

## 水稻秸秆在旱作土壤中的降解过程及降解菌剂施用效果

宋芳芳<sup>1,2</sup>, 任萍<sup>2\*</sup>, 徐建良<sup>3</sup>, 王惠松<sup>4</sup>, 林同保<sup>1\*</sup>

(1. 河南农业大学河南粮食作物协同创新中心, 河南 郑州 450002; 2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 3. 浙江省嘉兴市嘉善区种子管理站, 浙江 嘉兴 314000; 4. 浙江省嘉兴市环境监测站, 浙江 嘉兴 314000)

**摘要:** 以水稻秸秆为试验材料, 在温室盆栽和大田小区环境下, 设置秸秆纤维素降解菌剂 A、B、C 为处理, 以不施用菌剂为对照 (CK), 通过测定秸秆失重率 (RW)、秸秆纤维素 (RCD) 和半纤维素降解率 (RHCD), 探讨水稻秸秆在旱作土壤中的降解过程及秸秆纤维素降解菌剂对秸秆降解的影响。结果表明: 水稻秸秆在旱作土壤中的降解过程依据秸秆降解率可以划分为初期、前期、中期和后期 4 个阶段; 秸秆纤维素降解菌剂对秸秆降解促进作用主要在初期阶段, 且施用效果受环境温度影响很大: 在温室盆栽 (20℃) 条件下, 3 种菌剂处理秸秆的初期阶段降解需要 10 d, 均比 CK 提前 15 d 左右; 大田低温 (<10℃) 环境下, 菌剂 B 和菌剂 A 处理秸秆的初期阶段降解需要 45 d, 而 CK 需要 60 d, 菌剂 C 则没有明显效果。

**关键词:** 水稻秸秆; 旱作土壤降解过程; 秸秆降解菌剂; 施用效果

**中图分类号:** S141.4; S144 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6257(2015)02-0103-08

近年来, 随着我国土地质量的日益下降, 保护耕地、提高土壤生产力的重要性与紧迫性成为我国政府和广大有识之士的共识。为了在有限耕地上更好地支撑 13 亿多人口的粮食需求, 粮食高产、稳产成为我国农业生产坚定的目标, 随之所产生的巨量农作物秸秆, 也给秸秆资源的合理处置及利用带来了挑战。农作物秸秆体积大、重量轻、季节性极强, 在我国大多数地区高复种指数的种植压力下, 秸秆还田难度大、还不了田的现象非常普遍, 焚烧秸秆现象严重, 引发严重的社会和环境问题<sup>[1-4]</sup>。秸秆究竟该如何处理, 成为政府和个人不得不面对的棘手问题。

客观上讲, 秸秆本身并不危害民众和生态环境, 秸秆的能源化、饲用化、肥料化利用技术在一定程度上消纳了部分秸秆, 还田秸秆在土壤中的降解主要取决于土壤微生物的菌群数量和降解能力, 农田土壤中能够降解秸秆的微生物分布数量少、降解能力很弱, 秸秆在短期内降解不明显, 筛选高效秸秆降解菌株、研制高效微生物降解菌剂以加快秸秆田

间降解成为秸秆还田研究的一个重要方向<sup>[5-12]</sup>。姜佰文<sup>[13]</sup>等对秸秆常温快速腐熟生物菌剂的筛选研究发现, 生物菌剂富含高效微生物菌系, 具有促进秸秆快速腐解的作用。Li<sup>[14]</sup>等从高效秸秆降解菌群的筛选入手, 发现在培养 15 d, ADS-3 菌系可降解小麦秸秆和滤纸高达 63.8% 和 80.0%; 殷中伟<sup>[15]</sup>等人筛选的赭绿青霉, 在室内摇瓶条件下, 其对小麦秸秆纤维素和半纤维素的降解率分别达到 43.5% 和 49.7%; 黄茜<sup>[16]</sup>等人筛选得到木质素降解混合菌 H6-T10, 稻秆木质素的降解率最高达到 44.77%; 李培培<sup>[17]</sup>等人分析了不同促分解菌剂对玉米秸秆降解效果及对土壤微生物的影响, 发现促分解效果均发生在早期 (还田 25 d), 且随着时间的推移, 土壤微生物群落结构之间的差异逐渐减小; 刘海静<sup>[18]</sup>等发现在不同的耕作栽培措施下, 秸秆降解菌剂的作用效果有显著差异, 这一结论与胡立峰<sup>[11]</sup>研究结论一致。然而人们发现, 不仅是遗传性状稳定的高效秸秆纤维降解菌株筛选困难, 现有的秸秆降解/腐解菌剂制品在田间实际应用效果也非常不稳定。秸秆自然降解的过程、秸秆降解菌剂对秸秆降解的影响、菌剂效果的验证和评价等成为目前秸秆降解菌剂研究和应用推广最主要的障碍。

水稻是我国三大粮食作物之一, 南方很多地区

收稿日期: 2014-12-18; 最后修订日期: 2015-01-14

作者简介: 宋芳芳 (1989-), 女, 河南省许昌人, 硕士研究生, 研究方向为农业废弃物资源化利用。E-mail: Songfang422@163.com。

