

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.09.030

不同处理方式的作物秸秆田间腐解特性研究

曹莹菲^{1,2} 张红^{1,2} 刘克¹ 吕家珑^{1,2}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100;

2. 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨凌 712100)

摘要: 采用尼龙网袋法, 结合热重分析, 研究玉米和大豆秸秆在3种试验地(葡萄园、桃园、农田)腐解过程中的腐解率和组分变化, 为秸秆还田措施提供理论依据。结果表明, 腐解前期0~20 d作物秸秆腐解20%以上, 20~120 d腐解率无明显变化, 120 d后继续腐解至60%~70%, 大豆秸秆前期较玉米秸秆腐解快。热重分析得出, 玉米秸秆在腐解期间(20~45 d)会产生TG曲线上200~300℃阶段的失重(20%~30%), 腐解后期, 大豆秸秆在300~400℃的失重百分比高于玉米秸秆, TG-DTG曲线在600~700℃阶段的失重量到腐解末期(300 d)均为6%左右, 随着腐解的进行, 固定碳和灰分百分比上升至40%。作物秸秆的腐解率、组分百分比在不同处理间(新鲜与干燥处理、大豆秸秆与玉米秸秆处理、加氮与未加氮处理)差异显著($P < 0.05$), 在3个试验地之间则无明显差异($P > 0.05$), 腐解率、固定碳与土壤温度和降水量都呈极显著正相关, 挥发分与土壤温度、降水量呈显著负相关($P < 0.05$)。玉米和大豆秸秆还田有增加土壤碳含量的作用, 作物秸秆种类、碳氮比、干湿程度以及土壤温度、降水条件都会影响作物秸秆在土壤中的腐解率和组分变化。

关键词: 秸秆腐解; 热重分析; 腐解率

中图分类号: S15 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)09-0212-08

Decomposition Characteristics of Crop Residues among Different Agricultural Treatments

Cao Yingfei^{1,2} Zhang Hong^{1,2} Liu Ke¹ Lü Jialong^{1,2}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: This study was about crop decomposition characteristic changes of corn and bean residues (with different water conditions and C/N ratios) decomposition in the fields of three land uses (vineyard, peach orchard, farmland), using nylon mesh bags method and thermogravimetry (TG), which can provide a scientific basis for the rational use of straw resources. The results showed that at the early stage of the decomposition (0~20 d), the decomposition rate was more than 20% and the decomposition rate of bean straws was faster than that of corn straws. On 0~90 d of the decomposition, they were relatively stable. Then the decomposition rates increased to 60%~70% at the end (300 d). In TG-DTG curves, the mass loss of 200~300℃ stage(20%~30%) was caused by the corn straws during the decomposition (20~45 d). At the end of decomposition, the 300~400℃ mass losses of bean straws were significantly higher than those of corn straws. The values of 600~700℃ in TG and DTG curves at the end of the decomposition (300 d) were about 6%. The decomposition rates and percentages of fixed carbon and volatile matters were significantly different between fresh and dry treatments, corn residues and bean

收稿日期: 2016-03-03 修回日期: 2016-04-10

基金项目: 中国科学院黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目(K318009902-1310)和陕西省科技统筹创新工程计划项目(2011K01-48)

作者简介: 曹莹菲(1987—),女,博士生,主要从事土壤化学研究,E-mail: yingfeicao@126.com

通信作者: 吕家珑(1962—),男,教授,博士生导师,主要从事土壤和环境化学研究,E-mail: ljll@nwsuaf.edu.cn

residues, and low C/N ratio and high C/N ratio treatments ($P < 0.05$). While, there were no obvious differences in three different land uses ($P > 0.05$). The decomposition rates and fixed carbon contents were significantly positively related to soil temperature and precipitation ($P < 0.05$), and volatile matters were negatively correlated with soil temperature and precipitation ($P < 0.05$). Corn and bean straws in soils could increase the carbon content. Type, C/N ratio and water condition of crop residues, and soil temperature and precipitation could affect the crop straw decomposition in the soil.

Key words: crop residues decomposition; thermogravimetry; decomposition rate

引言

我国作物秸秆类有机固体废弃物的数量每年以5%~10%的速度递增^[1],而大量的作物秸秆就地焚烧不仅浪费了秸秆中的有机碳和养分资源,而且会增加大气环境污染,因此,许多研究者建议将秸秆还田^[2-4]。合理的秸秆还田可以改善土壤结构^[5]、理化性状、养分循环^[6-9]、土壤有机碳(SOC)含量以及控制土壤侵蚀。秸秆还田后,在土壤中的存在状态、分解转化和组分变化等都与秸秆还田的效果息息相关。有研究指出作物残体在土壤中的腐解既与秸秆本身物质构成有关,也与温度、水分、土壤性状、肥力等环境条件有关^[10]。有研究指出,不同的作物残体由于持水能力及本身组成的差异,其本身的生物学性质和分解的动力学特征必然不同^[11-12]。

秸秆腐解是一个复杂的过程^[13-14],其在土壤中分解转化形成的中间产物复杂且难于分离。采用传统的化学分析方法很难对混合组分的组成和结构进行测定,而且测定过程中会改变其固有的性质^[15]。相对于化学分析方法,热重分析有机物组分特征具有操作简便、需要的样品量少和样品不需特殊分离等优点^[16-17]。因此,热重分析可以作为作物残体特征描述的一个方法^[18],也可以应用于农业领域的相关分析^[19]。

