

麦秸不同部位生物降解速率差异

王佳佳^{1,2}, 奚永兰², 常志州^{2*}, 王暝琰², 张 荣²

(1.南京师范大学生命科学学院, 江苏 南京 210023; 2.江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014)

摘 要:通过外源添加娄氏链霉菌(*Streptomyces rochei*),研究其对麦秸不同部位腐解速率的影响,模拟常温、淹水条件,进行为期27 d的腐解试验,测定麦秸叶片、叶鞘、穗轴、茎以及根在腐解过程中的干物质损失率、纤维素酶活力、放线菌数量、纤维组分及结晶度、总酚酸理化指标,并对其进行相关性分析。结果表明:娄氏链霉菌能在淹水环境下成为优势菌株;麦秸不同部位腐解速率为:叶片>叶鞘>穗轴>根>茎;干物质损失率与纤维素酶活、纤维素酶活与总酚酸呈极显著正相关($P<0.01$),干物质损失率与总酚酸呈显著正相关($P<0.01$);麦秸不同部位中穗轴、茎和根的腐解速率比较慢,且穗轴、茎和根占整株麦秸的比重比较大,根据这一结论,将有机物料腐熟剂接种到麦秸的茎和穗轴部位,可加快麦秸的腐解速率,为秸秆的资源利用及接种装置在收割机上固定位置的确定提供科学依据。

关键词:麦秸;不同部位;娄氏链霉菌;生物降解

中图分类号:X712

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2015)01-0074-07

doi: 10.13254/j.jare.2014.0324

The Differences of Biodegradation Rates in the Different Parts of Wheat Straw

WANG Jia-jia^{1,2}, XI Yong-lan², CHANG Zhi-zhou^{2*}, WANG Ming-yan², ZHANG Rong²

(1.College of Life Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2.Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: Decomposing experiment was carried out to study the decomposition rates of different parts of wheat straw by adding *Streptomyces rochei* with a period of 27 d under the room temperature and flooding conditions. Physical and chemical indexes such as the rate of dry matter, the activity of cellulose enzyme, the number of experimental fungus, fiber composition and crystallinity, and total phenolic acid were measured and analyzed in different parts of straw leaves, sheaths, cobs, stems and roots. Results indicated that *Streptomyces rochei* became the dominant strains under the flooded environment. Wheat straw decomposing speed of different parts were: leaves>sheaths>cobs>roots>stems. Loss rate of dry matter and cellulose enzyme activity, cellulose enzyme activity and total phenolic acids had significant positive correlation at 0.01 level. Meanwhile, loss rate of dry matter and total phenolic acids were also positively correlated. The decomposing rates of cobs, stems and roots were slower than others, and they were accounted for a relatively large proportion of the whole wheat straw. According to the conclusion, using the inoculum favorable wheat straw decomposition, inoculants should be inoculated into the stems and cobs site to speed up the decomposing of straw. It also could provide the scientific basis for resource utilization and determine a fixed position on the harvester for vaccination equipment.

Keywords: wheat straw; different parts; *Streptomyces rochei*; biodegradation

近年来秸秆还田作为一项养地与低耗持续的农业生产方式,得到了广泛应用^[1]。目前我国秸秆还田面积已超过0.24亿hm²,随着农村燃料矛盾的缓解、经济的发展、劳动力的转移和农业机械化程度的提高,秸秆直接还田的面积有逐年扩大的趋势^[2]。据统计数据

显示,2010年,全国稻秆综合利用率达到70.6%,其中以肥料(包括直接还田)用量最多,占秸秆资源的36.6%^[3]。美国自20世纪80年代就开始大力推进秸秆还田技术的应用,且已把秸秆还田当作一项农作制度,坚持常年实施,从而使其大部分农田的有机质含量保持在2%~3%;加拿大以小麦、玉米、大豆、马铃薯、油菜5大作物生产为主,常年风干秸秆产量在5350万t左右(不包括青饲料产量),这些秸秆的2/3以上用于直接还田^[4];日本把秸秆直接还田当作农业生产中的法律去执行,同时,积极推进秸秆腐熟菌剂应用^[5]。