通讯作者: 任萍, E-mail: renping@caas.cn; 林同保, E-mail: Lintongbao@126.com。

都有种植,秋收后面临冬季气温低、茬口期短等实际问题,严重影响种植区水稻秸秆还田的实施。因此,本文以江浙地区晚秋水稻秸秆为材料,通过跟踪在温室中土壤水稻秸秆组分随时间的变化,了解秸秆在中短期内的降解过程;同时还利用筛选的秸秆纤维素高效降解菌株,研制了3种秸秆降解复合菌剂,通过监测微生物菌剂对秸秆降解过程的影响以及盆栽和大田的应用效果,希望能够为水稻秸秆旱作土壤还田技术发展提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

#### 1.1.1 秸秆来源

水稻秸秆取自中国农业科学院作物科学研究所(北京)试验田和浙江嘉兴嘉善种子管理站农田。

#### 1.1.2 供试菌剂

秸秆纤维素降解菌剂A、秸秆纤维素降解菌剂B、秸秆纤维素降解菌剂C。以下分别简称菌剂A、菌剂B和菌剂C。其中菌剂A和B由产碱菌属、芽孢杆菌属和类芽孢杆菌属中的3株菌组成,有效活菌数分别为 $10^{10}$ 和 $10^{11}$ 个/g;菌剂C由产碱菌属、芽孢杆菌属和类芽孢杆菌属中的4株菌组成,有效活菌数为 $10^{10}$ 个/g。

#### 1.1.3 供试土壤

潮土和水稻土。土壤基本理化性状:潮土pH值7.0,有机质15.0 g/kg;水稻土pH值5.4,有机质23.7 g/kg。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 盆栽试验

试验分别于2013年10月9日至2014年1月10日、2014年4月10日到7月10日在中国农业科学院温室大棚内进行。试验设菌剂A、菌剂B、菌剂C以及不施菌剂对照(CK)共4个处理,每个处理3次重复。试验时,取5g自然风干的水稻秸秆,与定量的秸秆纤维素降解菌剂混匀装入网袋(规格为12 cm×20 cm),埋入花盆内(高30 cm,直径25 cm),每盆装土5.5 kg,装土深度为20 cm,试验前称取35 g氮磷钾复合肥料(N:P:K=15:15:15)作为底肥,并在土层10 cm左右埋入袋装秸秆,试验当天浇透水,每盆播种15粒已催芽的小麦种子,每隔10 d取样。试验期间保持土壤含水率为田间持水量的60%~70%。

#### 1.2.2 大田小区试验

试验于2013年12月11日至2014年6月份在浙江嘉兴地区农田进行。试验处理同1.2.1盆栽试验。试验各小区长20 m,宽5 m,面积100 m<sup>2</sup>,为收获水稻后的田地,秸秆留茬25 cm左右。布置试验当天,先分别将5 kg菌剂与20 kg细土混匀人工撒施于各个小区,再人工撒播播种小麦,然后进行隔行浅耕(LX-754旋耕机),深度为10 cm左右。大田埋袋的秸秆与1.2.1盆栽试验处理方式一致,人工开沟10~15 cm埋入土中。前3个月每15 d取样一次,后期30 d取样一次直到小麦收获。试验期间田间管理同当地常规管理。

### 1.3 测定项目与计算方法

#### 1.3.1 秸秆失重率

采用减重法测定,每次取样后用清水清洗干净并85℃烘干6 h。

$$RW(\%) = (W_0 - W_n) / W_0 \times 100$$

其中:RW: 秸秆失重率;

$W_0$ : 初始秸秆重量;

$W_n$ : 降解n天后秸秆重量。

#### 1.3.2 纤维素和半纤维素降解率

采用文献[19]中的方法,具体操作程序如下:

(1) 称取烘干待测样品0.500 g(W)置于100 mL三角瓶中,加入25 mL pH值为2的酸性洗涤剂,之后放入已沸的高压灭菌锅,100℃保温60 min,取出用定性滤纸过滤,残渣依次用水、95%的乙醇和丙酮洗涤至pH值7.0,将残渣置烘箱60℃烘干至恒重 $W_1$ 。

(2) 将(1)中烘干残渣样品置于100 mL烧杯中,加入25 mL 2 mol/L盐酸洗涤液,然后放入已沸的高压灭菌锅,100℃准确保温50 min,之后用定性滤纸过滤,依次用水、95%乙醇和丙酮洗涤至pH值6.5~7.0,残渣60℃烘至恒重为 $W_2$ 。

(3) 将(2)中烘干残渣样品置于50 mL烧杯中,加入5 mL冷的72%硫酸溶液,室温条件下水解3 h,然后加入45 mL去离子水,室温过夜,次日用滤纸过滤,然后用蒸馏水洗残渣至pH值6.5,80℃烘干至恒重为 $W_3$ 。

纤维素、半纤维素含量的计算公式:

$$\text{纤维素含量 (g/kg)}: (W_2 - W_3) / W \times 1000$$

$$\text{半纤维素含量 (g/kg)}: (W_1 - W_2) / W \times 1000$$

纤维素、半纤维素降解率计算公式:

$$RCD (\%) = (W_0 - W_n) / W_0 \times 100$$

$$RHCD (\%) = (W_0 - W_n) / W_0 \times 100$$

其中: RCD: 纤维素降解率;  
 RHCD: 半纤维素降解率;  
 $W_0$ : (半) 纤维素含量初始值;  
 $W_n$ : 降解 n 天后 (半) 纤维素含量。

