

玉米秸秆腐解过程的红外光谱研究

吴景贵 席时权 曾广赋 汪冬梅

(中国科学院长春应用化学研究所, 国家电化学光谱研究分析中心, 长春 130022)

姜岩 王明辉

(吉林农业大学, 长春 130118)

摘要 采用傅里叶变换红外光谱 (FTIR) 对玉米秸秆腐解过程进行了研究。由光谱变化的分析可见, 随着腐解的进行, 羟基、酮羰基、甲基、亚甲基和次甲基的含量逐渐降低, 腐解产物的脂族性降低, 芳香性趋于升高和增强, 有机成分中的无机元素特别是硅释放出来, 并以 SiO_2 等氧化物的形式逐渐积累, 一些阳离子则形成羧酸盐和碳酸盐。羧基在腐解过程中皆形成羧酸盐。就秸秆中叶片和茎秆腐解变化的差异来说, 叶片腐解产物中甲氧基的含量增加, 茎秆中的甲氧基含量无明显变化。在腐解 180 天后, 叶片中的有机硅化合物及木质素的分解显著, 但茎秆中二者的变化较小。未腐解的叶片中无羧酸盐存在, 而未腐解的茎秆中则存在羧酸盐。N 肥的加入促进了玉米秸秆残体的腐解。叶片和茎秆混合堆腐的腐殖化系数远高于二者单独堆腐。

关键词 玉米秸秆, FTIR 光谱, 腐解过程

中图分类号 S153

在传统的农业耕作实践中, 作为作物所需养分的给源和土壤的改良剂, 有机物料一直都被腐解后施入农田中。但近年来的研究表明, 非腐解的玉米秸秆较腐解的玉米秸秆对土壤具有更好的培肥作用^[1]。非腐解的玉米秸秆施入土壤后, 能显著提高土壤中各种酶的活性, 增加土壤中松结合态腐殖质的含量以及改善一系列土壤的物理和化学性质^[2,3]。然而, 对于玉米秸秆在土壤中分解以及堆腐过程中物质成分和化学性质的变化目前还没有明确的了解, 而对这方面透彻的研究和了解是阐明非腐解玉米秸秆培肥土壤机制的关键。

在玉米秸秆的分解转化过程中, 所形成的中间产物是非常复杂的, 并且很难分离出来。目前应用于浸提土壤有机质和有机物料堆腐形成的中间产物的方法只能浸提出部分有机物质。为了对玉米秸秆堆腐过程中有机物形成和转化进行定性研究, 采用一种可对样本直接进行分析的方法可能是更有效的。红外光谱就是这类方法的一种, 它同其它化学分析方法相结合已被用于对复杂有机物质的分析, 尤其是傅里叶变换红外光谱 (FTIR) 作为一种定性分析的工具可在不破坏样本的情况下直接分析出土壤有机质中的主要化学官能团。虽然, 由于红外光谱的复杂性, 它还不能完全反映出所测有机质的全部结构性

质,但其提供的信息已将我们对土壤腐殖质的认识大大向前推进了一步^[4]。本文对玉米秸秆堆腐后分解转化过程中,有机成分的变化采用 FTIR 法进行了研究,旨在为揭示有机物料培肥土壤的机制提供资料。

1 材料与方法

1.1 供试有机物料

有机物料为成熟的玉米秸秆,其包括叶片和茎秆二部分。将成熟的玉米秸秆分成叶片、茎秆和秸秆三个处理,风干并用铡草机铡成 1~5cm 的碎段,于 25℃ 的温度下在鼓风干燥箱中干至恒重,然后用粉碎机粉碎并过 0.25mm 筛备用。

1.2 培养试验

将上述有机物料分为加 N 处理和不加 N 处理,然后分别称取 100g 放入 200ml 的广口玻璃瓶中。加 N 处理分别加入尿素态 N,并使 C/N 比为 20 左右。在培养箱中于 30 ± 1℃ 的温度下培养 180 天,每个处理设五次重复,其中二次用于干物质损失量和生成 CO₂ 的测定。在培养开始时,每个处理中加入 20ml 的土壤水,其浸提于黑土田间的 0~5cm 的表层。然后加入足量的蒸馏水使有机物料的湿度达最大持水量的 80%,在开始培养的第一个月内,每三天用蒸馏水调整一次湿度,以后则每隔一周调整一次湿度。自培养开始,每隔 15 天取一次培养样,真空干燥后用于红外测定。

