

还田秸秆及其腐解产物的吸水能力研究

李继福^{1,2}, 胡敏¹, 鲁剑巍¹

(1. 华中农业大学 资源与环境学院, 湖北 武汉 430070; 2. 长江大学 农学院, 湖北 荆州 434025)

摘要: [目的] 研究水稻、小麦和油菜作物秸秆的腐解规律及其对秸秆吸水能力的影响, 为农田秸秆资源有效利用和田间水分管理提供相应的理论依据。[方法] 采用尼龙网袋法进行试验研究。[结果] 在土壤水分饱和状态下, 3种秸秆腐解速率均表现为前期快, 后期缓慢的特点。培养结束(110 d)时, 水稻、小麦和油菜秸秆的累积腐解率分别为 67.8%, 55.5% 和 49.2%。光学显微镜结合红外光谱结果显示, 与对照相比, 水稻秸秆经过 110 d 的腐解, 其物质组成、化学结构和形貌特征均发生显著变化, 小麦和油菜秸秆变化不明显。腐解 0 d 时, 水稻、小麦和油菜秸秆饱和吸水量依次分别为 3.87, 2.51, 3.61 g/g。随着秸秆组分、结构和形貌的变化, 秸秆及其腐解产物饱和吸水量也有显著性差异。水稻秸秆在腐解 15 d 时的饱和吸水量最大, 为 5.17 g/g, 之后其饱和吸水量逐渐下降并趋于稳定; 小麦和油菜秸秆的饱和吸水量在腐解 5 d 时达到最低值, 分别为 1.87, 2.59 g/g; 之后其饱和吸水量逐渐增加。单位秸秆的吸水效果表明, 3种作物秸秆在腐解初期的持水量最大, 之后随着腐解时期的延长而有所降低。[结论] 还田作物秸秆的吸水能力受到还田秸秆质量和腐解时期的双重影响, 故在开展秸秆还田(尤其翻压)时, 应注意秸秆含水量, 还田时期和田间水分管理, 降低由秸秆吸水产生的负面效应。

关键词: 还田秸秆; 腐解产物; 吸水能力

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)05-0085-06

中图分类号: S141.4, S152.7

文献参数: 李继福, 胡敏, 鲁剑巍. 还田秸秆及其腐解产物的吸水能力研究[J]. 水土保持通报, 2016, 36(5): 085-090. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.05.022

Water Absorption Capacity of Straw Returns and Its Decomposing Matters

LI Jifu^{1,2}, HU Min¹, LU Jianwei¹

(1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China; 2. Agricultural College, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025, China)

Abstract: [Objective] The objective of this study is to study the relationships between straw decomposition period and water absorption capacity of rice, wheat and rape straw in order to provide the theoretical basis for effective utilization of straw resources and field water management. [Methods] The method of nylon net bag under moisture saturation incubation was used. [Results] The decomposition rate of three crop straws was much faster at the early period than the following periods. The cumulative decomposing rates were 67.8%, 55.5% and 49.2% for rice, wheat and rape straw after 110 days, respectively. The light microscopy and infrared radiation (IR) analysis indicated that the composition, chemical structure and morphology of rice straws changed greatly compared to control treatment after 110 days incubation. The results of water absorption capacity showed that the saturated water of dried rice, wheat and rape straw were 3.87, 2.51 and 3.61 g/g, respectively. After 15 days incubation, the saturation water absorption of rice straw reached to the largest value of 5.17 g/g, then gradually decreased and tended to be stable. While the saturated water absorption of wheat and rape straw reached to the lowest, which were 1.87 and 2.59 g/g, respectively, after a 5 days incubation, and then increased gradually. The results of water absorption effects showed that the crop straw had the largest water retention capacity in the early decomposition period, and the water retention

收稿日期: 2016-01-13

修回日期: 2016-02-02

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项“三熟区耕地培肥与合理轮作制”(201503123), “钾肥高效利用与替代技术研究”(201203013); 人才引进启动基金(801180010140)和长江大学大学生科技创新项目(nxy1529)

第一作者: 李继福(1987—), 男(汉族), 河南省新乡市人, 博士, 讲师, 主要从事土壤肥力方面的研究。E-mail: jifuli@yangtzeu.edu.cn。

通讯作者: 鲁剑巍(1967—), 男(汉族), 湖北省武穴市人, 博士, 教授, 主要从事作物养分管理与土壤肥力方面的研究。E-mail: lunm@mail.hzau.edu.cn。

capacity decreased with the extension of the decomposing process. In brief, the water retention capacity of crop straw was influenced by both decomposition period and straw quality. [Conclusion] In the implement of straw returning to field, especially for straw incorporation, we should pay more attention to straw water content, returning period and field moisture, to reduce the negative effect caused by straw water absorption.