1.4 数据处理

试验数据均采用 Execl 2003 进行数据处理, SAS 9.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 盆栽试验和大田试验条件下水稻秸秆失重率变化

盆栽条件下, 秸秆纤维素降解菌剂及对照处理的水稻秸秆失重率变化的情况如图 1 所示。秸秆降解 10 d, 各处理水稻秸秆减重均非常明显, 其中菌剂 A、菌剂 B、菌剂 C 处理秸秆 RW 分别为

26.70%、25.94% 和 24.74%, 分别比对照处理增加 44.14%、40.04% 和 33.55%, 菌剂处理与对照之间达到差异显著水平 ( $P < 0.05$ ); 降解 20 d, 各处理秸秆 RW 值继续上升, 其中菌剂 A、菌剂 B、菌剂 C 处理秸秆 RW 值分别达到 33.16%、31.27%、31.78%, 对照处理秸秆 RW 为 21.88%, 3 种菌剂处理与对照之间在 0.05 水平差异显著。降解 30~80 d, 菌剂处理秸秆 RW 变化处于持续缓增的态势, 到 80 d 菌剂处理秸秆 RW 为 53.27%~57.42%; 不同的是, 对照处理秸秆 RW 值自 30 d 起进入稳定增长阶段, 增幅大于菌剂处理秸秆, 因此对照在 40 d 时与菌剂处理之间差异不再显著, 降解 50 d 后就超过了菌剂处理的秸秆。90 d 时, 各处理秸秆 RW 值出现一个较大的变化, 3 种菌剂处理秸秆 RW 值为 65.31%~66.31%, 对照处理秸秆 RW 值为 75.72%, 这时秸秆整体上亦发生根本性变化, 呈深褐色且腐软易断。

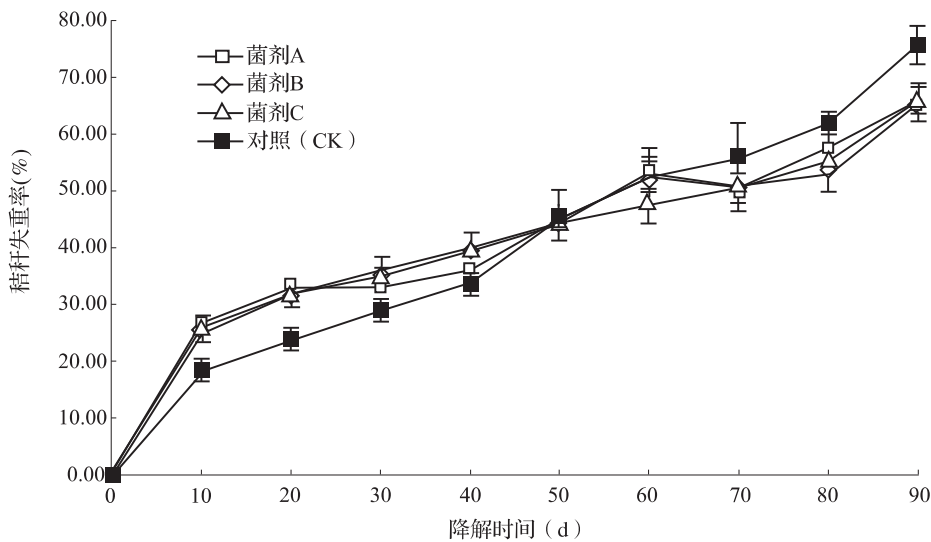


图 1 盆栽条件下水稻秸秆失重率随降解时间的变化情况

大田试验条件下, 对照秸秆失重率变化趋势整体上与盆栽试验结果类似 (图 2), 但秸秆降解时间更长、RW 值变化小于盆栽数据。大田试验中由于土壤温度和水分影响, 不同菌剂处理效果差异很大。菌剂 A 处理秸秆 RW 值在 15 d 时只有 5.34% (低于对照处理秸秆); 30、45 d, 其 RW 值分别提高到 21.01% 和 26.91%, 比对照处理 RW 值分别提高 36.16% 和 34.55%; 60~180 d, 菌剂 A 处理秸秆 RW 值和增长幅度小于对照处理。菌剂 B 处理秸秆 RW 值在 15 d 时为 10.29%, 虽略高于对照处

理, 但之间差异不明显; 30、45 d, 菌剂 B 处理的秸秆 RW 值增大到 22.78%、27.35%, 比对照处理分别提高 47.63% 和 36.75%, 差异显著; 60 d 时, 菌剂 B 处理秸秆 RW 值达到 33.16%, 仍然超过对照处理 15.38%; 75~180 d, 菌剂 B 处理 RW 值总体上要低于对照处理。菌剂 C 处理秸秆 RW 值在 15 d 时是 13.25%, 但随后一个月秸秆的降解几乎没有变化, 60 d 后菌剂 C 处理秸秆 RW 值渐渐增大, 增幅小于对照处理, 因此, 菌剂 C 处理 RW 值低于对照处理, 但之间没有显著性差异。