1.3 玉米秸秆组成及腐解损失分析

采用 Georing 和 Van Soest 的方法对供试玉米秸秆的组成进行分析^[5]。元素组成测定用意大利产的 MOD.1106 型元素分析仪。灰分的测定采用干灰化法(550℃, 2h)。干物质损失量及生成水的测定用差减法,CO₂ 生成量的测定采用碱吸收法^[6]。

1.4 FTIR 光谱的测定

用 KBr 压片法在 BIO-RADFTS-7 傅里叶变换红外光谱仪上测定。

2 结果与讨论

2.1 未腐解的玉米秸秆的化学组成分析

由化学成分的分析可知,供试玉米秸秆的主要成分为纤维素、半纤维素、木质素、灰分物质及一些中性洗涤剂溶解物。中性洗涤剂溶解物主要为脂肪、蜡质、淀粉、糖和蛋白质等^[5]。所测三个组分中各成分的含量列于表 1。

表 2 是三个组分腐解前后的干物质及灰分含量的变化情况。对损失的物质化学分析表明,其中大部分生成 CO₂ 和 H₂O。由表中数据可见,三个组分在腐解过程中干物质的损失量不尽相同。对于加 N 处理,叶片和茎秆的干物质损失量相近,但不加 N 处理,茎秆腐解过程的损失量显著高于叶片。而二者的混合物即秸秆腐解过程中的干物质损失量则大大低于二者单独腐解的损失量。这说明玉米植株的不同器官残体混合腐解能提高其腐殖化系数,其原因可能是由于不同器官残体所含化学成分不同,在一起堆腐后,更有利于其中间产物的聚合,因此,防止了他们进一步氧化生成 CO₂ 和 H₂O 而损失掉。另外还可看到,N 肥的加入使干物质的损失量大大增加。这表明,N 肥的加入促进了有机体的分解过

表1 玉米秸秆的化学组成(g/kg)

Table 1 The chemical constituents in the corn straw (g/kg)

玉米秸秆	C	H	N	灰分	酸不溶灰分	中性洗涤剂溶解物	半纤维素	纤维素	木质素
Corn straw				Ash	Insoluble ash	Soluble OM	Hemicellulose	Cellulose	Lignin
					in acids				
茎秆	447.3	44.4	8.1	27.8	11.3	197.1	280.1	418.3	93.3
叶片	395.0	54.1	8.9	176.1	90.9	286.8	231.2	316.3	74.9
秸秆	423.2	47.3	8.6	82.3	31.8	250.4	258.7	375.3	83.8

表2 玉米秸秆各组分腐解前后灰分和干物质的变化(%)

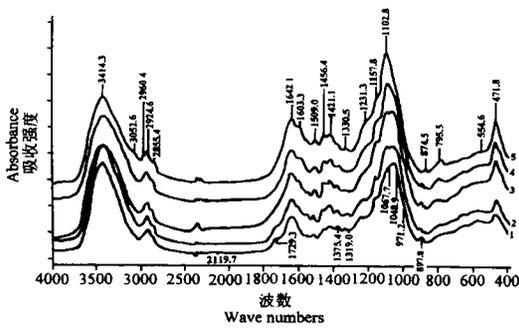
Table 2 Changes of the ash and dry matter in corn straw before and after decomposition

物质含量	叶片		茎秆		秸秆	
	Leaf		Stem		Straw	
	加N	不加N	加N	不加N	加N	不加N
Substance content	N added	Original	N added	Original	N added	Original
初始灰分含量	17.61	17.61	2.78	2.78	8.23	8.23
腐解180天后灰分含量	36.21	25.39	6.22	4.68	12.64	10.95
干物质损失量(占含灰有机物)	51.38	30.43	55.32	40.60	34.8	24.84
干物质损失量(占无灰有机物)	62.35	36.93	56.90	41.76	38.02	27.07