目前,有关秸秆还田的研究多集中在对作物产量以及对农田土壤理化性质的影响等方面^[20-21],而且作物残体在土壤中分解、转化较为复杂,其在土壤中的变化机制还不完全清楚。玉米是中国非常普遍且种植较多的农作物,其秸秆在农田系统中的循环利用非常重要,大豆秸秆又常常用来作为绿肥。因此,为了了解玉米和大豆秸秆在不同田地里的还田效果,探索其在土壤腐解过程中的腐解特性,本文选取陕西省杨凌区种植不同植物(农田、桃树、葡萄)的长期试验基地(耕种史在10 a以上),采用网袋法进行玉米和大豆秸秆腐解试验,结合热重分析仪,分析玉米和大豆秸秆在不同腐解时期的腐解率和组分变化规律;确定影响作物残体腐解变化的因素(不

同作物碳氮比、水分、种类和不同土地利用类型),为秸秆还田措施提供理论依据^[22-24]。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

试验地设在黄土高原南部的陕西省杨凌示范区,年均气温13℃,年均降水量550~600 mm,主要集中在7—9月份,土壤为壤土(土垫旱耕人为土),质地属粉砂粘壤土。供试植物残体为玉米和大豆秸秆(包括茎和叶)。玉米秸秆的全碳质量比和全氮质量比分别为402.50 g/kg和11.31 g/kg,碳氮比为35.59;大豆秸秆的全碳质量比和全氮质量比分别为373.18 g/kg和25.47 g/kg,碳氮比为14.65。秸秆还田的腐解试验在3个试验地(不同土地利用类型)进行,分别为国家黄土肥力与肥料效益野外科学观测试验站的农田(34°17'51" N, 108°00'48" E)、西北农林科技大学标本园区的桃园(34°19'81" N, 108°04'11" E)和葡萄园(34°17'81" N, 108°04'17" E)。农田种植方式为冬小麦-夏玉米轮作;桃园与葡萄园常年种植桃树与葡萄。3个试验地的基本理化性质见表1。

表1 供试试验地的基本性质

Tab.1 Basic soil properties in the three experiment fields

样地 种类	pH 值	有机质	碱解氮	速效磷	速效钾
		质量比/ (g·kg ⁻¹)	质量比/ (mg·kg ⁻¹)	质量比/ (mg·kg ⁻¹)	质量比/ (mg·kg ⁻¹)
农田	8.17	20.45	61.60	15.75	145.80
桃园	8.19	33.95	74.84	20.00	188.90
葡萄园	8.15	20.68	62.80	22.25	150.50

具体步骤:快速将刚采取的新鲜供试作物秸秆剪为2~3 cm大小(包括茎和叶),在冰箱4℃冷藏保鲜作为新鲜样品处理;另一部分作物秸秆先风干再60℃干燥至恒定质量,粉碎过1 mm筛,作为干燥样品处理;另外分别添加一定量的尿素至部分处理好的新鲜和干燥玉米秸秆中,拌匀,调整碳氮比至25(微生物分解最佳碳氮比^[25]),作为对比试验处理。即每个试验地有6个处理:新鲜玉米秸秆(FC)、新鲜玉米秸秆+氮(fc)、新鲜大豆秸秆

(FB)、干燥玉米秸秆(DC)、干燥玉米秸秆+氮(dc)、干燥大豆秸秆(DB)。考虑腐解速率以及含水率的不同,新鲜秸秆称取30 g/袋装入30 cm × 30 cm的350目尼龙网袋中,干燥秸秆称取15 g/袋装入20 cm × 20 cm的350目尼龙网袋中,封口,则每个试验地共有234袋。10月31日分别将各个处理的若干袋子埋入3个试验地0~20 cm处的土壤中,于埋入后10、20、30、45、60、90、120、150、180、210、240、270、300 d取样。每个处理每次取出3袋。取出的秸秆样品60℃干燥称其质量,用于计算腐解率。之后将样品磨细(100目),用于热重分析。由于土壤温度和降水影响作物秸秆的腐解,所以在腐解试验处(0~20 cm)埋入土壤温度记录仪(美国TidbiT v2型温度记录仪)监测土壤温度,列于表2,降水数据列于表3。

表3 不同腐解时期的降水量

Tab.3 Precipitations in one year experimental period

腐解时间/d	10	20	30	45	60	90	120	150	180	210	240	270	300
降水量/mm	10.0	3.2	9.0	3.0	5.1	14.8	1.3	8.5	17.4	70.2	30.3	116.8	152.3

1.2 热重分析仪器与方法

热重分析仪为德国耐驰(STA449C型)热分析仪,试样容器为Al₂O₃坩埚,采用氮气氛围进行热解试验,其中的气体流量为20 mL/min,升温速率为20℃/min。步骤:装入约5 mg的样品,通入空气吹扫约1 h后,开始升温至40℃并恒温5 min,继续升温,最后加热至1 000℃。随着加热温度的上升和样品质量的变化得到TG(热重)和DTG曲线,DTG曲线表示微商热重,质量变化率与温度的函数关系。利用热重分析仪自带的计算软件可以确定出作物残体中水分、挥发分和固定碳等的质量分数以及稳定性^[16]。

1.3 数据处理

(1) 秸秆腐解率R₀计算公式为

$$R_0 = \frac{X_0 - X_t}{X_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中 X₀——秸秆腐解前的初始质量