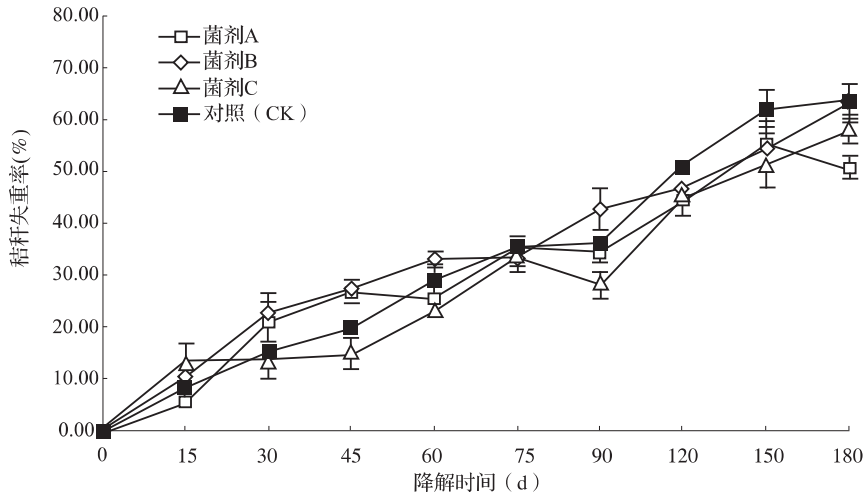


图2 大田条件下水稻秸秆失重率随降解时间的变化情况

## 2.2 盆栽试验和大田试验条件下水稻秸秆纤维素降解情形比较

纤维素是秸秆主要的组成成分,作为秸秆细胞壁的基本结构<sup>[20]</sup>,其特有的维管状稳定结构可能成为秸秆在自然界中降解缓慢的主要原因<sup>[21-22]</sup>。盆栽条件下秸秆纤维素降解菌剂对水稻秸秆纤维素降解的影响如图3所示。0~20 d,水稻秸秆纤维素含量出现连续大幅减少:10 d时菌剂A、菌剂B、菌剂C处理RCD值分别为

33.52%、32.48%、27.89%;20 d时3种菌剂处理RCD值均超过40%,比对照提高33.62%~37.08%,菌剂处理与对照之间达到显著差异水平( $P < 0.05$ )。30~90 d所有菌剂处理RCD值仍持续加大,但总的增加幅度小于0~20 d;对照秸秆RCD值在此期间同样是持续增加,并且增幅超过各菌剂处理,50~70 d菌剂处理与对照之间没有显著差异( $P > 0.05$ ),90 d时对照处理RCD值大于菌剂处理。

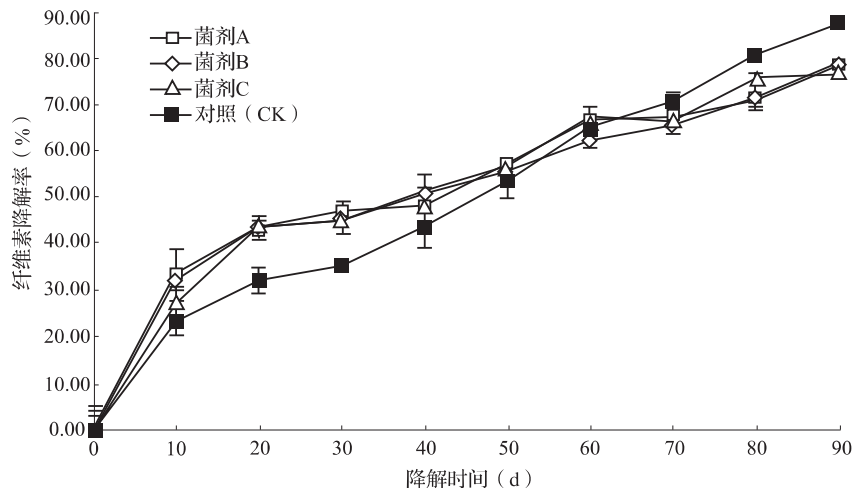


图3 盆栽条件下水稻秸秆纤维素降解率随时间的变化情况

相比盆栽试验,在田间条件下水稻秸秆纤维素降解时间更长,各处理在田间90 d秸秆纤维素降解水平相当于盆栽50 d,在田间降解180 d秸秆RCD值才达到盆栽80~90 d的水平,3种菌剂处理对田间秸秆纤维素降解的影响不同(图4)。(1)菌剂A处理秸秆在0~30 d纤维素降解较少,低于对照处理秸秆;在30~45 d,菌剂A处理秸秆RCD值增加到

34.6% (30 d) 和44.1% (45 d),分别比同期对照提高30.79%和75.55%;60~75 d菌剂A处理的秸秆RCD值继续增加至46.7%和53.2%,同期对照处理RCD值达到40.4%和45.9%,菌剂A和对照处理之间仍存在明显差异;90~180 d,秸秆RCD变化较为缓慢,菌剂A处理秸秆RCD略低于对照,但差异不显著。(2)菌剂B处理秸秆RCD值在15 d时略低

于对照处理, 但差异不大; 30~60 d, 菌剂 B 处理秸秆纤维素大幅降解, 30、45 和 60 d 样本 RCD 值分别为 34.1%、42.2% 和 50.1%, 分别比对照秸秆增加 28.84%、68.86% 和 24.10%, 菌剂 B 在 30~60 d 时促进秸秆纤维素降解作用比较突出; 75~180 d, 菌