程。

2.2 谱带的归属

从玉米的茎、叶及秸秆处理的腐解过程的红外光谱可见,所有处理的光谱皆表现相似的红外特征(图1~6),化学成分的分析也表明,玉米秸秆的主要组成为纤维素、半纤维素、木质素、蛋白质、淀粉、糖及脂蜡类化合物等。这说明,玉米秸秆的茎、叶的组成及在腐解过程中形成的中间产物含有的官能团的类型是相似的。下面,就结合化学分析对未腐解的玉米秸秆的红外光谱各吸收峰作一归属。3430~3380 cm^{-1} 为形成氢键的羟基的伸缩振动,这部分羟基一部分为秸秆中碳水化合物(纤维素、半纤维素、淀粉及其他多糖和单糖等)的成分,另一部分为样品中含有的水分中的羟基。另外,该峰也包括氨基酸中的N-H伸缩振动的吸收。2935~2900 cm^{-1} 处的吸收峰是 $-\text{CH}_2$ 基团的C-H反对称伸缩振动,2990~2880 cm^{-1} 处的肩峰是由碳甲基及次甲基基团中的C-H对称伸缩振动而引起,这些基团主要来自于秸秆中的碳水化合物和脂肪族化合物。2130~2100 cm^{-1} 处的弱吸收为氨基酸的 NH_3^+ 引起。1735~1725 cm^{-1} 处的吸收峰为秸秆中羧酸酯类化合物及酮类化合物中的C=O伸缩振动。以1640 cm^{-1} 为中心的宽吸收带为水分子形成氢键的变形振动和有机羧酸盐 COO^- 反对称伸缩振动的吸收、木质素中与芳香环相连的C=O伸缩振动及酰胺化合物的特征吸收谱带I。1550~1515 cm^{-1} 为酰胺中的N-H变形振动即酰胺化合物的特征吸收谱带II。1505~1515 cm^{-1} 处的吸收为苯环中的环伸缩振动。1450~1460 cm^{-1} 处的吸收峰为碳水化合物和脂肪族化合物中的 $-\text{CH}_2$ 基团的剪式变形振动及脂肪族化合物和木质素中的 $-\text{CH}_3$ 基团C-H不对称变形振动以及氨基酸等化合物中的N-H变形振动。1420~1430 cm^{-1} 为木质素和脂肪族化合物中与双键或羰基相连的 $-\text{CH}_2$ 的变形振动及无机的 NH_4^+ 、 NO_3^- 和有机羧酸盐 COO^- 的吸收。1370~1380 cm^{-1} 的吸收峰为具有



图中谱线对应的腐解天数: 1: 0 天, 2: 15 天, 3: 60 天, 4: 120 天, 5: 180 天(下同)。
图 1 不加 N 肥的玉米叶片残体在腐解过程中 FTIR 光谱的动态变化

Fig.1 The dynamics changes of FTIR spectra of corn leaf residues without N fertilizer during decomposition

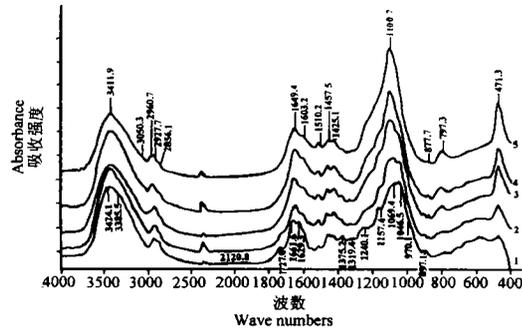


图 2 加 N 肥的玉米叶片残体在腐解过程中 FTIR 光谱的动态变化

Fig.2 The dynamics changes of FTIR spectra of corn leaf residues with N fertilizer during decomposition

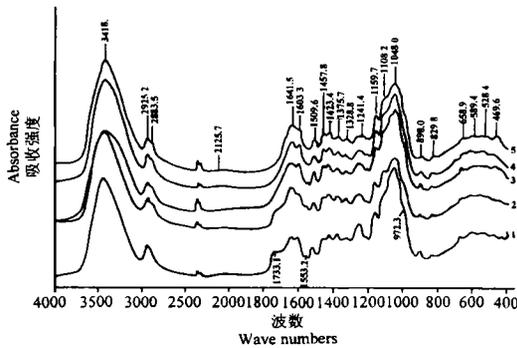


图 3 不加 N 肥的玉米茎秆残体在腐解过程中 FTIR 光谱的动态变化

Fig.3 The dynamics changes of FTIR spectra of corn stem residues without N fertilizer during decomposition

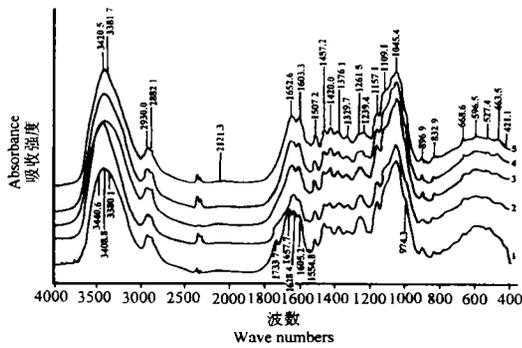


图 4 加 N 肥的玉米茎秆残体在腐解过程中 FTIR 光谱的动态变化

Fig.4 The dynamics changes of FTIR spectra of corn stem residues with N fertilizer during decomposition