Keywords: straw returns; decomposing matter; water retention capacity

农作物秸秆是农业生产过程中的主要副产物,也是一种重要的可再生有机质资源^[1-2]。中国的秸秆资源总量约为 8.10×10^8 t/a,以水稻、小麦、玉米、油菜和大豆秸秆为主^[2]。基于中国经济社会的发展现状以及人们生产、生活所需能源结构的变化,秸秆直接还田已然成为农作物秸秆综合利用的最主要途径^[3],这不仅可避免资源浪费和环境污染^[4],且有利于增加土壤有机质和矿质养分含量,起到改善土壤结构、培肥地力和增产的积极效果^[5-7]。此外,农作物秸秆富含纤维素、半纤维素和木质素等有机成分^[8],是一种良好的天然吸附剂材料,在污水处理、缓控释肥制备和重金属吸附等方面具有较好的应用前景^[9-11]。

还田秸秆在土壤微生物等的综合作用下发生缓慢而复杂的降解过程,形成腐殖质^[12-13]。研究表明小麦和玉米秸秆经过 2 a 的田间翻埋,其腐解产物在物理结构和化学组成上发生明显变化^[14]。同时,Iqbal 等^[15]发现秸秆结构和翻压时间会影响到秸秆对水分的吸持能力。在农业生产过程中,秸秆还田多采用覆盖或者翻压的方式,起到保墒、增温的效果^[16-17]。但是,秸秆自身具有较强的吸水能力^[15],往往被研究者忽视或者不被重视。Sissoko 等^[18]研究表明秸秆还田时,田间持水量过大会造成土壤含水量过多、排水不畅,导致棉花减产。若土壤水分不足,尤其在秸秆翻埋下,可能会出现局部干旱、存在秸秆与作物竞争土壤水分的情景。苏伟^[16]的研究证实了秸秆还田能否增加早作油菜产量以及形成积极效果受到生育期内降雨强度、降雨持续期的直接影响。因此,有效评估作物生长期中秸秆及其腐解产物的吸水能力,有助于我们及时解决因秸秆还田所产生的负面作用。基于此,本试验采用尼龙网袋法,以主要农作物(水稻、小麦和油菜)的秸秆为材料,研究秸秆腐解过程秸秆腐解产物结构、组成及其吸水效果动态变化,以期为农田秸秆资源有效利用和田间水分管理提供相应的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤采自湖北省赤壁市,为 2012 年油菜收获后耕层(0—20 cm)土壤,长江冲积物发育而成的水稻土,其基本理化性质为:pH 值 5.73,有机质 26.7

g/kg,全氮 1.09 g/kg,速效磷 19.4 mg/kg,速效钾 107.8 mg/kg^[3]。2012 年作物收获后分别采集当地的早稻、冬小麦和冬油菜秸秆,于阴凉处风干,剪成 2~3 cm 小段,储存备用。

1.2 试验设计

1.2.1 秸秆腐解试验 试验于 2012 年 7 月在华中农业大学资源与环境学院盆栽场进行,培养容器采用长、宽、高分别为 50,30 和 25 cm 的塑料盆,每盆装土 15 kg。试验设 3 个处理,分别为水稻、小麦和油菜秸秆,各处理均 3 次重复。试验开始前将供试秸秆在 40 °C 下烘焙 3 h,称取 3 种秸秆各 10 g,分别装入 200 目的尼龙网袋内(网袋大小为长 25 cm,宽 20 cm),封口^[14]。将网袋竖直插入塑料盆土样中,并用土掩埋,每盆埋网袋 5 个,加水 20 kg,使水完全淹没土样与网袋。分别于培养第 5,15,30,60,110 d 取样,每次各种秸秆取 3 个网袋,共 5 次 15 袋。培养过程中每隔 2~3 d 向盆中加水,始终保持盆内土壤处于水分饱和和状态,确保环境条件的一致性。