收稿日期:2014-11-18

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金(CX(12)1002)

作者简介:王佳佳(1988—),女,河南漯河人,硕士研究生,研究方向为农业废弃物处理与处置。E-mail: wangjiajia2007@126.com

*通信作者:常志州 E-mail: czhizhou@hotmail.com

由此可见,秸秆还田是解决秸秆焚烧、提高土地综合生产能力及促进生态环境系统良性循环的重要举措^[6-7]。

秸秆还田可以减少化肥用量,增加土壤有机质含量,改善土壤结构,但在自然条件下,秸秆腐解速率慢,在收种转换季节矛盾突出区域,会给后茬作物生长带来不利影响,不但影响作物的生根和成活,同时还对栽培管理造成诸多不便^[8-9]。而有机物料腐熟剂是解决这些问题的有效途径之一^[10],目前稻麦收割机械化已十分普及,若将有机物料腐熟剂的添加与机械收割结合起来,一次性完成稻麦收割和秸秆接种剂接种工作,既能节省人力又能节省物力。由于在机械收割、脱粒及风选过程中,秸秆与穗、茎部以及部分叶片被分离^[11],所以本研究对麦秸的不同部位腐解速率快慢差异进行研究,旨在为腐熟菌剂接种及确定接种装置在收割机上的位置固定提供科学依据,为秸秆的资源化利用以及快速腐熟提供有力支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

(1)供试麦秸:采自江苏省农业科学院小麦试验基地,选取成熟干燥未腐烂的小麦秸。将麦秸分成叶片、叶鞘、穗轴、茎和根 5 个部位烘干备用。麦秸各部位基本理化性状如表 1。

(2)供试菌种:娄彻氏链霉菌(*Streptomyces rochei*),由本实验室分离所得,是一株高效纤维素降解菌。

(3)供试土壤:试验土壤取自江苏省农业科学院试验田,基本性状为:有机碳 13.38 g·kg⁻¹,全氮 1.45 g·kg⁻¹,全磷 0.80 g·kg⁻¹,速效钾 150.21 mg·kg⁻¹。

1.2 备用菌液的制备

将培养好的菌种接种于 300 mL 高氏液体培养基中,28 ℃,200 r·min⁻¹ 摇床培养 48 h。将培养好的菌液离心浓缩,重悬于 0.9%的生理盐水中,匀浆 5 s 制成浓度均一的菌液,备用。

1.3 土壤浸提液的制备

取新鲜土壤与蒸馏水按质量 1:10 混合,60 r·min⁻¹ 振荡 1 h,过滤,上清液即为土壤水浸提液。

1.4 麦秸不同部位的试验处理

设置麦秸叶片、叶鞘、穗轴、茎、根 5 个处理,各称量 5 g 放入孔径 1 cm 的纱网中,捆扎后放置三角瓶中,加尿素调节 C/N 比至 25:1,各添加 60 mL 未灭菌的土壤浸提液,另设置 2 个对照组,以整株秸秆为材料,CK1 加入灭菌的 60 mL 土壤浸提液;CK2 加入未灭菌的 60 mL 土壤浸提液。各处理均添加 5 mL 菌液使接种量控制在 10⁵~10⁶·g⁻¹ 秸秆,最后添加 120 mL 无菌水。每个处理 3 组平行,放置人工气候箱,白天 30 ℃,晚上 25 ℃,湿度 90%,暗室培养 27 d,每隔 3 d 按恒重法补充水分。取样时间为:0、3、7、11、16、21、27 d。

1.5 测定项目与方法

全氮:半微量凯氏定氮法;全磷:钼锑抗比色法;速效钾:NH₄OAc 火焰光度法^[12];钙镁铁硅:等离子发射光谱仪测定^[13];放线菌数量:梯度平板计数法;纤维素酶活:3,5-二硝基水杨酸(DNS)显色法测定纤维素酶活^[14];纤维素、半纤维素及木质素:采用范氏(Van Soest)洗涤法测定麦秸纤维素、半纤维素及木质素含量^[15];纤维素结晶度:X-光谱分析^[16-17];COD:重铬酸钾法;总酚酸:磷钼酸-磷钨酸盐比色法^[18]。