剂 B 处理秸秆与对照之间 RCD 值都是缓慢增加, 两者之间差异不明显。(3) 菌剂 C 处理秸秆在 0~180 d 试验期内与对照秸秆 RCD 值变化基本一致, 菌剂 C 在大田条件下对水稻秸秆纤维素降解没有明显影响。

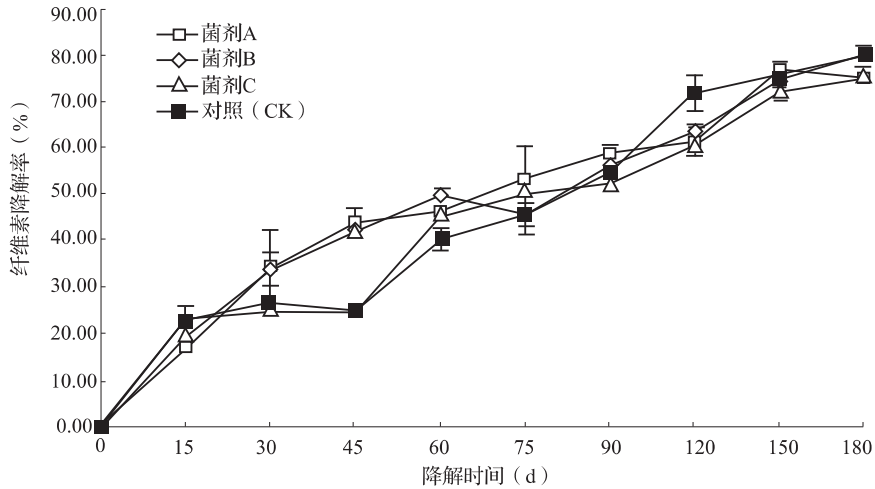


图 4 大田条件下水稻秸秆纤维素降解率随时间的变化情况

### 2.3 盆栽试验和大田试验条件下水稻秸秆半纤维素降解情形比较

半纤维素也是植物细胞壁的主要组分之一, 在秸秆的细胞壁结构中, 半纤维素紧紧缠绕在纤维素周围, 结成牢固的纤维结构<sup>[23]</sup>, 同时半纤维素在纤维结构中受到保护, 难以在短期内被破坏或降解。盆栽条件下秸秆半纤维素降解菌剂对水稻秸秆半纤维素降解的影响如图 5 所示。0~10 d, 菌剂 A、菌剂 B 和菌剂 C 处理 RHCD 值分别迅速达到 36.74%、35.50%、31.84%, 远远大于对照

处理; 10~30 d, 所有菌剂处理的 RHCD 略有增加但变化不大, 对照处理在 10~20 d RHCD 值由 19.65% 增加到 29.67%, 增幅明显, 20~30 d 变化不明显; 30~60 d, 菌剂处理 RHCD 值逐渐增加至 54.88%~57.97%, 在 70~90 d, 它们的 RHCD 值重新出现连续的增长, 增幅达 72.4%~74.81%。对照处理在 30~90 d 期间 RHCD 值一直处于连续增长的状态, 由于其增幅超过菌剂处理, 因此 60 d 后对照处理 RHCD 值反而高于菌剂处理。

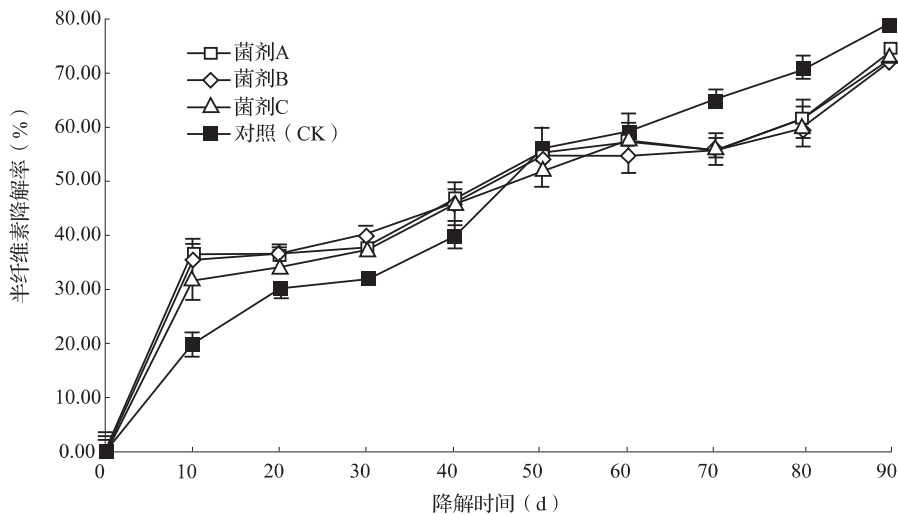


图 5 盆栽条件下水稻秸秆半纤维素降解率随时间的变化情况

大田条件下,施用菌剂对水稻秸秆半纤维素降解影响和盆栽试验的结果相差比较大(图6)。菌剂C处理秸秆RHCD值与对照秸秆没有明显差异,说明在田间菌剂C对水稻秸秆半纤维素降解影响不大;菌剂A处理秸秆除45 d RHCD值显著大于对照