X_t——分解t时间的秸秆腐解后剩余质量

所有质量都是通过含水率换算为干物质的质量。

(2) 秸秆挥发分质量分数R₁计算公式为

$$R_1 = X_1 + X_2 + X_3 \quad (2)$$

式中 X₁——TG曲线中200~300℃阶段的失重百分数

X₂——300~400℃阶段的失重百分数

X₃——600~700℃阶段的失重百分数

表2 不同试验地不同腐解期的土壤温度

Tab.2 Temperature in one year experimental period

腐解时间/d	农田	桃园	葡萄园
10	11.85 ± 1.16	11.55 ± 1.17	11.05 ± 1.11
20	10.98 ± 0.57	10.73 ± 0.36	10.24 ± 0.75
30	9.06 ± 0.81	9.25 ± 0.71	8.90 ± 0.89
45	4.92 ± 1.20	5.17 ± 1.74	5.14 ± 1.53
60	2.89 ± 0.65	2.40 ± 0.55	2.74 ± 0.74
90	1.72 ± 0.31	1.16 ± 0.22	2.09 ± 0.30
120	2.74 ± 0.82	2.24 ± 0.88	2.91 ± 0.75
150	6.95 ± 2.48	6.70 ± 2.33	6.81 ± 2.29
180	16.84 ± 2.46	15.54 ± 1.96	15.78 ± 2.62
210	21.03 ± 2.26	18.68 ± 1.24	19.47 ± 1.67
240	25.20 ± 2.21	22.57 ± 1.33	22.08 ± 1.37
270	26.45 ± 1.83	23.79 ± 1.06	24.78 ± 1.43
300	25.51 ± 2.17	23.51 ± 1.41	24.72 ± 1.41

注:数值为每月每天每个小时土壤温度的平均值 ± 标准差。

(3) 秸秆固定碳质量分数R₂计算公式为

$$R_2 = X_r - X_a \quad (3)$$

式中 X_r——TG曲线中的残留质量

X_a——灰分的质量分数,通过马弗炉(575 ± 25)℃加热5 h测得^[16]

所测定的数据采用SAS(9.1.2)软件进行方差和相关分析。作物秸秆的末期腐解率以及挥发分、固定碳在不同处理和不同试验地之间的方差分析采用Duncan新复极差法(P < 0.05)进行,不同字母代表差异显著;作物秸秆的末期腐解率、挥发分和固定碳与土壤温度、降水的相关性分析运用CORR程序进行分析。

2 结果与讨论

2.1 不同作物秸秆的腐解率变化

6个作物秸秆处理和2种作物秸秆在3个试验地不同腐解期的平均腐解率变化如图1所示。由图1a可见,各处理作物秸秆的腐解率在腐解初期(0~20 d)迅速上升,FB处理上升最多,达到60%左右,FC、fc和DB处理达到30%左右,DC和dc处理达到20%~25%;20~120 d内相对稳定,120 d之后不同处理的腐解率又逐渐上升,到270 d时,已经基本上腐解了65%~75%;270~300 d腐解率变化较小。图1b显示,玉米和大豆秸秆在3个试验地之间各自的腐解特性差异都不大,其变化趋势与图1a相似。由此可以得出本试验中的作物秸秆腐

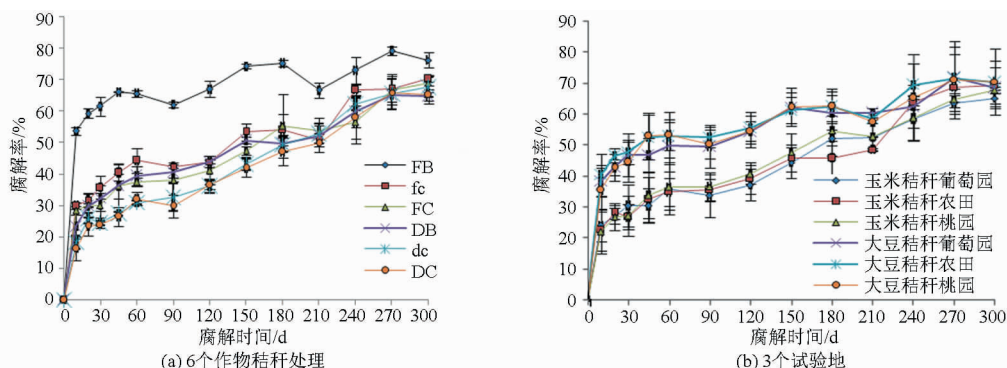


图 1 不同作物秸秆处理以及 2 种作物秸秆在 3 个试验地不同腐解期平均腐解率的变化

Fig.1 Decomposition rates of six treatments and decomposition rates of corn and bean residues in three long experiments during different decomposition periods

解具有阶段性,基本上是在前期 0 ~ 20 d 腐解率变化剧烈,腐解 20% 以上,20 ~ 120 d 腐解较少,120 ~ 270 d 继续腐解,270 d 后腐解率保持平稳。这与张春慧等^[26]、胡宏祥等^[27]研究结果一致,作物秸秆进入土壤之后前期腐解最快,经 9 个月后腐解主要进程已趋完成,腐解率趋于稳定。