取样时随机从每盆选取一个网袋,先用自来水冲净网袋上粘附的泥浆,再用蒸馏水冲洗 3 次,60 °C 下烘干至恒重,称重,计算腐解率。

累积腐解量(g)=0 d 的干物质总量 $W - n$ d 的干物质剩余量

(1)

累积腐解率(%)=(累积腐解量/0 d 的干物质总量)×100%

(2)

式中: W ——干物质总量(g)均为烘干重; n ——翻压天数(d)。

采用光学显微镜(Olympus BX51)观察不同腐解时期秸秆的形貌结构和物质组成。另外,取腐解 0 和 110 d 的秸秆样品,用傅里叶变换红外光谱仪(Nexus, Thermo Nicolet USA)测定秸秆腐解前后的结构变化。

1.2.2 秸秆吸附水分试验 不同腐解期秸秆饱和吸水量测定^[15]:称取 0.50 g 烘干的秸秆腐解物样品,放置于 50 ml 烧杯中,加入 40 ml 去离子水,搅拌均匀,静置 300 min,用吸水纸沾其表面,至无重力水渗出为止,然后将材料放在电子天平上称重,计算吸水能力。用同样的方法测定未经处理的风干秸秆饱和吸水量。

$M = (M_t - M_0) / M_0$

(3)

式中: M ——秸秆饱和吸水量(g/g); M_t, M_0 ——吸

水后和吸水前秸秆的质量(g)。

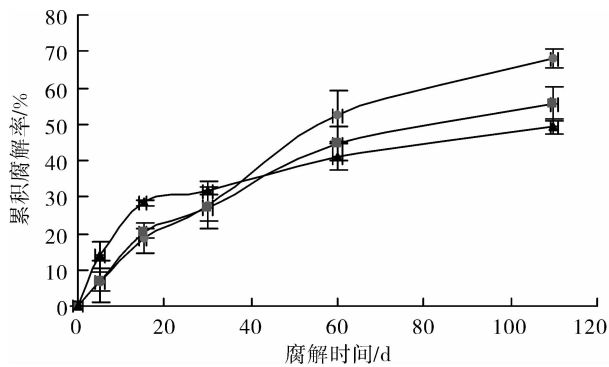
单位秸秆吸水能力

$$R = D_i \times M_{ci} \times 1/100 \quad (4)$$

式中: D_i ——腐解第 i d 时剩余秸秆百分比(%);
 M_{ci} ——腐解 i d 时秸秆饱和吸水量(g/g); 1——单位秸秆量; 100——换算系数。

1.3 数据处理

试验数据采用 MS Excel 2010 和 OriginPro 8.0 计算和处理, LSD 法检验 $p < 0.05$ 水平上的差异显著性。



2 结果与分析

2.1 作物秸秆腐解特征

淹水条件下, 3 种秸秆腐解特征均表现为前期快、后期慢(图 1), 且作物秸秆之间的腐解速率存在一定的时间差异。

经过 110 d 的培养, 水稻、小麦和油菜秸秆剩余量分别为 3.22, 4.45 和 5.08 g, 累积腐解率分别为 67.8%, 55.5% 和 49.2%。

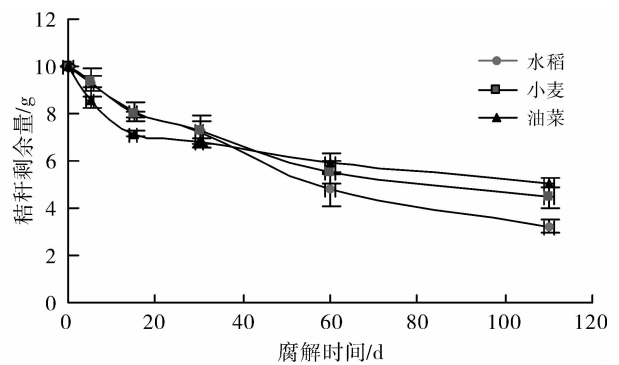


图 1 不同作物秸秆腐解特征

2.2 作物秸秆腐解过程中形貌和组成变化

水稻、小麦和油菜秸秆在腐解过程中其组成和形貌均发生显著变化(图 2)。0—15 d 时, 水稻叶片、小麦叶片和颖壳及油菜的角壳最先降解, 而各作物的茎秆和叶鞘未

发生明显的腐解现象。15—60 d 时, 油菜角壳大部分发生降解, 而茎秆只有部分腐解; 水稻和小麦的各部位腐解加快。60 d 后, 小麦的叶片和颖壳、水稻的叶片以及油菜的角壳全部降解, 剩下较难腐解的茎秆和叶鞘部位。