1.6 数据与分析

变量的差异采用单因素方差分析(analysis of variance,ANOVA),均值比较采用最小显著差法(least significant difference,LSD),显著性水平 $P=0.05$ 。麦秸不同器官腐解过程中干物质损失率、纤维素酶活力、放线菌数量和总酚酸之间的皮尔逊相关性采用软件 SPSS 16.0v 分析。

2 结果与分析

2.1 麦秸不同部位腐解过程中的干物质损失率

麦秸的干物质损失率动态变化如图 1 显示,腐解

表 1 供试麦秸主要成分含量
Table 1 The main component contents of wheat straw

麦秸部位	TS/%	VS/%	有机碳 /%	全氮 /g·kg ⁻¹	磷 /%	钾 /%	钙 /%	镁 /%	铁 /mg·kg ⁻¹	硅 /mg·kg ⁻¹
叶片	90.23	80.30	48.01	9.90	0.19	0.35	7.61	1.59	365.90	5.83
叶鞘	88.29	80.51	48.65	6.64	0.18	0.29	4.13	1.20	212.88	0.70
穗轴	88.47	82.09	51.70	5.67	0.18	0.37	3.26	1.27	271.90	1.23
茎	89.29	84.50	52.54	5.22	0.28	0.28	2.85	0.79	282.40	2.63
根	89.59	84.76	53.75	4.77	0.18	0.23	2.67	0.46	341.15	3.60
整株	88.32	80.56	52.45	7.86	0.21	0.28	4.53	1.11	319.15	3.17

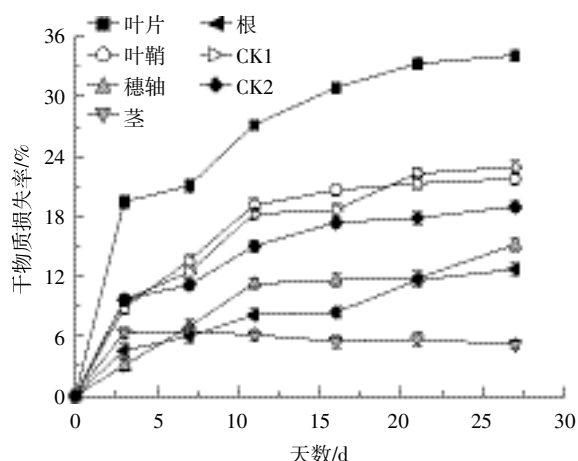


图 1 麦秸不同部位腐解中干物质损失率动态变化

Figure 1 The dynamic changes of dry matter loss rate during decomposing process of different parts of wheat straw

3 d 后干物质损失率急剧增加,随着腐解时间的延长,变化幅度放缓,腐解 27 d 后,叶片、叶鞘、穗轴、茎、根、CK1、CK2 的干物质损失率分别为:34.15%、21.77%、15.16%、8.14%、12.71%、22.98%、18.99%。从图 1 可明显看出对照组 CK1 腐解效果较 CK2 好,干物质损失率高于 CK2,这可能是由于 CK1 是加入灭菌的土壤浸提液,除接种的娄氏链霉菌外并没有其他微生物竞争,而土壤浸提液中有丰富的矿物质、微量元素为娄氏链霉菌利用,加快了秸秆的降解。叶片的干物质损失率明显高于其他组,这与叶片的结构和成分^[9]有着重要关系,相比其他部位,叶片的质地最松软,含脂肪和蛋白质较多且其木质素含量明显低于其他处理组,最容易为微生物腐解。叶鞘包围着茎和叶的基部,其干物质损失率明显低于叶片。茎的腐解速率较其他麦秸部位都慢,是麦秸中最难降解的部分,在秸秆还田腐解菌剂接种时,应优先将菌剂接种到麦秸的茎部。麦秸各部位降解速率依次为叶片>叶鞘>穗轴>根>茎。