结合腐解末期(300 d)作物秸秆腐解率的方差分析得出(表 4),不同处理间腐解末期的腐解率差异显著($P < 0.05$),新鲜样品较干燥样品腐解快,这与“分解的速度与秸秆中含水率有关”的结论相一致^[12],碳氮比低的作物秸秆腐解快^[28, 29],玉米和大豆秸秆的腐解特性不同,由图 1b 也可以看出,大豆秸秆前期腐解率变化比玉米秸秆快,后期则变化较慢,玉米秸秆后期较大豆秸秆腐解率变化快,这表明大豆秸秆在前期迅速腐解,在中期达到稳定;玉米秸秆则前期腐解较大豆秸秆慢,中期继续腐解,腐解后期达到稳定后,与大豆秸秆的腐解率相差不大。此外,不同试验地之间作物秸秆腐解率无明显差异($P > 0.05$)(表 4),而与土壤温度和降水量都达到极显著相关($P < 0.01$)(表 5),土壤温度和降水量等气候条件相似(表 2、3)则是不同试验地腐解率无差异的原因^[30]。因此,秸秆腐解率与它自身的条件(秸秆碳氮比、干湿程度和种类)有关(表 4)^[28-29],碳氮比低、新鲜的作物秸秆腐解较快,大豆秸秆(碳氮比小)腐解率变化较玉米秸秆快,这是由于碳氮比以及水分条件有利于微生物的分解活动,其次,新鲜秸秆含有较高比例的简单碳水化合物和蛋白质易于降解;也与所处环境的水热状态有关(表 5)^[29],具有阶段性:作物秸秆进入土壤中,由于微生物等的利用,进行快速分解,随着土壤温度下降至 10℃ 以下,且降水量也有所减少,环境条件不适宜,微生物的活力受到温度和水分的限制,腐解进行很慢,随着土壤温度升高和降水的逐渐增多,环境条件转好,微生物活动旺盛,则分解作用可以继续,腐解率上

表 4 不同作物秸秆处理和不同试验地腐解末期的腐解率差异比较

Tab.4 ANOVA of decomposition rates on 300 d in different treatments and land uses

秸秆处理	腐解率/%	试验地	腐解率/%
FB	76.27 ^a	农田	70.88 ^a
fc	70.28 ^b	桃园	69.35 ^a
FC	69.00 ^{bc}	葡萄园	66.93 ^a
DB	66.73 ^{cd}		
dc	67.78 ^{bcd}		
DC	65.24 ^d		

注:方差分析采用 Duncan 氏新复极差法($P = 5%$),相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著。

表 5 不同处理秸秆腐解率与土壤温度、降水量动态变化的相关性

Tab.5 Relationships of decomposition rates with soil temperature and precipitations

影响因素	不同作物秸秆处理					
	FB	fc	FC	DB	dc	DC
土壤温度/℃	0.66 **	0.79 **	0.84 **	0.83 **	0.89 **	0.88 **
降水量/mm	0.53 **	0.70 **	0.80 **	0.75 **	0.77 **	0.78 **

注:**表示极显著($P < 0.01$)相关。

升,直至达到稳定状态。

2.2 不同作物秸秆的热重分析结果

2.2.1 玉米和大豆秸秆 TG - DTG 曲线变化

图 2 为不同作物秸秆原样的 TG - DTG 曲线,大致分为 3 个失重阶段:80℃、300 ~ 400℃ 和 600 ~ 700℃。将由 TG - DTG 曲线(图 2)得出玉米、大豆秸秆原样各个失重阶段的失重百分比列于表 6,结果显示,两种作物秸秆原样中 300 ~ 400℃ 的失重百分比最大,达到 60% 左右,表示作物秸秆中的纤维素含量比例较多,且玉米秸秆在该阶段的物质质量百分比比较大豆秸秆多。在 600 ~ 700℃ 大豆秸秆较玉米秸秆的失重百分比大,由于在 TG 曲线中分解发生的失重温度越高,该物质稳定性越高,越难被分

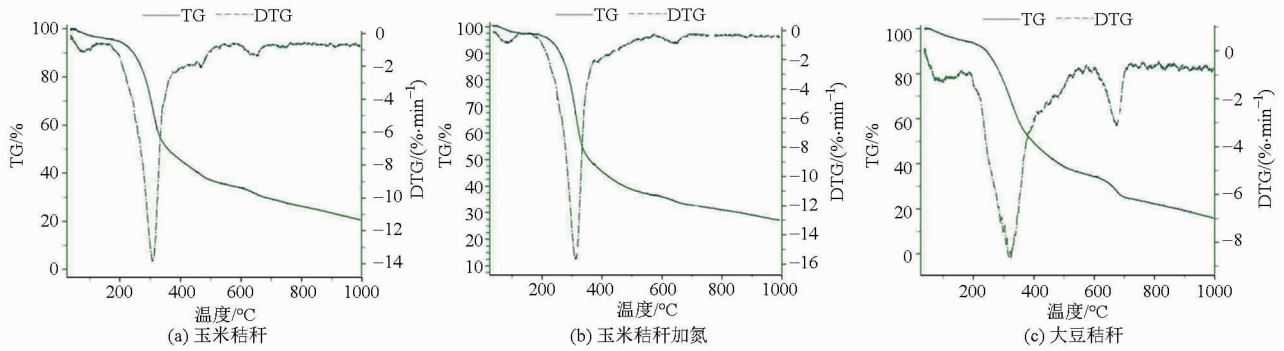


图2 不同作物秸秆原样的TG-DTG曲线

Fig. 2 TG and DTG profiles of original plant samples

解^[17],所以大豆秸秆的难分解物质成分较多(600~700℃阶段),稳定性较高(表6)。

表6 玉米秸秆和大豆秸秆原样各阶段的失重百分比和残留质量比

作物残体种类	各失重阶段		残留质量百分比
	300~400℃	600~700℃	
玉米秸秆	59.37	10.23	27.11
大豆秸秆	55.73	13.41	26.41