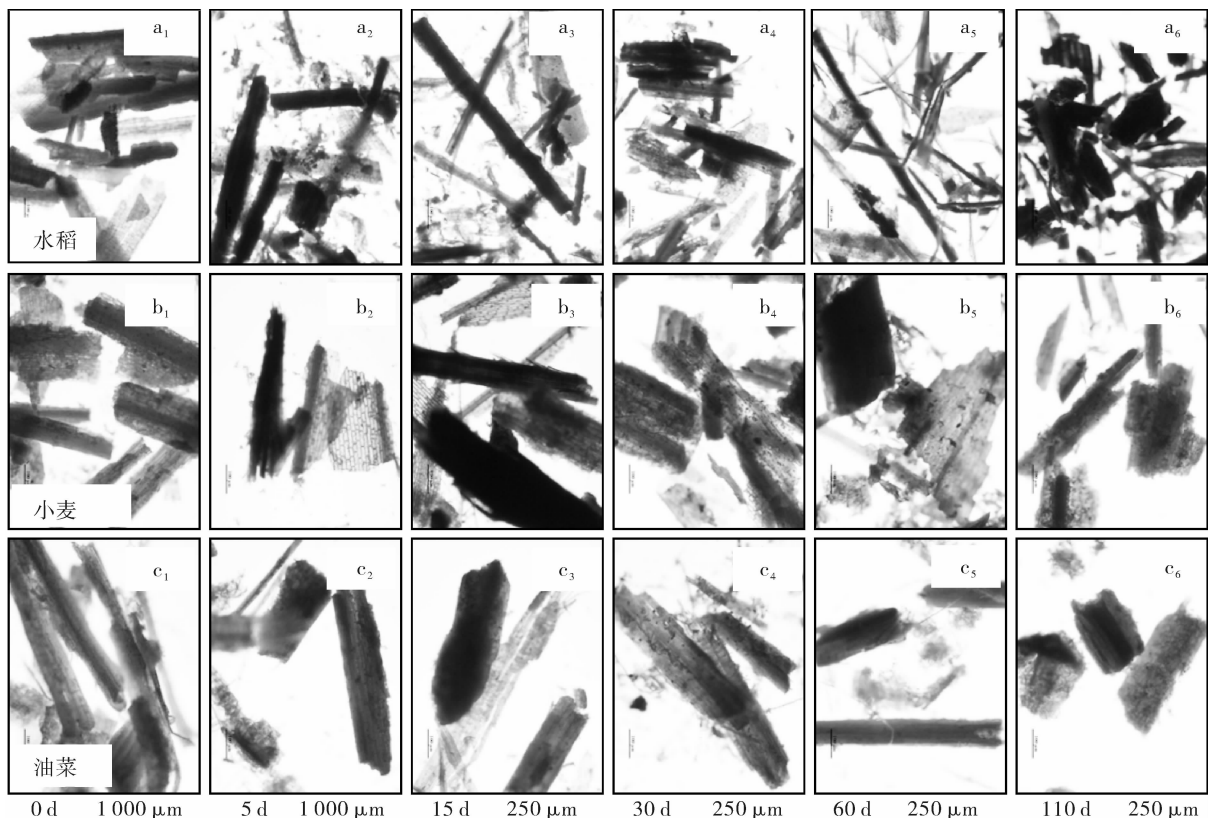


图 2 作物秸秆不同腐解时期的表面形貌特征

同时,从图 2 中也可看出,经过长时间的生物降解,各作物的茎秆部位由厚变薄(厚度与透光率成反比),组织结构也变得疏松。

2.3 作物秸秆腐解前后结构变化

水稻、小麦和油菜秸秆腐解前后的红外光谱(图 3)结果显示,水稻秸秆经过 110 d 的腐解化学组成发生了明显变化。

与腐解前相比,腐解后 110 d 的水稻秸秆腐解物在 3 698, 3 619, 779 cm^{-1} 位置出现新波谷;在 2 851, 1 160, 916, 798 cm^{-1} 位置峰值均有不同程度的加强,表明稻草中的 C-H 和 C-O 官能团含量增加。小麦秸秆经过 110 d 腐解后波数在 2 925, 1 654, 1 509, 798 cm^{-1} 位置峰值均有不同程度的加强,在 1 597 出现新波峰,而 1 735 cm^{-1} 峰值则相对减弱,表明 C-O 相对减少。油菜秸秆腐解前后红外光谱变化不明显,仅 2 923, 1 507, 799 cm^{-1} 位置的峰值有所增强,木质素含量增加。