2.2 麦秸不同部位腐解过程中纤维素酶活力变化

纤维素酶是水解酶的一种,它可以将麦秸中较难水解的纤维素水解为纤维二糖,进而分解为葡萄糖以便于微生物利用^[20],所以纤维素酶活力的变化可以反映降解过程中有机物的降解情况,可间接判断麦秸中有机碳的含量变化情况^[21]。如图 2 所示,除了叶片和 CK2 的纤维素酶活力在第 3 d 和第 16 d 出现 2 个波峰,其他几组处理均只出现 1 个波峰,且波动幅度不大。整体来看,各处理纤维素酶活力变化趋势为先缓慢增加,然后在 11 d 急速增加,第 16 d 达到最大值,接

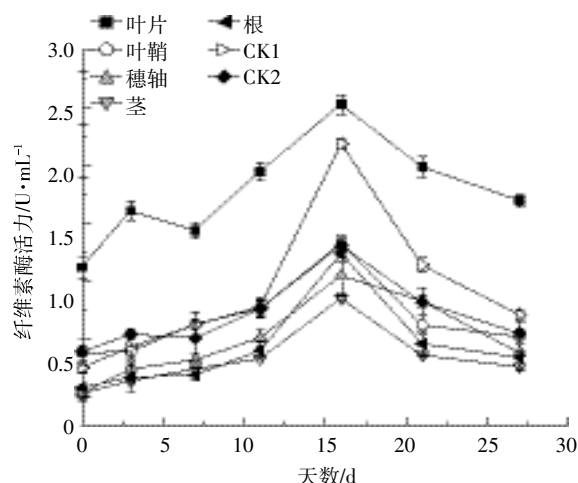


图 2 麦秸不同部位腐解过程中纤维素酶活力的动态变化

Figure 2 The dynamic changes of cellulose enzyme activity during decomposing process of different parts of wheat straw

着急速减少,最后缓慢递减。由于麦秸不同部位结构、营养元素含量不同,被微生物利用的难易程度不同^[21],其纤维素酶活力有所不同,最终产生的纤维素酶的量也不同。所有处理的纤维素酶活力均在第 16 d 达到最大值,麦秸不同部位纤维素酶活力的大小为:叶片>叶鞘>穗轴>根>茎。其中叶片的纤维素酶活力在第 16 d 高达 2.53 U·mL⁻¹,而茎的纤维素酶活力只有 0.85 U·mL⁻¹。另外,纤维素酶活力的变化与微生物的数量及种类有关,不同的降解菌,产酶特性不同^[22],如对照组 CK1 纤维素酶活力整体显著高于 CK2,CK2 中添加的是未灭菌的土壤浸提液,所以其微生物数量和种类均比 CK1 丰富,但其纤维素酶活力却低于 CK1,这也说明了系统中存在着土著微生物与接种菌间存在着竞争,降低了接种菌的功能,这表明,在生产实践中应保证一定接种量,才能发挥腐熟菌剂接种的效果。

2.3 麦秸不同部位腐解过程中放线菌数量对数值的动态变化

图 3 为麦秸不同部位腐解过程中放线菌对数值的动态变化。培养前 5 d 各处理的放线菌数量急剧下降,随后大量有机物的溶出促进了微生物的生长利用,在第 11 d 出现 1 个小高峰,随后,可能由于微生物的代谢速率大于秸秆有机物的溶出速率,在第 16 d 放线菌数量又出现了大幅度的减少,之后有机物中易利用有机碳消耗殆尽,第 20 d 后放线菌数量再次急剧下降。从对照组来看,培养前 11 d,CK1 的放线菌数量一直高于 CK2,随后 CK2 的放线菌数量慢慢超过了 CK1。土壤是微生物资源最为丰富的宝藏^[23],韩新忠等^[24]的研究表明麦秸还田后土壤微生物的总量