脂肪族特征化合物中的 $-CH_2$ 的对称变形振动。 $1315\sim 1330cm^{-1}$ 处的吸收峰为碳水化合物中的 $-OH$ 基的变形振动。 $1230\sim 1250cm^{-1}$ 为酚类中的 $C-O$ 伸缩振动、有机硅化合物中 $Si-C$ 的伸缩振动及纤维素酯等的特征吸收。 $1150\sim 1160cm^{-1}$ 为脂肪族化合物和脂肪环中醚键的 $C-O-C$ 的非对称伸缩振动以及碳水化合物中的 $C-O$ 和氨基酸的 $C-N$ 伸缩振动, $1100\sim 970cm^{-1}$ 为碳水化合物中的 $C-O$ 伸缩振动。另外, $1100\sim 1060cm^{-1}$ 处的吸收峰值还包括无机物的 SiO_2 等的 $Si-O$ 伸缩振动,这种物质一部分来自于秸秆中的有机硅的分解氧化,一部分来源于吸附于秸秆表层的矿物微粒杂质。同时, $780\sim 790$ 和 $470\sim 475cm^{-1}$ 处的吸收峰则由 $Si-O$ 的变形振动的吸收引起。 $890\sim 900cm^{-1}$ 处的吸收峰是由纤维素及糖类如 β -糖类、半乳糖、甘露糖、阿拉伯糖及多糖中的环振动产生。 $655\sim 585cm^{-1}$ 处的宽

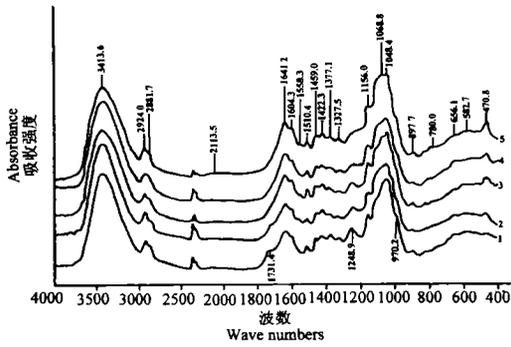


图5 不加N肥的玉米秸秆残体在腐解过程中FTIR光谱的动态变化

Fig.5 The dynamics changes of FTIR spectra of corn straw residues without N fertilizer during decomposition

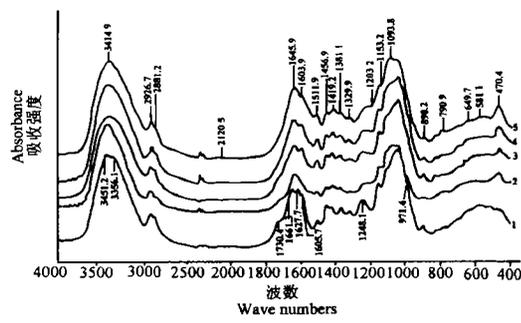


图6 加N肥的玉米秸秆残体在腐解过程中FTIR光谱的动态变化

Fig.6 The dynamics changes of FTIR spectra of corn straw residues with N fertilizer during decomposition

吸收带是羟基的面外变角振动。以上红外光谱吸收峰值的一些归属参照文献[7~12]。

未腐解的玉米秸秆的各组分加入尿素后,分别在 $3450\sim 3420$ 、 $3390\sim 3350$ 、 $1665\sim 1655$ 和 $1625\sim 1635\text{cm}^{-1}$ 处出现新的吸收峰。在 $3450\sim 3420$ 和 $3390\sim 3350\text{cm}^{-1}$ 处新出现两个肩峰,是尿素的N-H的对称和反对称伸缩振动形成的。在 $1665\sim 1655$ 和 $1625\sim 1635\text{cm}^{-1}$ 处出现的吸收峰,分别是伯酰胺的酰胺I与酰胺II带。而 $1450\sim 1460\text{cm}^{-1}$ 处的吸收峰的加强也是由于尿素中的N-H的变形振动吸收而引起。在 $530\sim 600\text{cm}^{-1}$ 区域内出现的宽吸收带吸收强度的增强则是由于尿素分子的变形振动而产生。