2.4 不同腐解时期的秸秆吸水特征

风干作物秸秆吸水动力学研究表明(图 4),在 23 $^{\circ}\text{C}$ 下浸泡 5 min 时,水稻、小麦和油菜秸秆吸水量分别可达 2.51, 1.80 和 2.69 g/g 。5~90 min 吸水速率仍然较快,平均分别为 0.015, 0.008 和 0.006 $\text{g}/(\text{g}\cdot\text{min})$,而 90~150 min 则相对缓慢,150 min 后基本达到饱和状态。水稻、小麦和油菜秸秆的饱和吸

水量分别为 3.87, 2.51 和 3.61 g/g 。但是,在腐解过程中,秸秆腐解物的饱和吸水量存在一定差异(图 4)。水稻秸秆腐解 15 d 时,其饱和吸水量最大,为 5.17 g/g ,之后随着腐解天数的延长逐渐下降。培养 110 d 试验结束时,水稻腐解物的饱和吸水量降至最低,为 3.00 g/g 。小麦和油菜秸秆的饱和吸水量在第 5 d 达到最低值,之后两者的饱和吸水量逐渐增加,至 110 d 试验结束时,小麦和油菜秸秆腐解物的饱和吸水量分别可达 3.15 和 4.29 g/g 。

2.5 作物秸秆不同腐解时期吸水效果

由单位秸秆投入后不同腐解时期的吸水效果趋势(图 5)可知,3 种秸秆的吸水能力差异较大。腐解当天,投入 1 单位秸秆,水稻、小麦和油菜秸秆的饱和吸水量可以达到自身重量的 3.97, 2.46, 3.36 倍。水稻秸秆在腐解 0~15 d 吸水量缓慢增加,最高为自重的 4.18 倍,比初始吸水量提高 5.3%;之后随着秸秆降解,其吸水量快速下降。腐解 110 d 时,单位稻草的吸水量为 0.97,仅为初始饱和吸水量的 24.4%。小麦和油菜秸秆在 0~5 d 内,吸水量显著降低,5 d 时,两者的吸水量分别为自重的 1.74, 2.22 倍,占初始吸水量的 70.7% 和 66.1%。腐解 5~110 d 内,小麦和油菜秸秆的吸水量变化不明显,如油菜秸秆腐解产物的平均吸水量为初始值的 63%。

