加, 超过了 46.94%; 还田腐解 150 d 后释放率逐渐减小。还田腐解 30 d 时 DRF20 木质素释放率最高, 而 DRF10 处理最低, 且与其他处理间差异显著。还田腐解 150 d 时, DRF20 处理秸秆木质素释放率显著高于 DR30 ($P<0.05$)。还田腐解 540 d 时, DRF30 处理秸秆木质素释放率显著高于其他处理 ($P<0.01$), 但 DRF10 显著低于其他处理 ($P<0.01$)。

2.3 不同沟埋还田处理对土壤理化性质的影响

不同沟埋还田处理对土壤理化性质的影响见图 4。秸秆集中层土壤 pH 值在整个腐解过程中呈现出随着腐解时间增长, pH 值先增加后降低的趋势, 在还田腐解 150 d 时各处理 pH 值达到最大。还田腐解 150 d 时各处理 pH 值在 5.31~7.08 范围, 其中 DR30 和 DRF30 显著高于其余处理 ($P<0.05$), 但其之间差异不显著 ($P>0.05$); DRF20 处理 pH 最低, 显著低于其余处理 ($P<0.05$)。秸秆还田后各处理秸秆集中层土壤含水量表现为单峰型曲线, 在秸秆还田腐解 150 d 达到最高值。DRF10、DRF20、DRF30 处理含水量在整个腐解期间高于 DC30 和 DR30, 且在还田腐解 150 d,

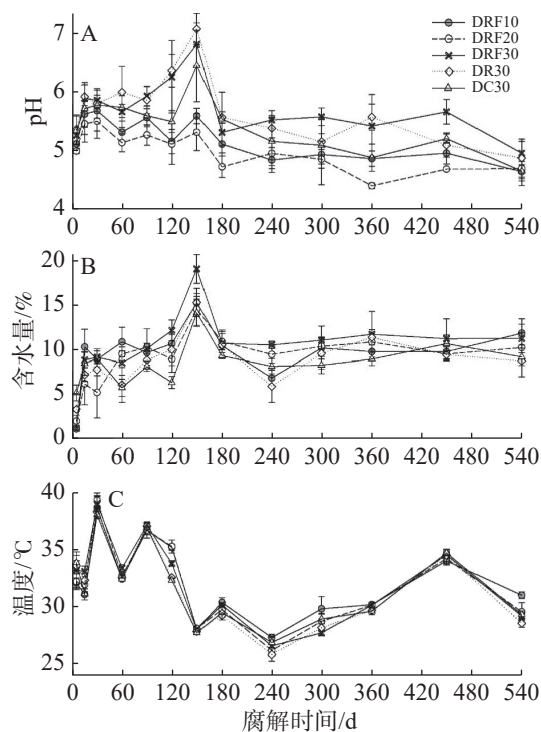


图 4 不同沟埋还田处理土壤理化性质的变化

DRF30 要显著高于其他处理 ($P<0.05$)。各处理土壤温度均受季节温度影响较大, 土壤温度表现为夏季温度高而冬季温度低。土壤温度总体表现出 $DRF30>DRF10>DRF20>DC30>DR30$, 但各处理间差异并不总显著。

2.4 不同沟埋还田处理对土壤酶活性的影响

不同沟埋还田处理对土壤酶活性的影响见图 5。土壤中脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶活性在菠萝秸秆腐解过程中均表现为在还田腐解前 150 d 逐渐增加, 到还田腐解 150 d 时酶活性最大, 之后降低; 在还田腐解 240 d 之后逐渐增加, 到还田腐解 300 d 后又逐渐降低。还田腐解 150 d 时 DRF30、DR30 和 DC30 处理的脲酶活性显著高于 DRF10 和 DRF20; 磷酸酶活性则表现为 DRF30 和 DR30 处理显著高于其他 3 个处理, DRF20 最低; 过氧化氢酶活性表现为 DRF30 和 DC30 处理显著高于其他处理 ($P<0.05$)。还田腐解 300 d 时磷酸酶活性以 DC30 处理最高, 且显著高于其他处理 ($P<0.01$), 其次为 DR30 处理, 而 DRF20 处理最低, DR30 处理、DRF20 处理与其他处理间差异显著; DRF30 处理过氧化氢酶活性也表现出显著高于其他处理 ($P<0.05$)。