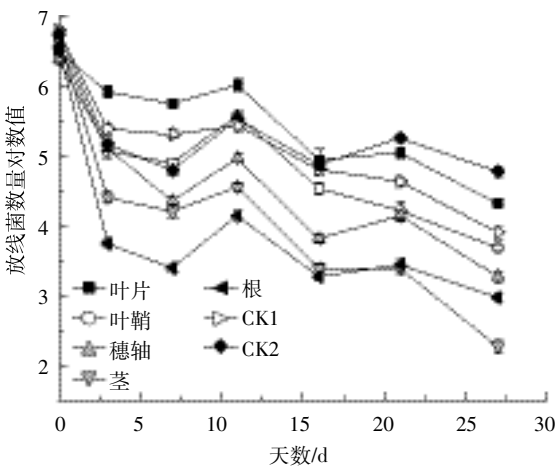


图 3 麦秸不同部位腐解过程中放线菌数量对数值的动态变化
Figure 3 The dynamic changes of the concentration of numerical of actinomycetes during decomposing process of different parts of wheat straw

急剧上升,而且以细菌和放线菌为主,所以 CK2 的放线菌数量在前 15 d 仅次于叶片的放线菌数量,且在 15 d 后放线菌数量最多。另外,由于麦秸不同部位的组成和结构不同^[19],有机物溶出的速率也不相同,可以看出各处理的放线菌数量也有很大差异,叶片的放线菌数量明显高于麦秸其他部位,叶鞘次之,根的放线菌数量最少。

2.4 麦秸不同部位腐解前后纤维组分及结晶度的变化

秸秆主要由粗纤维和少量的碳水化合物、脂肪、粗蛋白等易降解的物质组成。粗纤维约占秸秆的 70%~80%,主要包括纤维素、半纤维素和木质素等^[25-26]。纤维素的结晶区通常是微生物和酶难以接触进入的区域,是限制秸秆中纤维素有效降解的首要因素,所以结晶度(CrI)经常用作表征生物质水解和生物降解程度的参数^[16]。

由表 2 可以看出,麦秸不同部位的半纤维素、纤维素及木质素含量有很大的差异^[27],不同处理间差异明显($P<0.05$)。不同部位纤维含量从高到低排列依次为:半纤维素含量:茎>根>叶鞘>叶片>穗轴;纤维素含量:穗轴>茎>根>叶鞘>叶片;木质素含量:根>茎>穗轴>叶鞘>叶片。

腐解过程中,麦秸半纤维素、纤维素和木质素含量均有所降低。虽然穗轴中纤维素含量最高,半纤维素含量最低,但腐解前后其半纤维素腐解率最小,木质素腐解率最大。茎中半纤维素含量最高,纤维素和木质素含量也较高,但在腐解前后其纤维素腐解率最小。根中木质素含量最高,但其腐解率最小。虽然与麦秸其他部位相比,叶鞘中纤维素与木质素含量均不高,但其纤维素和木质素的腐解率在麦秸不同部位中均排第二。而叶片中纤维素和木质素含量均为最少,且其半纤维素含量也不高,但其半纤维素及纤维素的腐解率均为最大,不同部位中 3 种纤维组分降解速率呈现出无规律性变化。因此,从纤维组分的分析结果可以粗略判定,叶片最容易降解,叶鞘次之,根、茎最难降解,且麦秸不同部位的木质素含量越高,越难腐解;对照组,CK1 的半纤维素、纤维素及木质素相对减少量明显高于 CK2,这与前面干物质损失率的结果一致。

结晶度作为描述纤维素超分子结构的一个重要参数,与木质素、纤维素和半纤维素含量密切相关^[17]。由图 4 可以看出,麦秸不同部位的结晶度有所不同,叶片、叶鞘、穗轴、茎、根的结晶度分别为 46.13%、49.99%、52.47%、56.51%、51.18%。穗轴、茎和根,由于其木质化程度较高,纤维素分子排列较紧密,形成的纤维素结晶区比例也较高,从而使其纤维素的结晶度也很高。经过 27 d 腐解,由于微生物的降解作用,麦

表 2 麦秸不同部位腐解前后半纤维素、纤维素及木质素的变化

Table 2 The changes of hemicellulose, cellulose and lignin of different parts of wheat straw before and after decomposition