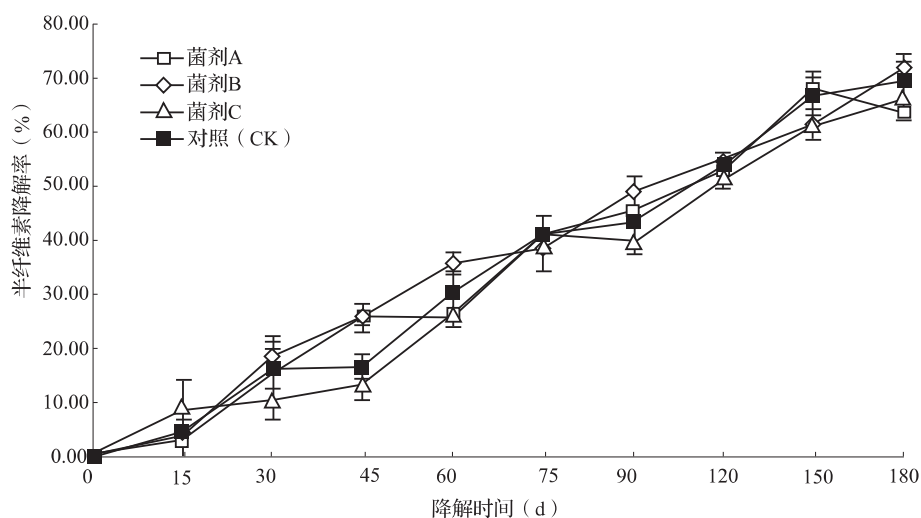


图6 大田条件下水稻秸秆半纤维素降解率随时间的变化情况

### 3 讨论

#### 3.1 水稻秸秆降解过程的阶段特性

秸秆主要结构组分中纤维素和木质素很难被土壤微生物利用<sup>[23-24]</sup>,是影响秸秆降解的“内因”;秸秆降解微生物的活性和数量是影响秸秆降解的“外因”,并且随土壤类型、温度、水分等环境因素变化而变化。在“内因”和“外因”综合影响下,秸秆降解往往表现出非线性、阶段变化的特点。本文经过两年盆栽试验和一年田间试验,对水稻秸秆在旱作土壤中降解进行定期跟踪取样比对分析,初步划分了水稻秸秆降解阶段,依据秸秆外观特点和失重率数据指标把水稻秸秆降解分为初期、前期、中期和后期4个阶段,并归纳出每个降解阶段特征以供探讨:

(1) 初期阶段: 秸秆外观颜色呈浅暗黄色,秆茎硬度及韧度与初始状态区别并不明显,但秸秆失重率、纤维素及半纤维素降解率达到20%左右。这个阶段时间长短受环境温度影响很大,例如盆栽条件温度保持在10~20℃之间,适于土壤微生物生长,初期阶段为0~10 d;田间试验中稻秆还田从12月份开始,最高气温一般10℃左右,最低气温在0℃左右,土壤微生物活性大大降低,初期阶段为0~45 d。

秸秆外,整体上与对照秸秆半纤维素变化一致;相比而言,菌剂B施用效果最明显,在45~60 d期间,菌剂B处理秸秆RHCD值分别比对照增加59.55%和19.81%,75~180 d菌剂B处理与对照之间秸秆半纤维素变化趋于一致。

(2) 前期阶段: 秸秆颜色呈浅褐色,秆茎较初期明显变软但仍有韧性,不易折断,秸秆失重率、纤维素及半纤维素降解率增加到30%以上。盆栽试验这个阶段为10~30 d;田间试验由于正值1~3月初低温天气,土壤微生物活性比较弱,前期阶段持续约一个半月,从45 d到90 d。

(3) 中期阶段: 秸秆颜色呈褐色,秆茎变薄变软,还有部分韧性,较易拉断,秸秆失重率达到60%左右,纤维素及半纤维素降解率增大到70%或80%以上。盆栽试验中期阶段大约是30~80 d;田间试验在3月中旬~5月中旬(降解90~150 d),此时最高气温回升至20℃左右,最低气温也在10℃左右,适宜土壤微生物生长,秸秆失重率、纤维素及半纤维素降解率在这个阶段延续到150 d。

(4) 后期阶段: 在这个阶段,秆茎壁非常薄,秸秆基本没有韧性,极易破碎,秸秆颜色为深褐色,秸秆失重率在60%以上,纤维素及半纤维素降解率在70%或80%以上,但降解速度较前面3个阶段缓慢得多,说明秸秆纤维素和半纤维素降解基本完成,秸秆在土壤中开始木质素向腐殖质漫长的演变进程。

#### 3.2 秸秆纤维素降解菌剂对秸秆降解影响阶段分析

已有研究指出,使用秸秆降解菌剂能够促进秸

秆的降解, 增加土壤微生物的数量<sup>[17-18 25]</sup>, 但菌剂对秸秆降解影响在哪个阶段体现, 影响效果如何评价并不清楚。秸秆降解菌从功能上可分为纤维素降解菌、半纤维素降解菌、木质素降解菌 3 大类, 在菌剂配置上既有单种类也有多种类菌种混合使用的, 综合秸秆田间降解需求和菌剂制备便利, 本文从纤维素降解菌出发, 以多种纤维素降解细菌组合制成 3 种秸秆纤维素降解菌剂, 通过盆栽试验和大田试验系统考察纤维素降解菌剂对旱作土壤水稻秸秆降解各阶段的影响。