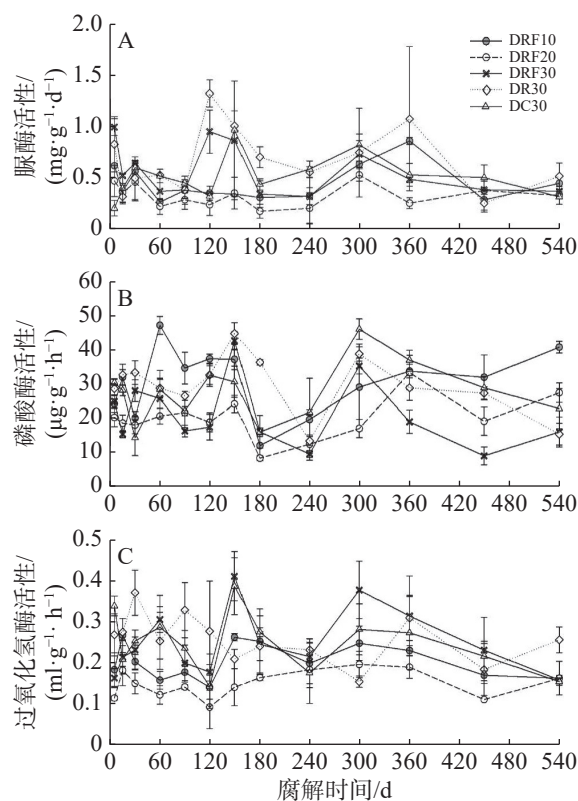


图 5 不同沟埋还田处理土壤酶活性的变化

2.5 秸秆腐解特性指标与土壤特性指标的相关性分析 秸秆腐解率与纤维素、木质素的释放率呈显著正相关($P<0.05$), 而与磷酸酶呈显著负相关($P<0.05$)(表 1)。尽管秸秆腐解率、半纤维素释放率、土壤含水量与土壤温度呈正相关, 而与土壤的

脲酶和过氧化氢酶呈负相关, 但其并不显著。秸秆纤维素、半纤维素和木质素的释放率之间呈极显著正相关($P<0.01$)。脲酶、过氧化氢酶与 pH 值呈极显著正相关; 脲酶与磷酸酶、过氧化氢酶呈显著正相关。

表 1 秸秆腐解特性指标与土壤特性指标相关性分析

	SDR/%	CR/%	HR/%	LR/%	SWC/%	ST/°C	pH	UA/(mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	PA/(μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	CA/(ml·g ⁻¹ ·h ⁻¹)
CR/%	0.52*									
HR/%	0.51	0.93**								
LR/%	0.61*	0.90**	0.87**							
SWC/%	0.25	-0.09	-0.23	0.01						
ST/°C	0.39	-0.21	-0.21	-0.11	0.52*					
pH	-0.08	0.44	0.37	0.42	-0.11	-0.61*				
UA/(mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	-0.40	0.25	0.22	0.28	-0.26	-0.44	0.75**			
PA/(μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	-0.54*	-0.38	-0.47	-0.31	0.26	0.08	0.24	0.61*		
CA/(ml·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	-0.04	0.29	0.23	0.43	0.11	-0.34	0.86**	0.75**	0.46	

注:*表示指标之间显著相关($P<0.05$);**表示指标之间极显著相关($P<0.01$);SDR表示秸秆腐解率; CR表示秸秆纤维素释放率; HR表示秸秆半纤维素释放率; LR表示秸秆木质素释放率; SWC表示土壤含水量; ST表示土壤温度; UA表示脲酶活性; PA表示磷酸酶活性; CA表示过氧化氢酶活性。

3 讨论

作物秸秆腐解率和腐解速率是表征秸秆腐解情况的重要指标^[27]。菠萝秸秆腐解过程中表现出先快后慢的趋势, 这与他人的研究结果相似^[28-30]。菠萝秸秆腐解主要聚集在还田腐解前 60 d, 这是由于秸秆还田后秸秆中易分解有机物质以及无机养分释放入土壤中, 给微生物提供生长繁殖所需养分, 微生物群落组成发生了迅速变化, 这导致秸秆中纤维素、半纤维素、脂肪族化合物、酰胺类化合物和糖类物质在前期能较快地被分解, 加速秸秆腐解矿化^[24,31-33]; 另外, 秸秆还田后, 高降雨量及温度也为微生物创造了较好的环境条件, 促进微生物活力增加, 促进秸秆腐解^[9,34]。因此, 菠萝秸秆纤维素和半纤维素在还田腐解前 60 d 也表现出了快速释放。该结果与西北地区大豆和玉米秸秆腐解率相比^[33], 菠萝秸秆前期腐解速率快, 且持续时间长(延长大约 30 d), 腐解率达 56% 的时间提前了大约 120 d; 这可能主要跟秸秆特性和不同地区的环境条件有密切关系。纤维素、半纤维素和木质素是影响秸秆腐解的重要因素, 且纤维素和