处理	半纤维素 /%			纤维素 /%			木质素 /%		
	腐解前	腐解后	腐解率	腐解前	腐解后	腐解率	腐解前	腐解后	腐解率
叶片	26.96 ± 0.20	14.89 ± 0.09	44.77a	36.38 ± 0.12	19.94 ± 0.10	45.19a	5.26 ± 0.12	4.51 ± 0.24	14.26c
叶鞘	27.47 ± 0.10	20.56 ± 0.07	25.15e	46.47 ± 0.20	27.11 ± 0.14	41.66b	7.07 ± 0.09	5.63 ± 0.13	20.37b
穗轴	21.18 ± 0.08	18.91 ± 0.09	10.72f	51.47 ± 0.14	38.01 ± 0.13	26.15d	8.13 ± 0.08	6.14 ± 0.12	24.48a
茎	27.79 ± 0.10	20.02 ± 0.13	27.96d	49.11 ± 0.09	41.19 ± 0.13	16.13g	9.67 ± 0.15	9.02 ± 0.14	6.72d
根	27.65 ± 0.09	18.80 ± 0.12	32.01c	46.83 ± 0.11	38.66 ± 0.15	17.45f	11.10 ± 0.11	10.81 ± 0.17	2.61e
CK1	26.34 ± 0.15	17.49 ± 0.14	33.60b	49.59 ± 0.16	36.35 ± 0.10	26.70c	7.27 ± 0.18	5.58 ± 0.12	23.25ab
CK2	26.44 ± 0.17	17.78 ± 0.20	32.75c	46.79 ± 0.06	35.17 ± 0.12	24.83e	9.48 ± 0.15	7.32 ± 0.09	22.78ab

注:表中相同小写字母表示差异不显著,不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

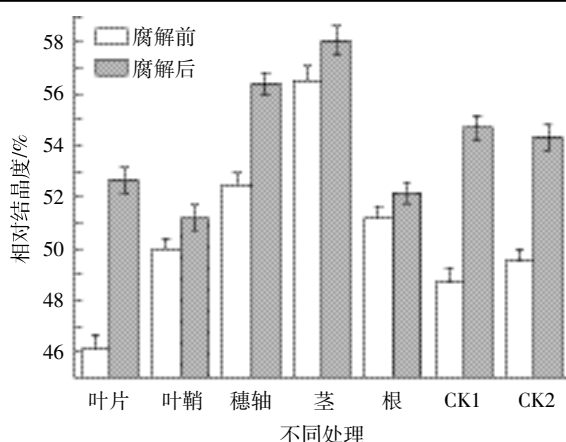


图 4 麦秸不同部位腐解前后纤维素结晶度的变化

Figure 4 The changes of the degree of crystallinity of cellulose of different parts of wheat straw before and after decomposition

秸纤维素结晶区和无定形区均有破坏,而纤维素具有的还原性末端基的葡萄糖基会逐个水解,直到纤维素末端基转化为偏变糖酸基的反应稳定为止,这种反应主要发生在纤维素的无定形区^[28],另外,纤维素结晶区也可能发生了重结晶作用,结果出现了无定形区衍射峰强度减弱,结晶区衍射峰增强的现象,导致麦秸不同部位的纤维素的结晶程度均有所增加^[29],不同部位的相对结晶度增加幅度为:叶片>穗轴>茎>叶鞘>根,可见麦秸不同部位结晶度的变化规律和三素含量的变化略有不同,随部位的不同,呈现波动趋势。对照组 CK1 的相对结晶度增加量明显高于 CK2。

2.5 麦秸不同部位腐解过程中总酚酸的动态变化

麦秸在降解过程中会产生一些酚酸类物质,这类酚酸物质的变化会直接影响到微生物的种群数量和微生物的纤维素酶活性,最终将影响微生物对营养元素的吸收利用^[30]。如图 5 所示,本试验 7 个不同处理总酚酸含量变化趋势为前 3 d 急剧增加,随着纤维素