2.3 腐解过程中的FTIR变化

从不同腐解时期的玉米秸秆不同组分的红外光谱可见(图1~6),不加N肥的叶片处理在腐解过程中的红外光谱有如下的变化:首先是 2100 、 1729 、 1540 、 1375 、 1319 、 1240 、 1155 、 1050 、 970 、 897cm^{-1} 处的吸收峰的相对吸收强度逐渐变弱并直至消失,其次是 3050 、 2960 、 2855 、 1600 及 870cm^{-1} 处开始出现新的吸收峰;其中, 3050 、 2960 和 2855cm^{-1} 是在腐解四个月以后开始出现的,而 1600 和 870cm^{-1} 处的吸收峰,自腐解开始15天后便开始出现,并逐渐变强。这些吸收峰分别归属如下: 3050cm^{-1} 是苯环的C-H伸缩振动形成的; 2960cm^{-1} 为甲氧基中C-H反对称伸缩振动; 2855cm^{-1} 为甲氧基的对称伸缩振动; 1600cm^{-1} 为羧酸盐的 COO^- 、苯环的C=C伸缩振动、与苯环相连C=O伸缩振动及胺和胺盐中N-H的变形振动; 870cm^{-1} 是由 CO_3^{2-} 的存在而引起。再有是随着腐解的进行 3420 、 2925 、 2880 和 1640cm^{-1} 处吸收峰相对强度逐渐减弱,而 1100 、 800 和 470cm^{-1} 处的吸收峰则逐渐增强(与 $1505\sim 1515\text{cm}^{-1}$ 处吸收峰的强度相比),其中, 2880cm^{-1} 处的吸收峰随着腐解的进行向低频移动。另外, 1450 和 1420cm^{-1} 处的相对吸收强度亦逐渐增强(与 $2900\sim 2935\text{cm}^{-1}$ 处吸收峰的强度相比)。茎秆与叶片在多数红外吸收峰的强度变化上相近,但与叶片相比,有如下的不同:首先是在腐解过程中在 3035 、 2960 、 2865cm^{-1} 处无新的吸收峰出现;其次是在 1600cm^{-1} 处,茎秆在未腐解时就有吸收峰存在;第三, 1250 和 1160cm^{-1} 处的吸收峰强度显著高于叶片,并且 1250cm^{-1} 处的吸收峰最后分裂为两个峰;

第四,在腐解过程中,除了 1725cm^{-1} 处的吸收峰消失外,其它峰皆存在,只是在强度上发生变化。并且在茎的腐解过程中,腐解前与腐解后的红外光谱相似。秸秆腐解过程的红外光谱变化则介于上述二者之间。

对于加 N 肥的所有处理,在进行腐解前,红外光谱中尿素的特征峰全部显示出来,但在 15 天后,尿素的所有特征峰皆消失,以后的光谱变化同未加尿素处理,只是在腐解后第 15 天的红外谱图中, 1600 、 1450 和 1420cm^{-1} 处的吸收峰高于不施尿素处理。随着腐解的进行,红外光谱中各峰值强度增减的速度,施尿素处理显著大于不施尿素处理,由此也可以看出,尿素的施用对玉米秸秆的腐解具有促进作用。