半纤维素较木质素更容易分解^[24]。在秸秆还田腐解 60 d 后, 秸秆中较难分解的物质(如木质素、单宁和蜡质等)逐渐增加, 导致秸秆腐解速率减慢; 在还田腐解前 60 d, 木质素的释放率还未达到 40%, 而到还田腐解 540 d, 木质素释放率才超过 71%, 而纤维素和半纤维素释放率均已超过 95%。随着菠萝秸秆的腐解, 秸秆中氮、磷、钾等养分快速释放, 致使土壤中酸性磷酸酶、脲酶和过氧化氢酶在秸秆腐解速率最快的阶段活性略有降低, 并且由于海南农田速效磷含量高, 磷酸酶变化更明显。因此, 本研究也发现秸秆腐解率与纤维素释放率、木质素释放率呈显著正相关, 而与土壤磷酸酶呈显著负相关关系。该结果也证实了秸秆纤维素、木质素的释放率是与菠萝秸秆腐解密切相关的因素, 同时菠萝秸秆腐解会对土壤养分产生明显的影响。

影响秸秆腐解的因素有多种, 如土壤温度、土壤含水量及秸秆自身因素等^[9,35-36]。土壤温度和含水量都表现出与秸秆腐解呈正相关关系^[11,16], 能促进菠萝秸秆腐解。菠萝秸秆还田腐解 15 d, 温度和降雨都较少, 10 cm 土层含水量低于其他土

层,而 30 cm 土层土壤温度也表现出低于其他土层;与其他土层相比,20 cm 土层土壤含水量和温度都较为适宜土壤微生物及酶活性的提高,进而使 DRF20 处理较其他处理能够显著提高秸秆纤维素、半纤维素的释放率,其腐解率也显著高于其他处理($P<0.05$)。DRF30、DR30 处理由于土层较深,土壤温度低且通气状况较差,不利于土壤微生物对秸秆的分解^[10,22,28],降低了秸秆纤维素、半纤维素和木质素等的分解,这导致其腐解率和腐解速率最低,显著低于其他处理($P<0.05$)。菠萝秸秆还田腐解 30 d,温度和降雨增加,但由于地膜覆盖 DRF10 土层通透性差且温度高,导致 DRF10 处理腐解率最低。秸秆还田腐解 60 d,由于温度和降雨减少,DRF10 处理土壤温度和水分含量适宜,秸秆易分解的物质快速减少,其腐解率与其他处理间的差异逐渐变小,无显著性差异。可见,土壤温度、含水量及通气状况都是影响菠萝秸秆腐解的重要因素,以上因素协同作用时秸秆才会腐解速度加快。秸秆还田腐解 60 d 之后,DRF30 处理腐解率逐渐高于其余处理,这是因为 DRF30 处理土壤 pH 值较高,而 pH 值的提高有利于木质素结构的破坏和微生物的繁衍,进而促进秸秆腐解^[37]。到还田腐解 540 d 时 DRF30 处理木质素释放率和秸秆腐解率都显著高于其他处理($P<0.05$)。本研究中菠萝秸秆木质素释放率与土壤 pH 间也呈现出正相关关系。在菠萝秸秆腐解前期,DRF20 处理前期秸秆腐解和养分释放过快,导致中后期土壤养分降低,土壤脲酶和过氧化氢酶活性显著降低,磷酸酶活性增加。DR30 处理由于起垄后透气性较差,且温度低于覆膜处理,并且在厌氧条件下木质素的一种结构酚羟基易与土壤中无机氮结合,降低了木质素的分解^[29],这使得秸秆腐解率及养分释放低于其他处理,秸秆腐解中后期土壤养分略高于其他处理,土壤脲酶和过氧化氢酶活性增加,磷酸酶活性降低。可见,DRF20 处理更有利于菠萝秸秆的腐解。

综上所述,菠萝秸秆还田后其腐解主要聚集在还田腐解前 60 d,腐解率、纤维素释放率、半纤维素释放率及木质素释放率分别能达到 56%、79%、83% 和 18% 以上;且在还田腐解 15~30 d 腐解率最快;还田腐解 540 d 腐解率会超过 79%。菠萝秸秆腐解率与秸秆中纤维素和木质素释放率