酶活在第 16 d 达到了最大值,总酚酸含量又大幅度增加,并在第 21 d 达到最大值,随后由于易利用有机物消耗殆尽,总酚酸含量急剧下降。其中,叶片的总酚酸含量明显高于其他组,且在第 21 d 其总酚酸含量高达 190.47 mg·L⁻¹。穗轴的总酚酸含量仅次于叶片,略高于叶鞘。茎和根的总酚酸含量较其他组略低。对照组前期 CK1 和 CK2 的总酚酸含量基本相同,第 16 d 后 CK1 的总酚酸含量略高于 CK2,这可能与放线菌数量变化有关。

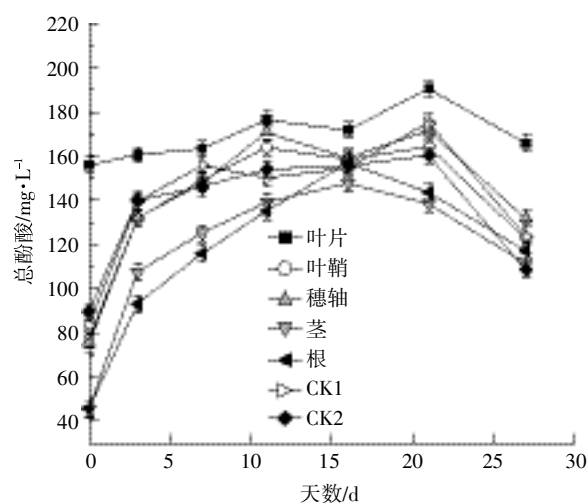


图 5 麦秸不同部位腐解过程中总酚酸含量的动态变化

Figure 5 The dynamic changes of total phenolic acid during decomposing process of different parts of wheat straw

2.6 各测定指标之间的相关性分析

本文运用 SPSS 中的 Pearson 相关分析方法研究了各测定指标之间的相关性。如表 3 所示:干物质损失率与纤维素酶活力呈极显著正相关($P<0.01$),且干物质损失率与总酚酸在 0.05 水平(双侧)上呈显著正相关($r=0.799^*$, $P<0.05$),而干物质损失率与放线菌数

表 3 各测试指标相关性分析结果

Table 3 The regression analysis results of the tested index

指标	相关性	干物质损失率	纤维素酶活力	放线菌数量对数值	总酚酸
干物质损失率	Pearson 相关性	1	0.926**	0.750	0.799*
	显著性(双侧)		0.003	0.052	0.031
纤维素酶活力	Pearson 相关性	0.926**	1	0.579	0.891**
	显著性(双侧)	0.003		0.173	0.007
放线菌数量对数值	Pearson 相关性	0.750	0.579	1	0.308
	显著性(双侧)	0.052	0.173		0.501
总酚酸	Pearson 相关性	0.799*	0.891**	0.308	1
	显著性(双侧)	0.031	0.007	0.501	

注:“**”在 0.01 水平(双侧)上显著相关;“*”在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

量对数值无显著关系。另外,纤维素酶活力与总酚酸呈极显著正相关($r=0.891^{**}$, $P<0.01$)。

3 讨论

试验以整株秸秆设计了2个对照组,对照组CK1纤维素酶活力整体显著高于CK2,CK2中添加的是未灭菌的土壤浸提液,虽然其微生物数量和种类均比CK1丰富,但其纤维素酶活力却低于CK1。总体来看,对照组CK1的干物质损失率及其他指标的处理效果均优于CK2,说明试验菌种具有一定的降解优势,这与钱玉婷^[27]的研究结果一致,同时系统中存在着土著微生物与接种菌间存在着竞争,导致试验菌的功能有所降低,所以在生产实践中应保证一定的接种量,才能发挥腐熟菌剂接种的效果。

由试验分析结果可知,叶片最容易腐解,叶鞘次之,根、茎最难腐解,且不同部位的木质素含量越高越难腐解^[20],整体来看麦秸不同部位腐解速率快慢为:叶片>叶鞘>穗轴>根>茎,其中茎的腐解速度最慢。麦秸不同部位中纤维组分降解速率呈现出无规律性变化,结合结晶度的变化,推测麦秸不同部位其纤维组分的结合形式有所不同,导致其纤维组分降解的快慢有所不同。