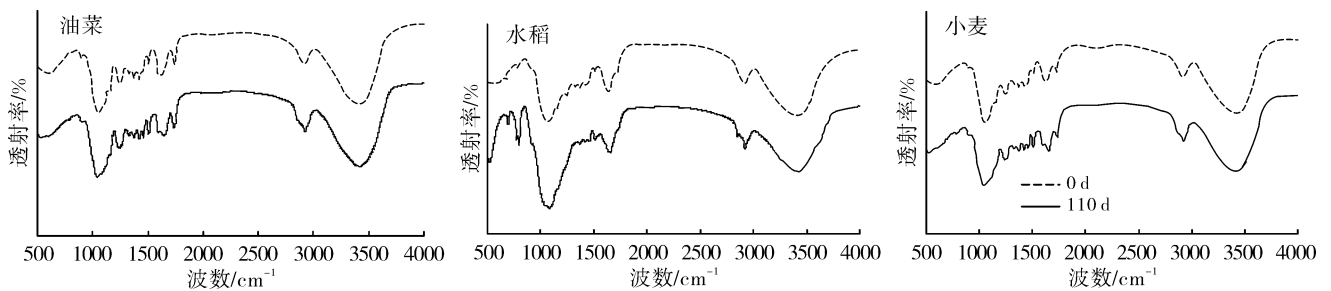


图 3 不同作物秸秆腐解 0 d 和 110 d 红外光谱特征

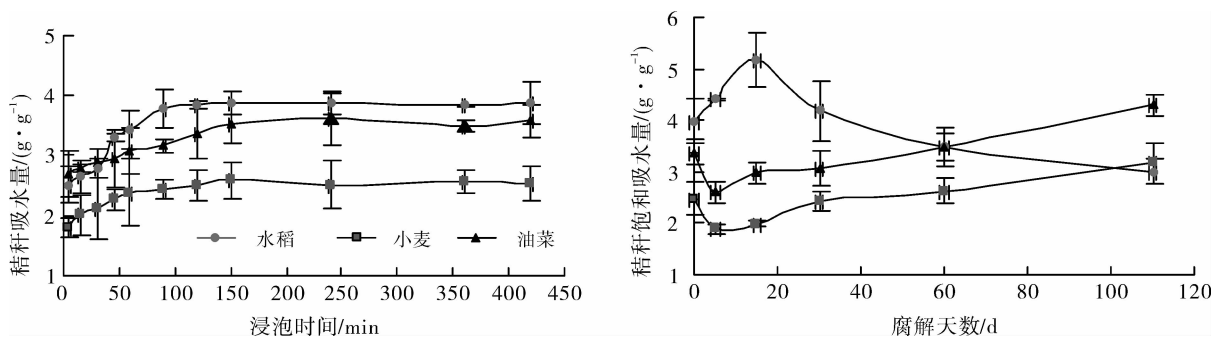


图 4 不同腐解时期作物秸秆饱和和吸水量变化

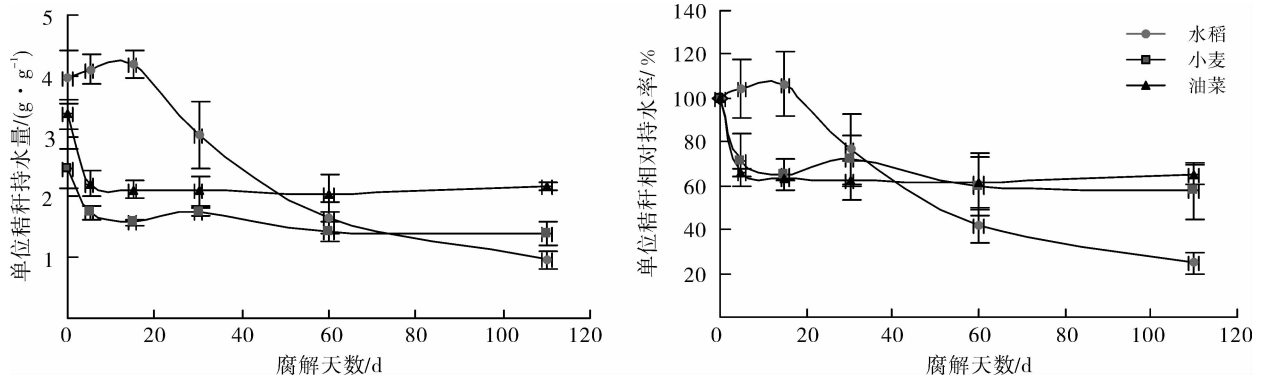


图5 单位秸秆在不同腐解时期的吸水能力

3 讨论

研究结果可知,在整个培养期,农作物秸秆均保持着较高的吸水量,且在不同的腐解时期,秸秆腐解产物的吸水效果也存在显著性差异。这种差异性变化除了与秸秆自身质量、结构和组分有关外,还受到还田方式、年限和土壤环境的综合影响^[14,19-21],其中秸秆种类和气候条件对还田秸秆的腐解程度影响最大^[14-15]。

作物秸秆质量、表面形貌及组成成分的变化,导致秸秆残体的孔隙度和亲水性能不同,进而影响到秸秆的吸水能力^[22]。腐解0 d时,水稻、小麦和油菜秸秆的饱和吸水量分别为3.87,2.51和3.61 g/g,经过110 d的腐解后,3种作物秸秆的腐解特征和饱和吸水量均发生明显变化。从各个时期的腐解速率来看,水稻和小麦的快速腐解期在还田后的30 d内,腐解速率平均为0.13 g/d;而油菜秸秆的快速腐解阶段是在还田后的15 d内,达0.19 g/d,30 d后各作物秸秆的腐解速率有所减缓。这是因为在相同的气候环境下,秸秆的物质组成和空间构造决定其腐解速率^[14]。油菜茎秆外表面有很厚的角质层、中腔被易腐解的髓填充^[1],在培养的0~15 d油菜秸秆腔内的髓迅速腐解;小麦颖壳也在腐解15 d内快速腐解,但水稻和小麦的茎秆外表面被蜡质层覆盖^[21],分解速率明显低于油菜茎秆的髓质部分。这些最易亲水的腐解物质下降直接导致腐解前期油菜、小麦秸秆饱和吸水量和单位秸秆吸水量的减少。