盆栽试验中, 施用菌剂与不施菌剂的秸秆失重率、纤维素及半纤维素降解率曲线随降解时间的变化基本一致(图 1、3、5)。0~50 d 期间, 施用菌剂秸秆失重率、纤维素及半纤维素降解率均大于不施菌剂秸秆, 其中 10~20 d 时差值最大, 30 d 时它们之间差别仍然很明显, 说明菌剂对秸秆降解的促进作用主要体现在 10~30 d, 即降解过程的初期和前期阶段; 40 d 时施菌剂处理对秸秆降解的增效作用大大减弱, 50 d 以后施菌剂秸秆降解率反而低于不施菌剂秸秆, 但随着降解时间延长, 两者之间的差异不断缩小。产生这种现象的原因有两个, 一是菌剂中的纤维素降解菌能够在土壤中存活一定时间, 这时施菌剂秸秆上功能菌分布数量及活性都大大超出未施菌剂秸秆, 所以 10~20 d 期间施菌剂比不施菌剂秸秆失重率增加 30% 以上, 纤维素及半纤维素降解率分别增加 40% 和 60% 以上; 二是当外来施入菌活性减弱或消退后, 土著菌开始占据秸秆降解主导作用, 由于先前施入菌与土著菌之间竞争令双方消耗, 此时秸秆上功能菌分布数量及活性反不如未施菌秸秆, 因此对照秸秆降解率更高一些。随着时间流逝, 土壤微生物系统重新恢复平衡, 秸秆由降解转入腐殖化后, 不同处理之间的差异也就消失了。

大田试验中, 菌剂对秸秆降解效果与盆栽试验结果相差很大。盆栽试验时秸秆降解初期和前期阶段, 菌剂 A、菌剂 B 和菌剂 C 对秸秆降解促进作用不分伯仲, 效果都很明显; 大田试验刚开始的 90 d 内, 平均气温一直是 10℃ 以下, 土壤中微生物活性很弱, 秸秆在 90 d 时降解率勉强达到盆栽降解初期与前期水平, 尽管如此, 菌剂 A 和菌剂 B 在 0~45 d 时(秸秆降解初期阶段) 增效作用显著, 菌剂 B 的作用一直保持到 90 d 即秸秆降解前期阶段, 菌剂 C 在田间试验中没有观察到明显效果。大田试验结

果说明, 菌剂 B 大田应用效果最好, 施入菌在低温环境活性较强, 土壤存活期可能达到 90 d; 菌剂 A 有一定的应用效果, 施入菌低温环境仍保持一定活性, 土壤中存活期大约 45 d; 菌剂 C 中微生物在低温土壤中活性很弱, 在大田中秸秆降解情况与不施菌秸秆没有什么区别。90 d 后, 施用菌剂与不施菌剂秸秆降解率之间差异不再明显, 降解曲线的趋势也是渐行渐近的。

#### 4 结论

通过盆栽和大田试验对比和讨论, 本研究结论如下:

(1) 水稻秸秆在旱作土壤中降解过程依据秸秆降解率可以划分成初期、前期、中期和后期 4 个阶段, 在适宜温度下, 秸秆降解初期阶段为 0~10 d 左右, 秸秆降解率达到 20%; 前期阶段为 10~30 d, 秸秆降解率增加到 30% 以上; 中期阶段 30~80 d, 秸秆降解率可达到 70% 以上; 此后进入后期阶段。后期阶段秸秆纤维素和半纤维素降解比前 3 个阶段慢得多, 主要是秸秆木质素向腐殖质演变。

(2) 秸秆纤维素降解菌剂对秸秆降解促进作用主要在初期阶段, 作用效果受环境温度影响很大: 在温室盆栽(20℃) 条件下, 3 种菌剂处理秸秆的初期阶段降解需要 10 d, 而对照(CK) 需要 25 d 才能达到同样的降解率, 菌剂处理均比 CK 提前 15 d 左右; 大田低温(<10℃) 环境下, 菌剂 B 和菌剂 A 处理秸秆的初期阶段降解完成延长到 45 d, CK 是 60 d, 菌剂 C 的施用在大田试验没有明显效果。

经过对水稻秸秆在旱作土壤中降解过程的探索, 及微生物菌剂和环境温度对降解过程作用的解析, 笔者认为, 旱作土壤中水稻秸秆的还田对下茬作物是否有不利影响可能存在一个降解率的分界点, 也就是说, 当秸秆降解率小于分界点时土壤中秸秆影响下茬作物出苗生长, 当降解率大于分界点时则不影响。然而, 如何快速准确判断分界点? 还田秸秆干扰下茬作物正常生长关键因素究竟是什么? 诸多问题, 尚需今后持续研究工作的开展去寻求答案。

#### 参考文献:

- [1] 任萍, 王惠松, 屠娟丽, 等. 秸秆还田沃土实用技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2014. 54-56.
- [2] 刘翼浩, 高旺盛, 朱文珊. 秸秆还田的机理与技术模式 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001. 10-60.