2.4 由 FTIR 谱图变化判断腐解过程中物质的转化

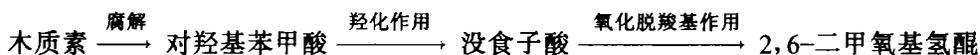
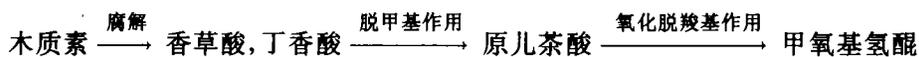
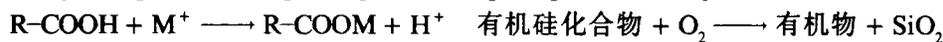
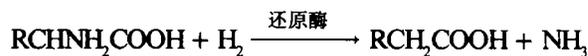
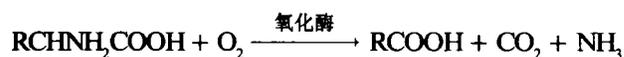
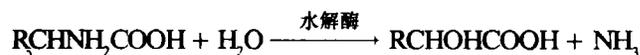
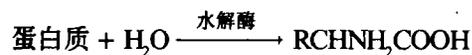
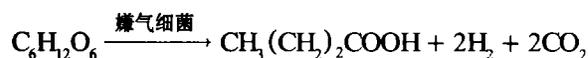
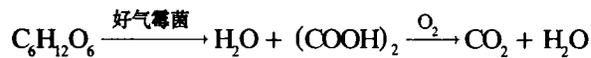
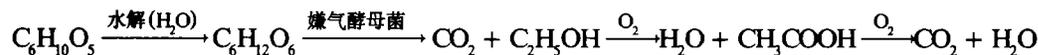
从化学分析已经知道,玉米秸秆中的主要有机成分为纤维素、半纤维素、蛋白质、木质素、脂蜡类及可溶性糖类。试验已证明,在腐解的前四个月之内,木质素的绝对含量变化很小^[10],并且,即使木质素发生分解,苯环含量亦无大的变化^[13],故将在 $1505\sim 1515\text{cm}^{-1}$ 处苯环的 $\text{C}=\text{C}$ 振动形成的吸收强度作为参比,将其它吸收峰的强度与之相比较,判断吸收峰相对强度的增减。就玉米叶片的腐解来说(图 1, 2), 3410 和 2925cm^{-1} 处的吸收峰相对强度逐渐降低,表明叶片残体中的碳水化合物在逐渐分解,从而使羟基和亚甲基基团不断减少。而 2886 和 1375cm^{-1} 处吸收峰强度的降低和消失,表明甲基和次甲基含量的降低,标示着脂肪族化合物的分解,并且这一过程伴随着脱甲基反应的发生。腐解进行到 15 天时, 1727cm^{-1} 处的吸收峰相对强度显著降低,并且在腐解 1 个月后, $1700\sim 1750\text{cm}^{-1}$ 区域不再有吸收峰存在,而 1600cm^{-1} 处则开始出现一个肩峰,这说明随着腐解的进行,一些羧酸酯类化合物发生水解,并且羧基与游离的阳离子形成羧酸盐,而酮羰基已不存在。 $1640\sim 1650\text{cm}^{-1}$ 处的吸收峰相对吸收强度降低,可能是木质素分解及木质素残体与其它分解生成的有机中间产物相聚合生成腐殖物质的标志。 $1550\sim 1555$ 和 $2120\sim 2128\text{cm}^{-1}$ 处吸收峰强度的降低,则标示着蛋白质及氨基酸的分解,而此时, $1450\sim 1460$ 和 $1410\sim 1430\text{cm}^{-1}$ 处吸收峰强度的增加,说明蛋白质分解以后生成酰胺类化合物及无机的氨盐和硝酸盐。 $1315\sim 1335$ 、 $1230\sim 1250$ 、 $1150\sim 1160$ 、 $1100\sim 970$ 和 897cm^{-1} 处吸收峰强度的降低,则是纤维素、半纤维素、糖类及其它碳水化合物分解的标志。同时,上述吸收峰的降低,也表明了酚类化合物被氧化成醌类物质。结合化学分析的结果可以确定,碳水化合物和脂肪族化合物分解形成的最终产物大部分是 CO_2 和水。另外, $1230\sim 1250\text{cm}^{-1}$ 处吸收强度的下降,也预示着叶中有机硅化合物分解转化为无机的硅氧化合物的过程,并且随着腐解的进行, $1100\sim 1105$ 、 $780\sim 805$ 及 $470\sim 480\text{cm}^{-1}$ 处的吸收峰强度不断增强,这是 SiO_2 和硅酸盐矿物等无机硅化物的特征吸收峰,标示着 SiO_2 等无机物的形成和积累。还可发现 870cm^{-1} 处在腐解 15 天后开始出现新的吸收峰,这一吸收峰是由于 CO_3^{2-} 的存在形成的,同时, $1410\sim 1430\text{cm}^{-1}$ 处吸收峰强度的增加亦与之有关,由于纤维素和糖类分解形成的 CO_2 与水形成碳酸,并与分解过程中游离出的金属离子形成碳酸盐,因而出现此吸收峰。腐解进行四个月后,在 3050 、 2960 和 2855cm^{-1} 开始出现三个肩峰, 3050cm^{-1} 是苯环的 C-H 伸缩振动形成的。 2960 和 2855cm^{-1} 处的吸收峰分别是甲氧基中 C-H 反对称和对称伸缩振动形成的吸收,这三个吸收峰的出现,表明了已开始有木质素的大分子分解成带甲氧基的氢醌类物质,同时,木质素残体及其分解产生的氢醌类物质与其它有机中间产物