腐解后期,随着易分解物质如脂肪、蛋白质和简单糖类物质的减少,纤维素和木质素比例提高,导致秸秆腐解速率降低。例如,水稻秸秆中纤维素的红外波谱特征吸收峰为3 412,2 900,1 425,1 370,895 cm^[23],半纤维素的特征波峰为1 732 cm^[23],木质素的特征吸收峰为1 595,1 516 cm。由图3可知,这些峰值在腐解完后没有明显的变化;相反,易分解物质

如脂类、果胶、淀粉、初级碳水化合物等在腐解周期内基本降解完全,只有少量的纤维素和半纤维素被微生物分解,而木质素与大部分的纤维素、半纤维素则需要更长的时间被降解^[14]。同样,小麦和油菜腐解前后红外光谱特征吸收峰^[23-25]变化规律与水稻秸秆类似。此时,水稻秸秆硬度降低,韧性增强,所占空间体积显著减少,使得自身吸附水分能力减弱;而小麦和油菜秸秆在整个培养期均保持较高的硬度值^[21],所占空间变化并未发生大的变化,但其表面腐解形成的诸多孔隙增加了自身对周围水分的吸附。

培养试验结束时(110 d),虽然水稻秸秆腐解产物的吸水量降至初始值的24%,但仍然达到自身重量的1倍;油菜和小麦秸秆腐解产物的吸水量也依然约占初始量的60%,即秸秆腐解产物在整个培养时期均保持着吸水状态。对于中国北部的干旱和半干旱地区,土壤水分是农业生产的最大限制因素,也是秸秆还田必须要考虑的环节。黄毅等研究表明玉米秸秆深度还田(35—40 cm)2 a后,秸秆仍处于吸水状态,土壤水分运动也始终处于非饱和状态^[26]。而对于中国南部稻—油、稻—棉和稻—麦轮作地区,冬季和春季降雨比较频繁,田间容易积水,对秸秆还田的效果影响也最大^[3,16]。因此,在旱作采取秸秆还田时应关注田间水分状况,秸秆还田时可以有针对性的采取不同方式,如:① 土壤水分亏缺时,趁秸秆尚未风干翻压,增加秸秆自身水分含量,避免吸收土壤水分或在秸秆还田初期充分利用田间水分或者降雨,待秸秆腐解15 d后再进行作物播种或秧苗移栽,避免作物生长与秸秆竞争水分而引起缺水胁迫;② 土壤水分多时,将含水量少的秸秆翻入土壤,可以吸收多余的土壤水分,避免产生渍水。

4 结论

(1) 还田秸秆腐解均表现出前期快,后期缓的特征,尤其在0~15 d,油菜秸秆的腐解速率明显快于水

稻和小麦秸秆。

(2) 腐解时期显著影响秸秆的吸水能力,水稻秸秆在腐解 15 d 时的饱和吸水量最大,为 5.17 g/g,之后逐渐降低;小麦和油菜秸秆的饱和吸水量在 5 d 时达到最低值,之后逐渐增加并趋于平稳。

(3) 开展秸秆还田(尤其翻压)时,应注意秸秆含水量、还田时期和田间水分管理,降低由秸秆吸水产生的负面效应。

[参 考 文 献]