随着腐解的进行,作物残体的热重曲线有所变化,腐解末期(300 d)作物秸秆的TG-DTG曲线如

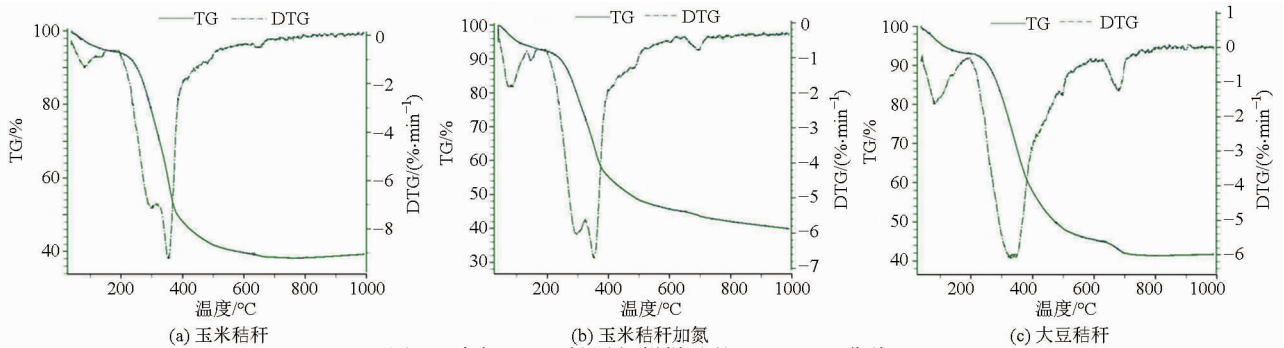


图3 腐解300 d桃园新鲜样品的TG-DTG曲线

Fig. 3 TG and DTG profiles of fresh samples (300 d) in peach garden

2.2.2 玉米和大豆秸秆各阶段组分变化

由热重曲线得出的不同腐解期作物秸秆各阶段失重质量百分比变化如图4(6个处理)所示。由热重曲线图可知,200~300℃阶段的失重是由玉米秸秆和玉米秸秆加氮处理在腐解过程中(20~60 d)产生的,因此,图4a为FC、DC、fc、dc处理在TG曲线200~300℃阶段的失重百分比变化,fc、dc处理较FC、DC处理先出现此阶段的失重,各处理的该阶段失重百分比先升高至30%左右(90~120 d),之后起伏变化。该阶段的失重代表半纤维素的热解挥发,半纤维素容易被微生物利用分解,因此随着玉米秸秆在土壤中的腐解,到了后期,玉米秸秆处理中200~300℃阶段的失重百分比有所降低或消失。

图3所示(以桃园新鲜样品处理为例),此时与原样(图2)相比,玉米秸秆变为4个失重阶段:80℃、200~300℃、300~400℃和600~700℃,大豆秸秆则在TG-DTG线型上无明显变化(图3)。80℃左右的失重是作物秸秆中水分散失造成的,由于其不稳定性,在本文中不予讨论;200~300℃之间的失重是由于半纤维素发生分解,产生挥发性物质;300~400℃是纤维素发生分解,大部分也是生成挥发性物质^[31];木质素较难分解,分解温度最宽,主要发生在280~900℃,一部分生成挥发性物质,一部分分解为碳^[32],故600~700℃失重是由于木质素等难分解的物质分解挥发所致。

图4b显示的是300~400℃阶段不同处理的失重百分比变化,此阶段的失重是由于纤维素的热解挥发所致。腐解初期大豆秸秆在300~400℃阶段的失重百分比与玉米秸秆相近,腐解后期则明显高于玉米秸秆,到90 d之后各个处理的变化都趋于平稳,这与腐解率的变化趋势一致。600~700℃阶段(图4c),玉米秸秆则无明显变化,大豆秸秆腐解初期该阶段的失重百分比高于玉米秸秆,腐解0~30 d下降较快,30~120 d无明显变化,腐解后期又逐渐下降,至末期(300 d)其失重百分比接近玉米秸秆(6%左右)。由于大豆秸秆中稳定成分多于玉米秸秆(图1和表6中得出),随着腐解的进行,逐渐转化、分解为易腐解的物质,所以大豆秸秆中较难分解

物质的百分比(600 ~ 700℃ 阶段)下降(图 4c),分解为纤维素等易腐解的物质,加上玉米秸秆中的一部分纤维素易分解产生半纤维素,因此,到腐解后期 300 ~ 400℃ 阶段的失重百分比高于玉米秸秆(图 4b)。图 4d 显示,固定碳与灰分质量百分比随

着腐解的进行逐渐上升,秸秆中容易腐解的挥发分等物质分解释放,比例下降,剩下的较难分解物质(固定碳、灰分等)百分比则上升,并随后可能混入土壤中,说明作物残体在土壤中腐解有增加土壤碳含量的作用^[33]。