呈显著正相关关系,而与土壤磷酸酶呈显著负相关关系。DRF20 处理由于土壤温度和水分适宜,秸秆纤维素、半纤维素和木质素分解率高,在还田前期腐解率最高;而 DRF30 处理还田中后期腐解更快。但不同处理下菠萝秸秆的腐解特性对热区农田土壤肥力及作物产量有何影响也将成为未来菠萝秸秆还田研究的重点。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 刘娣, 范丙全, 龚明波. 秸秆还田技术在中国生态农业发展中的作用[J]. 中国农学通报, 2008, 24(6): 404-407.
- [3] ZHAO S, LI K, ZHOU W, et al. Changes in soil microbial community, enzyme activities and organic matter fractions under long-term straw return in north-central China[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2016, 216: 82-88.
- [4] AKHTAR K, WANG W, REN G, et al. Changes in soil enzymes, soil properties, and maize crop productivity under wheat straw mulching in Guanzhong, China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2018, 182: 94-102.
- [5] YU D, WEN Z, LI X, et al. Effects of straw return on bacterial communities in a wheat-maize rotation system in the North China Plain[J]. *Plos One*, 2018, 13(6): e0198087.
- [6] WANG X, YANG H, LIU J, et al. Effects of ditch-buried straw return on soil organic carbon and rice yields in a rice-wheat rotation system[J]. *CATENA*, 2015, 127: 56-63.
- [7] 徐国伟, 常二华, 蔡建. 秸秆还田的效应及影响因素[J]. 耕作与栽培, 2005(1): 6-9.
- [8] 张倩, 张红. 秸秆腐解过程中土壤热值与有机养分动态[J]. 西北农业学报, 2019, 28(7): 1158-1168.
- [9] 张学林, 周亚男, 李晓立, 等. 氮肥对室内和大田条件下作物秸秆分解和养分释放的影响[J]. 中国农业科学, 2019, 52(10): 1746-1760.
- [10] HAN Y, YAO S H, JIANG H, et al. Effects of mixing maize straw with soil and placement depths on decomposition rates and products at two cold sites in the mollisol region of China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2020, 197: 104519.
- [11] 张红, 吕家珑, 曹莹菲, 等. 不同植物秸秆腐解特性与土壤微生物功能多样性研究[J]. *土壤学报*, 2014, 51(4): 743-752.
- [12] 陈尚洪, 朱钟麟, 吴婕, 等. 紫色土丘陵区秸秆还田的腐解特征及对土壤肥力的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 141-144.
- [13] 关哲允. 不同地区不同还田深度对玉米秸秆腐解特性的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2020.

- [14] 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.
- [15] 左玉萍, 贾志宽. 土壤含水量对秸秆分解的影响及动态变化[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(5): 61 – 63.
- [16] 张宇, 陈阜, 张海林, 等. 耕作方式对玉米秸秆腐解影响的研究[J]. 玉米科学, 2009, 17(6): 68 – 73.
- [17] 王刚, 李明, 王金丽, 等. 热带农业废弃物资源利用现状与分析: 菠萝废弃物综合利用[J]. 广东农业科学, 2011, 38(1): 23 – 26.
- [18] 刘传和, 刘岩, 凡超, 等. 菠萝茎叶还田对土壤理化特性及下茬菠萝生长的调控效应[J]. 热带作物学报, 2012, 33(12): 2230 – 2235.
- [19] YANG H, ZHAI S, LI Y, et al. Waterlogging reduction and wheat yield increase through long-term ditch-buried straw return in a rice-wheat rotation system[J]. *Field Crops Research*, 2017, 209: 189 – 197.
- [20] YANG H, LI Y, ZHAI S, et al. Long term ditch-buried straw return affects soil fungal community structure and carbon-degrading enzymatic activities in a rice-wheat rotation system[J]. *Applied Soil Ecology*, 2020, 155: 103660.
- [21] YANG H, XU M, LI Y, et al. The impacts of ditch-buried straw layers on the interface soil physicochemical and microbial properties in a rice-wheat rotation system[J]. *Soil & Tillage Research*, 2020, 202: 104656.
- [22] YANG H, FANG C, MENG Y, et al. Long-term ditch-buried straw return increases functionality of soil microbial communities[J]. *Catena: An Interdisciplinary Journal of Soil Science Hydrology-Geomorphology Focusing on Geocology and Landscape Evolution*, 2021, 202: 1.
- [23] 刘单卿, 李顺义, 郭夏丽. 不同还田方式下小麦秸秆的腐解特征及养分释放规律[J]. 河南农业科学, 2018, 47(4): 49 – 53.
- [24] 王娜, 李萍, 宗毓铮, 等. 不同还田方式下北方旱作小麦秸秆腐解规律研究[J]. 核农学报, 2020, 34(7): 1613 – 1619.
- [25] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 12 – 289.
- [26] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 294 – 322.
- [27] 刘佳琪. 高粱和玉米秸秆腐解特性比较研究[D]. 太原: 山西大学, 2019.
- [28] 武际, 郭熙盛, 王允青, 等. 不同水稻栽培模式和秸秆还田方式下的油菜、小麦秸秆腐解特征[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(16): 3351 – 3360.
- [29] 王景, 陈曦, 魏俊岭. 水稻秸秆和玉米秸秆在好气和厌氧条件下的腐解规律[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(1): 59 – 65.
- [30] 代文才, 高明, 兰木羚, 等. 不同作物秸秆在旱地和水田中的腐解特性及养分释放规律[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(2): 188 – 199.
- [31] MARSCHNER P, UMAR S, BAUMANN K. The microbial community composition changes rapidly in the early stages of decomposition of wheat residue[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(2): 445 – 451.
- [32] MORADI A, TEH C B S, GOH K J, et al. Decomposition and nutrient release temporal pattern of oil palm residues[J]. *Annals of Applied Biology*, 2014, 164(2): 208 – 219.
- [33] 曹莹菲, 张红, 刘克, 等. 不同处理方式的作物秸秆田间腐解特性研究[J]. 农业机械学报, 2016, 47(9): 212 – 219.
- [34] 王宇先, 孙士明, 徐莹莹, 等. 黑龙江省半干旱地区生长季玉米秸秆腐解特征研究[J]. *黑龙江农业科学*, 2020(9): 46 – 48.
- [35] 周桂香, 陈林, 张丛志, 等. 温度水分对秸秆降解微生物群落功能多样性影响[J]. 土壤, 2015, 47(5): 911 – 918.
- [36] 于宗波, 杨恒山, 萨如拉, 等. 不同质地土壤玉米秸秆还田配施腐熟剂效应的研究[J]. 水土保持学报, 2019, 33(4): 234 – 240.
- [37] 麦逸辰, 卜容燕, 韩上, 等. 添加不同外源氮对水稻秸秆腐解和养分释放的影响[J]. 农业工程学报, 2021, 37(22): 210 – 219.