- [1] 戴志刚,鲁剑巍,李小坤,等. 不同作物还田秸秆的养分释放特征试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 272-276.
- [2] 李树田,金继运. 中国不同区域农田养分输入、输出与平衡[J]. 中国农业科学, 2011, 44(20): 4207-4229.
- [3] 李继福. 秸秆还田供钾效果与调控土壤供钾的机制研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2015.
- [4] 曹国良,张小曳,王亚强,等. 中国区域农田秸秆露天焚烧排放量的估算[J]. 科学通报, 2007, 52(15): 1826-1831.
- [5] Singh B, Shan Y H, Johnson-Beebout S E, et al. Crop residue management for lowland rice-based cropping systems in Asia[J]. *Advances in Agronomy*, 2008(98): 117-199.
- [6] Liao Yulin, Zheng Shengxian, Xie Jian, et al. Long-term effect of fertilizer and rice straw on mineral composition and potassium adsorption in a reddish paddy soil[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2013, 12(4): 694-710.
- [7] 张丽,张中东,郭正宇,等. 深松耕作和秸秆还田对农田土壤物理特性的影响[J]. 水土保持通报, 2015, 35(1): 102-106.
- [8] 牛文娟. 主要农作物秸秆组成成分和能源利用潜力[D]. 北京:中国农业大学, 2015.
- [9] Tong Xuejiao, Li Junyu, Yuan Jinhua, et al. Adsorption of Cu(II) by biochars generated from three crop straws[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2011, 172(2): 828-834.
- [10] Ding Yang, Jing Debing, Gong Huili, et al. Biosorption of aquatic cadmium(II) by unmodified rice straw[J]. *Bioresource Technology*, 2012(114): 20-25.
- [11] 覃莉莉,万涛,熊磊,等. 改性玉米秸秆复合高吸水树脂的尿素吸收及缓释性能[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 188-193.
- [12] Zhu Jianxiao, Yang Wanqin, He Xinhua. Temporal dynamics of abiotic and biotic factors on leaf litter of three plant species in relation to decomposition rate along a subalpine elevation gradient[J]. *PLoS One*, 2013, 8(4): e62073.
- [13] 吴景贵,王明辉,万忠梅,等. 玉米秸秆腐解过程中形成胡敏酸的组成和结构研究[J]. 土壤学报, 2006, 43(3): 443-451.
- [14] Wang Xiaoyue, Sun Bo, Mao Jingdong, et al. Structural convergence of maize and wheat straw during two-year decomposition under different climate conditions[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012(46): 7159-7165.
- [15] Iqbal A, Beaugrand J, Garnier P, et al. Tissue density determines the water storage characteristics of crop residues[J]. *Plant and Soil*, 2013, 367(1/2): 285-299.
- [16] 苏伟. 稻草还田对油菜生长、土壤肥力的综合效应及其机制研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2014.
- [17] 白巴特,郑和祥,任杰,等. 寒旱灌区冻融期小麦不同覆盖条件土壤温度变化[J]. 水土保持研究, 2015, 22(6): 134-137.
- [18] Sissoko F, Affholder F, Autray P, et al. Wet years and farmers' practices may offset the benefits of residue retention on runoff and yield in cotton fields in the Sudan-Sahelian zone[J]. *Agricultural water management*, 2013(119): 89-99.
- [19] Hu Yihui, Chen Lingzhi, Chen Qinglang. Studies on the litter decomposition rates of several plants[J]. *Journal of Plant Ecology*, 1987, 11(2): 124-131.
- [20] Thomas M B, Spurway M I, Stewart D P C. A review of factors influencing organic matter decomposition and nitrogen immobilisation in container media[C]. *The International Plant Propagators' Society*, 1999(48): 66-71.
- [21] 李逢雨,孙锡发,冯文强,等. 麦秆、油菜秆还田腐解速率及养分释放规律研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 374-380.
- [22] Zou Peng, Xiong Hanguo, Tang Shangwen. Natural weathering of rape straw flour(RSF)/HDPE and nano-SiO₂/RSF/HDPE composites[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2008, 73(3): 378-383.
- [23] Cao Wei, Dang Zhi, Yi Xiaoyun, et al. Removal of Chromium(VI) from electroplating wastewater using an anion exchanger derived from rice straw[J]. *Environmental Technology*, 2013, 34(1): 7-14.
- [24] Chen X, Yu J, Zhang Z, et al. Study on structure and thermal stability properties of cellulose fibers from rice straw[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2011, 85(1): 245-250.
- [25] Wang X, Xia L, Tan K, et al. Studies on adsorption of Uranium(VI) from aqueous solution by wheat straw[J]. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 2012, 31(4): 566-576.
- [26] 许晓鸿,任丽,崔斌,等. 暗棕壤坡耕地水保耕作保水保土效益分析[J]. 水土保持通报, 2014, 34(1): 54-57.