的聚合反应也开始进行。

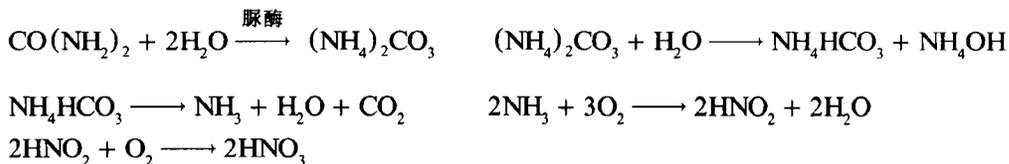
茎秆在腐解 180 天后(图 3,4),除了 1725cm^{-1} 处的吸收峰消失外,其它吸收峰与未腐解的茎秆的红外光谱的吸收峰无大的差别,表明茎秆在腐解过程中,物质组成无大的变化。而 1250cm^{-1} 处的吸收峰分裂成二个,是由于纤维素酯的分解,而使其吸收强度减弱,从而使苯酚的 C-O 伸缩振动与有机硅化合物的 Si-O 伸缩振动的吸收峰分开。在腐解过程中,茎秆在 $1105\sim 1100$ 、 $805\sim 780$ 及 $480\sim 470\text{cm}^{-1}$ 处的吸收峰强度的增加远远小于叶片和秸秆,并且在 $1515\sim 1100\text{cm}^{-1}$ 范围内的各吸收峰的变化很小。茎秆的这些光谱变化表明,在其腐解 180 天后,除了碳水化合物的脂肪族化合物发生分解外,木质素及有机硅化合物变化很小。甲氧基的含量也没有明显的变化,而未腐解的茎秆中 1600cm^{-1} 吸收峰的存在,则是由于茎秆中存在有机酸盐所致。这也标示着茎秆在腐解过程中物质的变化显著不同于叶片的腐解过程。由于茎秆在腐解中组成无大的变化,可以推定,当其施入土壤后,在一定的时期内,其对土壤的影响不如叶片,也就是说,茎秆对土壤的培肥作用在施入土壤后的一定时期内不及叶片。

就秸秆的腐解过程来说(图 5,6),红外光谱的变化介于叶片和茎秆二者之间,最明显的变化是 $2930\sim 2880\text{cm}^{-1}$ 区域吸收峰强度的降低,标志着甲基和亚甲基含量的降低,表明腐解秸秆的脂肪族特征下降。由于作为参比的是 1515cm^{-1} 处的芳香环 C=C 振动的吸收强度,因此,随着腐解玉米秸秆中化合物的脂族性的降低,它们的芳香性则相对趋于升高和增强。

通过上述的光谱分析并结合对作物残体中纤维素、碳水化合物、蛋白质及木质素等纯物质腐解过程中的元素示踪测定^[13],可推断玉米秸秆在腐解过程中有如下的转化过程:



对于加尿素处理,腐解 15 天后,尿素在 3450、3350、1661 和 1629 cm^{-1} 处的特征吸收峰皆消失,是由于尿素已被迅速转化的缘故,其反应如下:



3 结 论

从上面的分析结果可见,采用 FTIR 法研究玉米秸秆的腐解,可以反映出秸秆中主要物质成分的分解变化的。就叶的变化而言,随着腐解的进行,羟基、碳甲基和亚甲基的含量逐渐降低,而甲氧基的含量增加。茎秆在腐解过程中,甲氧基的含量则无大的变化。羧基在腐解的过程中皆以羧酸盐的形式存在。未腐解的玉米叶片中无羧酸盐存在,而未腐解的茎秆中则存在羧酸盐。甲基和亚甲基含量的降低,表明腐解秸秆的脂肪族特征下降。随着腐解玉米秸秆中化合物的脂族性的降低,它们的芳香性则趋于升高和增强。这也说明碳水化合物及脂肪族化合物分解较快,而木质素分解相对较慢。就不同组分分解形成的物质而言,碳水化合物和脂肪族化合物分解后大部分生成 CO_2 而放出;蛋白质和氨基酸等含 N 化合物一部分生成 CO_2 、 NH_4^+ 和 NO_3^- , 另一部分则以酰胺态存在;而木质素的分解则生成氢醌类物质。随着腐解的进行,有机成分中的无机元素特别是硅释放出来,并以 SiO_2 等氧化物的形式逐渐积累。茎秆中有机硅化合物和木质素的分解速度远低于叶片。N 肥的加入促进了玉米秸秆的分解。另外,化学分析还表明,叶片和茎秆混合堆腐的腐殖化系数远高于二者单独堆腐的腐殖化系数,至于腐解过程中形成的有机中间产物的聚合反应,由于比较复杂,因此,单凭红外光谱是难于判别的,这有待于采用化学和其他仪器分析方法的进一步分析。