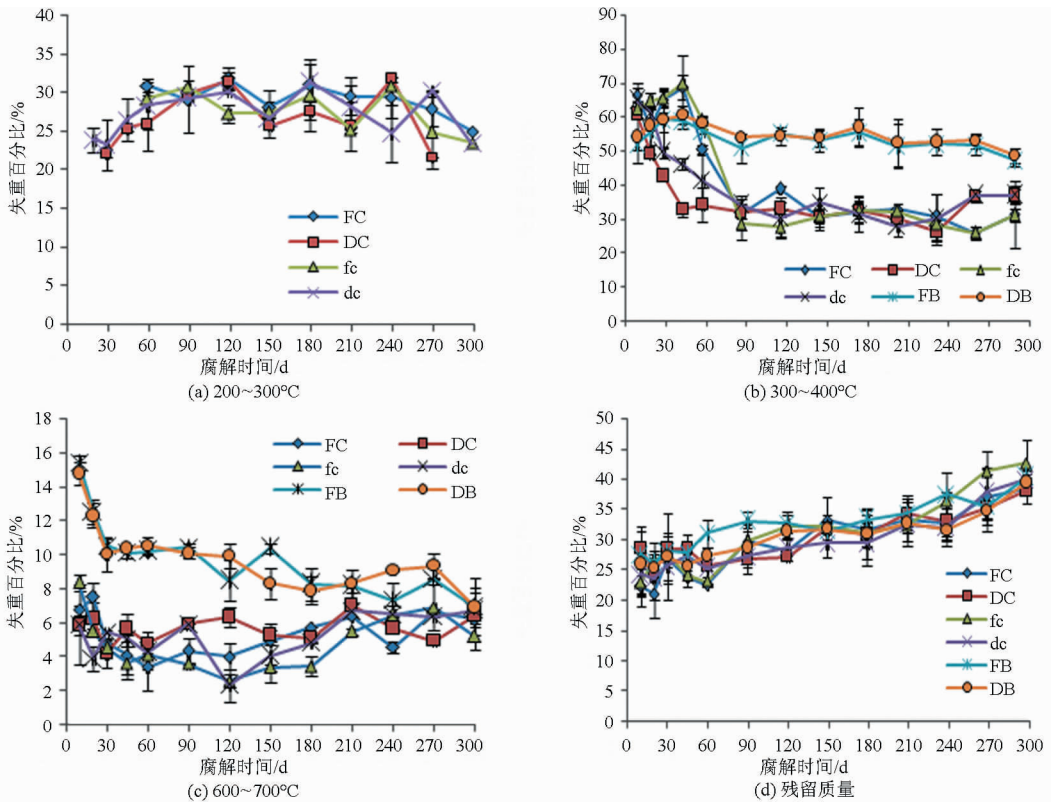


图 4 不同作物秸秆各阶段失重百分比随腐解时间的变化曲线

Fig. 4 Mass loss of 200 ~ 300℃, 300 ~ 400℃, 600 ~ 700℃, and remaining mass in six crop treatments during different decomposition periods

TG 曲线中的失重是由挥发分和水分的散失造成的,因此 200 ~ 300℃、300 ~ 400℃ 和 600 ~ 700℃ 阶段失重百分比之和为作物秸秆挥发分质量分数,残留物质与灰分百分比之差为固定碳质量分数^[16],根据挥发分的数值,确定出作物秸秆转化为气体或液体的产率,对作物秸秆还田过程中的物质转化具有指导意义;固定碳则可以影响土壤碳含量。二者在 6 个处理和 3 个试验地间的方差分析(表 7、8)结果显示,挥发分与固定碳在不同作物秸秆处理间的差异显著($P < 0.05$),在 3 个试验地之间则无明显差异($P > 0.05$)。相关分析(表 9)表明,挥发分与固定碳含量成反比,作物秸秆中的挥发分、固定碳质量分数与土壤温度和降水量呈显著相关($P < 0.05$)。由方差分析和相关分析得出,大豆秸秆、新鲜玉米秸秆及其加氮处理的固定碳含量较高($P < 0.05$),变化趋势与土壤温度和降水条件有关,与秸秆腐解率的变化相似,适宜的碳氮比、温度、水分条件有利于微生物的分解活动^[28-29],腐解进行较快,各组分变化较大;若环境条件不适宜,微生物的活力

受到温度、水分和碳氮比的限制,腐解进行较慢,各组分则无明显变化。

表 7 固定碳与挥发分在 6 个不同作物秸秆处理之间的方差分析

Tab. 7 Average percentage of fixed carbon and volatile matters with six plant residues treatments

不同处理	固定碳质量分数/%	挥发分质量分数/%
FB	33.78 ^a	60.61 ^c
fc	32.70 ^{ab}	62.83 ^{abc}
FC	31.66 ^{bc}	64.26 ^a
DB	32.19 ^b	61.02 ^{bc}
dc	30.78 ^c	64.32 ^a
DC	30.79 ^c	63.82 ^{ab}

注:方差分析采用 Duncan 氏新复极差法($P = 5%$),相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著。

3 结论

(1) 由作物秸秆的腐解率变化得出,碳氮比低和新鲜的作物秸秆腐解效果较好($P < 0.05$),在

表8 固定碳与挥发分在3个不同试验地之间的方差分析

Tab.8 Average fixed carbon and volatile matters percentage of plant residues in three different land uses

秸秆种类		农田	桃园	葡萄园
玉米秸秆	固定碳/%	31.64 ^a	31.22 ^a	31.58 ^a
	挥发分/%	63.01 ^a	63.77 ^a	64.63 ^a
大豆秸秆	固定碳/%	33.21 ^a	33.09 ^a	32.65 ^a
	挥发分/%	60.49 ^a	60.74 ^a	61.20 ^a

注:方差分析采用 Duncan 氏新复极差法($P=5\%$),相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著。