Decomposition characteristics of pineapple plant residues returned to the soil in different ditches

YANG Shuyun¹, CAI Jinwen¹, LI Shoupeng¹, HAN Yan¹, JIN Xin¹, HOU Guangqing¹, SHAO Xujie¹,
CHENG Wenxiao¹, LI Changjiang^{1,2}

(1. School of Tropical Crops/Hainan Key Laboratory for Sustainable Utilization of Tropical Bioresources, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 2. Sanya Nanfan Research Institute, Hainan University, Sanya, Hainan 572025, China)

Abstract: Returning straw to soil in ditches can increase soil temperature, nutrients and organic matter content, change soil microbial community composition, and thus increase crop yield. However, this method has not been reported to use in returning pineapple plant residues to soil in the field. Five treatments for ditching and returning the pineapple plant residues to the soil in the field were designed: Ditching 10 cm deep, returning the plant residues into soil in the ditches, ridging and covering with film (DRF10); ditching 20 cm deep, returning the plant residues to the soil in the ditches, ridging and covering with film (DRF20); ditching 30 cm deep, returning the plant residues to the soil in the ditches, ridging and covering with film (DRF30); ditching 30 cm deep, returning the plant residues into the soil in the ditches and ridging (DR30); ditching 30 cm deep, returning the plant residues into the soil in the ditches and leveling (DL30). The decomposition characteristics of the pineapple plant residues buried in different ditches were observed and analyzed. The results showed that the decomposition of the pineapple plant residues mainly occurred in the first 60 days after they were returned to the soil, with a decomposition rate of more than 56%. The decomposition rate of the plant residues was the highest at 15-30 days after returning to the soil. In the DRF20 treatment, the cellulose release rate and decomposition rate were significantly higher at 15 days after returning to the field, and the lignin release rate and decomposition rate were also the highest after 30 days of returning to the soil. The decomposition and decomposition rate, release rate of cellulose and hemicellulose were significantly lower in the DRF30 treatment than in the other treatments. The lignin release rate and decomposition rate were significantly higher in the DRF30 treatment than the other treatments at 540 days after returning to the soil. Soil water content and temperature were higher in the DRF30 treatment than in the DR30 and DL30 treatments. The enzyme activities were higher in the DRF30, DR30 and DC30 treatments than in the other treatments, but not significantly. The decomposition rate of the pineapple plant residues was positively correlated with the release rate of cellulose and lignin and negatively correlated with phosphatase. In conclusion, the pineapple plant residues decomposed fast at the early stage in the DRF20 treatment but at the middle and late stages in the DRF30 treatment.

Keywords: pineapple plant residues; returning of plant residues to the field; decomposition characteristics; soil characteristics

(责任编辑:叶 静)