- [3] 卢萍, 单玉华, 杨林章, 等. 秸秆还田对稻田土壤溶液中溶解性有机质的影响 [J]. 土壤学报, 2006, 43 (5): 736-741.
- [4] 毕于运, 王亚静, 高春雨. 我国秸秆焚烧的现状危害与禁烧管理对策 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37 (27): 1381-1384.
- [5] Wang J G, Bakken L R. Competition for nitrogen during decomposition of plant residues in soil: effect of spatial placement of N-rich and N-poor plant residues [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1997, 29 (2): 153-162.
- [6] 江永红, 宇振荣, 马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响 [J]. 土壤通报, 2001, 32 (5): 209-213.
- [7] 刘微, 张津, 李博文, 等. 不同微生物菌剂对番茄秸秆好氧堆肥中氮磷钾元素的转化规律的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2014, (3): 88-92.
- [8] Gaddea B, Bonnetta S, Menkeb C, et al. Air pollutant emissions from rice straw open field burning in India [J]. Thailand and the Philippines, 2009, 157 (5): 1554-1558.
- [9] 张媛媛, 李建林, 王春宏, 等. 氮素和生物腐解剂调控下稻草还田对水稻氮素积累及产量的影响 [J]. 土壤通报, 2012, 43 (2): 435-438.
- [10] 张庆华, 赵新海, 李莉, 等. 秸秆降解菌的筛选及模拟田间应用效果分析 [J]. 微生物学杂志, 2010, 30 (4): 101-104.
- [11] 胡立峰, 檀海斌, 董福双, 等. 不同耕作栽培环境对秸秆腐解剂腐解效果的影响 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36 (20): 8796-8797.
- [12] 赵明文, 史玉英, 李玉祥, 等. 纤维分解菌群对水稻秸秆田间腐熟效果的研究 [J]. 江苏农业科学, 2000, (1): 51-53.
- [13] 姜佰文, 王春宏, 李建林, 等. 秸秆常温快速腐熟生物菌剂的筛选 [J]. 东北农业大学学报, 2009, 40 (5): 46-49.
- [14] Li P P, Wang X J, Yuan X F, et al. Screening of a composite microbial system and its characteristics of wheat straw degradation [J]. Agricultural Sciences in China, 2011, 10 (10): 1586-1594.
- [15] 殷中伟, 范丙全, 任萍. 纤维素降解真菌 Y5 的筛选及其对小麦秸秆降解效果 [J]. 环境科学, 2011, 32 (1): 247-252.
- [16] 黄茜, 黄凤洪, 江木兰, 等. 木质素降解菌的筛选及混合菌发酵降解秸秆的研究 [J]. 中国生物工程杂志, 2008, 28 (2): 66-70.
- [17] 李培培, 张冬冬, 王小娟, 等. 促分解菌剂对还田玉米秸秆的分解效果及土壤微生物的影响 [J]. 生态学报, 2012, 32 (9): 2847-2854.
- [18] 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.
- [19] 刘海静. 小麦秸秆高效降解菌的筛选及应用效果研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [20] 史央, 蒋爱芹, 戴传超, 等. 秸秆降解的微生物学机理研究及应用进展 [J]. 微生物学杂志, 2002, (1): 47-51.
- [21] 高洁. 纤维素科学 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [22] Bayer E A, Lamed R. The cellulose paradox: pollutant par excellence and/or a reclaimable natural resource [J]. Biodegradation, 1992, 3 (2-3): 171-188.
- [23] 许凤, 钟新春, 孙润仓, 等. 秸秆中半纤维素的结构及分离新方法综述 [J]. 林产化学与工业, 2005, 25 (z1): 179-182.
- [24] 制浆造纸手册编写组. 制浆造纸手册第一分册纤维原料和化工原料 [M]. 北京: 轻工业出版社, 1987.
- [25] 吴翔, 甘炳成, 刘本洪. 不同载体催腐剂应用于秸秆还田的微生物区系效果研究 [J]. 西南农业学报, 2010, 23 (1): 287-289.

### Decomposition process of rice straw in upland soil and effects of stalk-degradable microbial preparation

SONG Fang-fang<sup>1,2</sup>, REN Ping<sup>2\*</sup>, XU Jian-liang<sup>3</sup>, WANG Hui-song<sup>4</sup>, LIN Tong-bao<sup>1\*</sup> (1. Collaborative Innovation Center of Henan Grain Crops, Henan Agricultural University, Zhengzhou Henan 450002; 2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100081; 3. Seed Administration Station, Jiashan district, Jiaxing Zhejiang 314000; 4. Environmental Monitoring Station, Jiaxing Zhejiang 314000)

**Abstract:** In order to study the decomposition process of rice straw in upland soil and the effect of three stalk-degradable microbial preparations, two pot experiments and one field trial were conducted by measuring ratio of straw weight loss (RW), straw cellulose degradation (RCD) and hemi-cellulose degradation (RHCD). The tested microbial preparations were SD-A, SD-B and SD-C. It was showed that decomposition process of rice straw in upland soil could be regarded as four stages: initial stage, early degradation stage, middle degradation stage and late degradation stage according to RW. Stalk-degradable microbial preparation could significantly promote straw degradation rate in initial stage, and environmental temperature had great impact on straw degradation particularly to that with inoculating microbes. In the initial stage, it took 10 days in green house under 20°C with three stalk-degradable microbial preparations applied, which was 15 days earlier than CK treatment. For the field test below 10°C, SD-B and SD-A treatments took 45 days in the initial stage, while CK treatment spent 60 days. Compared with SD-B and SD-A, SD-C showed no effect on rice straw decomposition in this field test.

**Key words:** rice straw; decomposition process in upland soil; stalk-degradable microbial preparation; application effect