表9 固定碳、挥发分、土壤温度和降水量之间的相关性

Tab.9 Correlation coefficients between fixed carbon and volatile matters in plant residues, soil temperature and precipitations

相关系数	固定碳	挥发分	土壤温度	降水量
固定碳	1.00			
挥发分	-0.89**	1.00		
土壤温度	0.76**	-0.66*	1.00	
降水量	0.74**	-0.69**		1.00

注:* $P<0.05$; ** $P<0.01$ 。

3个试验地之间无明显差异($P>0.05$),作物秸秆腐解的快慢与土壤温度、降水大小极为相关($P<0.01$)。经过一年的腐解,作物秸秆腐解率达到60%~70%。

(2)由作物 TG-DTG 曲线得出,大豆秸秆的稳定成分多于玉米秸秆。玉米秸秆在腐解期间产生200~300℃(TG曲线)的失重(20%~30%),大豆秸秆在腐解过程中300~400℃阶段的失重百分比高于玉米秸秆,到腐解末期(300d),不同处理的难分解物质(600~700℃阶段)含量相差不大,随着腐解的进行,残留质量上升至40%。不同作物秸秆处理间各组分差异显著($P<0.05$),在3个试验地之间则无明显差异($P>0.05$),与土壤温度和降水量呈显著相关($P<0.05$),且 TG-DTG 曲线与作物秸秆种类和腐解时期有关。

(3)综上所述,玉米和大豆秸秆还田有增加土壤碳含量的作用。将新鲜的玉米和大豆秸秆粉碎或切成2~3cm,且玉米秸秆同时加入适量N肥有利于作物秸秆在土壤中的腐解,不同田地的腐解效果与土壤的温度、降水条件关系密切。

参 考 文 献

- 张海林,高旺盛,陈阜,等.保护性耕作研究现状、发展趋势及对策[J].中国农业大学学报,2005,10(1):16-20.
ZHANG Hailin, GAO Wangsheng, CHEN Fu, et al. Prospects and present situation of conservation tillage[J]. Journal of China Agricultural University, 2005, 10(1): 16-20. (in Chinese)
- LI L J, HAN X Z, YOU M Y, et al. Carbon and nitrogen mineralization patterns of two contrasting crop residues in a Mollisol: effects of residue type and placement in soils[J]. European Journal of Soil Biology, 2012, 54: 1-6.
- MONFORTI F, LUGATO E, MOTOLA V, et al. Optimal energy use of agricultural crop residues preserving soil organic carbon stocks in Europe[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2015, 44: 519-529.
- MOURTZINIS S, ARRIAGA F, BALKCOM K S, et al. Vertical distribution of corn biomass as influenced by cover crop and stover harvest[J]. Agronomy Journal, 2015, 107(1): 232-240.
- 余坤,冯浩,李正鹏,等.秸秆还田对农田土壤水分与冬小麦耗水特征的影响[J].农业机械学报,2014,45(10):116-123.
YU Kun, FENG Hao, LI Zhengpeng, et al. Effects of different pretreated straws on soil water content and water consumption characteristics of winter wheat[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(10): 116-123. (in Chinese)
- ARCAND M M, KNIGHT J D, RICHARD E F. Differentiating between the supply of N to wheat from above and below ground residues of preceding crops of pea and canola[J]. Biology and Fertility of Soils, 2014, 50(4): 563-570.
- 庞成庆,秦江涛,李辉信,等.秸秆还田和休耕对赣东北稻田土壤养分的影响[J].土壤,2013,45(4):604-609.
PANG Chengqing, QIN Jiangtao, LI Huixin, et al. Effects of rice straw incorporation and permanent fallow on soil nutrient of paddy field in northeastern Jiangxi province[J]. Soils, 2013, 45(4): 604-609. (in Chinese)
- RAHMANA M A, CHIKUSHIA J, SAIFIZZAMANB M, et al. Rice straw mulching and nitrogen response of no-till wheat following rice in Bangladesh[J]. Field Crops Research, 2005, 91(1): 71-81.
- 闫德智,王德建.长期施用化肥和秸秆对水稻土碳氮矿化的影响[J].土壤,2011,43(4):529-533.
YAN Dezhi, WANG Dejian. Carbon and nitrogen mineralization affected by long-term application of chemical fertilizer and rice straw in paddy soil[J]. Soils, 2011, 43(4): 529-533. (in Chinese)
- 王旭东,陈鲜妮,王彩霞,等.农田不同肥力条件下玉米秸秆腐解效果[J].农业工程学报,2009,25(10):252-257.
WANG Xudong, CHEN Xianni, WANG Caixia, et al. Decomposition of corn stalk in cropland with different fertility[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(10): 252-257. (in Chinese)
- SOON Y K, ARSHAD M A. Comparison of the decomposition and N and P mineralization of canola, pea and wheat residues[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 36(1): 10-17.
- ZIBILSKE L M, MATERON L A. Biochemical properties of decomposing cotton and corn stem and root residues[J]. Soil Science