参 考 文 献

1. Jiang Y, Tian S Z, Zhao L P. Effect of undecomposed organic materials on the fertility of soils. In: Transactions of the 14th International Congress of Soil Science. Vol. II, 1990, 420—421, Kyoto, Japan
2. 赵兰坡、姜岩. 施用有机物料对土壤酶活性的影响 I 有机物料对酶活性的效应. 吉林农业大学学报, 1987, 9(4): 43—50
3. 赛森, 陈恩凤, 须湘成. 施用有机物料对土壤胡敏酸结构特征的影响—胡敏酸的光学性质. 土壤学报, 1995, 32(1): 41—49
4. MacCarthy P, Rice J A. Spectroscopic methods for determining functionality in humic substances. In: Aiken G. R. (ed.) Humic Substances in Soil, Sediment and Water. New York: John Wiley and Sons, 1985. 527—543
5. Goering H K, Van Soest P S. Forage Fiber Analysis USDA-ARS Agric. Handbook, Washington, D C: U. S. Gov. Print. Office, 1971. 387—598
6. Vanlauwe B, Dendooven L, Merckx R. Residue fraction and decomposition: The significance of the active fraction. Plant and Soil, 1994, 158: 263—274
7. Kuwatsuka S, Watanabe A, Itoh K, Arai S. Comparison of two methods of preparation of humic and fulvic

- acids, IHSS method and NAGOYA method. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 1992, 38(1):23—30
8. Inbar Y, Chen Y, Hadar Y. Carbon-13 CPMAS NMR and FTIR spectroscopic analysis of organic matter transformations during decomposition of solid wastes from wineries. *Soil Sci.*, 1991, (4):272—281
 9. Durig D T, Esterle J S, Dickson T J, Durig J R. An investigation of the chemical variability of woody peat by FTIR spectroscopy. *Appl. Spectrosc.*, 1988, 42:1239—1244
 10. Inbar Y, Chen Y, Hadar Y. Solid-state carbon-13 nuclear magnetic resonance and infrared spectroscopy of composted organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1989, 53:1695—1701
 11. Koji Nakanshi, Solomon P H. 红外光谱分析 100 例. 北京:科学出版社,1984. 8—45
 12. 陈允魁编著. 红外吸收光谱法及其应用. 上海:上海交通大学出版社,1993. 63—130
 13. 于天仁,陈志诚主编. 土壤发生中的化学过程. 北京:科学出版社,1990. 213—214

STUDY ON DECOMPOSED CORN STRAW RESIDUE BY FOURIER TRANSFORM INFRARED SPECTROSCOPY

Wu Jing-gui Xi Shi-quan Zeng Guang-fu Wang Dong-mei

(Changchun Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Sciences, National Analytical

Research Center of Electrochemistry and Spectroscopy, Changchun 130022)

Jiang Yan Wang Ming-hui

(Jilin Agricultural University, Changchun 130118)

Summary

Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) was directly applied to study the decomposition process of corn straw residue (CSR). The result showed that FTIR spectra could indicate the dynamic changes of organic components during the decomposition process of CSR. With the progress of CSR decomposition, hydroxyl, ketonic carbonyl, methyl, methylene, methine and aliphatic compounds decreased, but aromatic compounds increased. This meant that the carbohydrates and aliphatic compounds decomposed quickly and lignin decomposed slowly. The inorganic elements, especially silicon, were reduced from the CSR and accumulated as oxides and some other inorganic elements were reacted with carboxyls to form carboxylates. In the process of decomposition, carboxyl existed as carboxylic ions, most carbohydrates and aliphatic compounds were oxidized to CO_2 and H_2O , the proteins and amino acids were decomposed to CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- and amides, and the lignin were decomposed to hydroquinones. As far as the differences between the leaf and the stem during the decomposition process of CSR, methoxy increased in the leaf, however, no significant changes were observed in the stem; the organic silicon compounds and lignin decomposed significantly in the leaf, but the change was little in the stem; undecomposed leaf didn't contain carboxylic ions, on the contrary, carboxylic ions existed in undecomposed stem. During the decomposition process of CSR, addition of N fertilizer promoted the decomposition progress of CSR. The chemical analyses showed that the humification index when the leaf and stem were mixed and decomposed was higher than that when the leaf and stem were decomposed separately.

Key words FTIR spectroscopy, Corn straw residue (CSR), Decomposition progress.