- Society of America Journal, 2005, 69(2): 378 – 386.
- 13 黄婷苗, 郑险峰, 王朝辉. 还田玉米秸秆氮释放对关中黄土供氮和冬小麦氮吸收的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(14): 2785 – 2795.
HUANG Tingmiao, ZHENG Xianfeng, WANG Zhaohui. Nitrogen release of returned maize straw and its effects on loess N supply and nitrogen uptake by winter wheat in Guanzhong plain[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(14): 2785 – 2795. (in Chinese)
- 14 黄涛, 仇少君, 杜娟, 等. 碳氮管理措施对冬小麦/夏玉米轮作体系作物产量、秸秆腐解、土壤 CO₂ 排放的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(4): 756 – 768.
HUANG Tao, QIU Shaojun, DU Juan, et al. Effects of different carbon and nitrogen managements on yield, straw decomposition, soil CO₂ flux of the winter wheat/summer maize[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(4): 756 – 768. (in Chinese)
- 15 吴景贵, 席时权, 姜岩. 红外光谱在土壤有机质研究中的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 1998, 18(1): 52 – 57.
WU Jinggui, XI Shiquan, JIANG Yan. Infrared spectroscopy application on soil organic matter[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 1998, 18(1): 52 – 57. (in Chinese)
- 16 BRUNO S S, ANA P D M, ANA M, et al. TG – FTIR coupling to monitor the pyrolysis products from agricultural residues[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2009, 97(2): 637 – 642.
- 17 YANG H P, YAN R, CHEN H P, et al. In-depth investigation of biomass pyrolysis based on three major components: hemicellulose, cellulose and lignin[J]. Energy & Fuels, 2006, 20(1): 388 – 393.
- 18 孟安华, 吴景贵. 不同处理牛粪对植菜土壤腐殖质结构特征的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(4): 223 – 228.
MENG Anhua, WU Jinggui. Effects of different cow dung treatments on humus structure of vegetable planting soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29(4): 223 – 228. (in Chinese)
- 19 IBRAHIM M, CAO C G, ZHAN M, et al. Changes of CO₂ emission and labile organic carbon as influenced by rice straw and different water regimes[J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2015, 12(1): 263 – 274.
- 20 BADRE B, NOBELIS P, TRÉMOLIÈRES M. Quantitative study and modeling of the litter decomposition in an European alluvial forest. Is there an influence of overstorey tree species on the decomposition of ivy litter (*Hedera helix* L.)? [J]. Acta Oecologica, 1998, 19(6): 491 – 500.
- 21 INCERTI G, BONANOMI G, GIANNINO F, et al. Litter decomposition in Mediterranean ecosystems: modelling the controlling role of climatic conditions and litter quality[J]. Applied Soil Ecology, 2011, 49: 148 – 157.
- 22 LARSON W E. Crop residue: energy production on erosion control[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1979, 34: 74 – 76.
- 23 VANLAUWE B, DENDOOVEN L, MERCKX R. Residue fraction and decomposition: the significance of the active fraction[J]. Plant and Soil, 1994, 158(2): 263 – 274.
- 24 KUWATSUKA S, WANTANABE A, ITOH K, et al. Comparison of two methods of preparation of humic and fulvic acids, IHSS method and NAGOYA method[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1992, 38(1): 23 – 30.
- 25 NDEGWA P M, THOMPSON S A. Effects of C-to-N ratio on vermicomposting of biosolids[J]. Bioresource Technology, 2000, 75(1): 7 – 12.
- 26 张春慧, 张一平, 窦连彬. 农田生态条件下植物残体腐解过程腐解物的能态变化特征[J]. 生态学报, 1996, 16(2): 141 – 146.
ZHANG Chunhui, ZHANG Yiping, DOU Lianbin. Processes of plant residues decaying in field ecosystems: features of energetic variation of decaying substance[J]. Acta Ecologica Sinica, 1996, 16(2): 141 – 146. (in Chinese)
- 27 胡宏祥, 程燕, 马友华, 等. 油菜秸秆还田腐解变化特征及其培肥土壤的作用[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(3): 297 – 302.
HU Hongxiang, CHENG Yan, MA Youhua, et al. Decomposition characteristics of returned rapeseed straw in soil and effects on soil fertility[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(3): 297 – 302. (in Chinese)
- 28 CAO Yingfei, ZHANG Hong, Liu Ke, et al. Organic acids variation in plant residues and soil among agricultural treatments[J]. Agronomy Journal, 2015, 107(6): 2171 – 2180.
- 29 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): 69 – 78.
ZHANG Hong, LÜ Jialong, CAO Yingfei, et al. Decomposition characteristics of different plant straws and soil microbial functional diversity[J]. Acta Pedologica Sinica, 2014, 51(4): 69 – 78. (in Chinese)
- 30 PRESTON C M, NAULT J R, TROFYMOW J. Chemical changes during 6 years of decomposition of 11 litters in some Canadian forest sites. Part 2. ¹³C abundance, solid-state ¹³C NMR spectroscopy and the meaning of “lignin” [J]. Ecosystems, 2009, 12(7): 1078 – 1102.
- 31 徐砚, 朱群益, 宋绍国. 采用热重与红外光谱联用研究玉米秸秆热解[J]. 热能动力工程, 2012, 27(1): 126 – 129, 142.
XU Yan, ZHU Qunyi, SONG Shaoguo. Study of the pyrolysis of corn stalk by combining the thermogravimetric method with the infrared spectrum one[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2012, 27(1): 126 – 129, 142. (in Chinese)
- 32 WANG G, LI W, LI B Q, et al. TG study on pyrolysis of biomass and its three components under syngas[J]. Fuel, 2008, 87(4 – 5): 552 – 558.
- 33 POTTHOFF M, DYCKMANS J, FLESSA H, et al. Dynamics of maize (*Zea mays* L.) leaf straw mineralization as affected by the presence of soil and the availability of nitrogen[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2005, 37(7): 1259 – 1266.