相关性分析结果表明:干物质损失率与纤维素酶活力、纤维素酶活力与总酚酸都在0.01水平上呈极显著正相关,干物质损失率与总酚酸也呈显著正相关,但放线菌数量对数值与其他指标无显著相关性。从分析结果来看,纤维素酶活对各测定指标有很大的影响,而纤维素酶活又与微生物有千丝万缕的联系^[23],所以虽然相关性的分析结果显示放线菌数量对数值与其他各测定指标间并无显著相关性,在实际应用上我们应该把试验菌的数量及其生理生化特性考虑在内。

4 结论

经过27d的腐解,试验所用菌种有一定的降解优势,麦秸不同器官腐解速率快慢为:叶片>叶鞘>穗轴>根>茎。麦秸穗轴、茎、根的腐解速率比较慢且占整株麦秸的比重比较大,根据这一结论在收割的过程中,将接种装置固定在收割机出草口下部,尽可能将接种剂接种到麦秸比重较大的茎和穗轴部位,同时可适当增加腐熟剂接种剂量,便于加快麦秸的腐解。另外麦秸在降解过程中会产生一些酚酸类物质,这类酚酸物质的变化是否会直接影响微生物的种群数量和微生物的纤维素酶活性,还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 毕于运. 秸秆资源评价与利用研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
BI Yu-yun. Study on straw resources evaluation and utilization[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2010. (in Chinese)
- [2] 夏俊芳, 袁巧霞, 周 勇. 我国秸秆还田机械化发展现状与对策[J]. 黄冈职业技术学院学报, 2002, 4(2): 48-49.
XIA Jun-fang, YUAN Qiao-xia, ZHOU Yong. The actuality and countermeasure of development to mechanized returning straws into the soil [J]. *Journal of Huanggang Polytechnic*, 2002, 4(2): 48-49. (in Chinese)
- [3] 王舒娟. 江苏省农户秸秆综合利用的实证研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
WANG Shu-juan. Research on rural householders' comprehensive utilization in Jiangsu Province[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- [4] Yukihiko Mastumura, Tomoaki Minowa, Hiromi Yamamoto. Amount, availability, and potential use of viii straw (agricultural residue) biomass as an energy resource in Japan[J]. *Biomass and Bioenergy*, 2005, 295: 347-354.
- [5] 王娟娟. 日本农业“六次产业化”分析[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
WANG Juan-juan. The analysis about the 'sixth-order industrialization' of agriculture in Japan[D]. Changchun: Jilin University, 2014. (in Chinese)
- [6] 蒙 静, 曹云娥, 姚 英, 等. 秸秆还田对土壤理化及生物性状影响的研究进展[J]. 北方园艺, 2013(11): 184-186.
MENG Jing, CAO Yun-e, YAO Ying, et al. Research process of physicochemical and biological properties of returning straw into field[J]. *Northern Horticulture*, 2013(11): 184-186. (in Chinese)
- [7] 王 萍. 秸秆还田的优势及技术要点[J]. 现代农业科技, 2014(3): 251-252.
WANG Ping. The advantages and technical points of straw returning[J]. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2014(3): 251-252. (in Chinese)
- [8] 张 鹏, 李 涵, 贾志宽, 等. 秸秆还田对宁南旱区土壤有机碳含量及土壤碳矿化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(12): 2518-2525.
ZHANG Peng, LI Han, JIA Zhi-kuan, et al. Effect of straw returning on soil organic carbon and carbon mineralization in semi-arid of southern Ningxia China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(12): 2518-2525. (in Chinese)
- [9] 路文涛, 贾志宽, 高 飞, 等. 秸秆还田对宁南旱作农田土壤水分及作物生产力的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(1): 93-99.
LU Wen-tao, JIA Zhi-kuan, GAO Fei, et al. Effect of straw returning on soil water and crop productivity in the rainfed area of southern Ningxia China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(1): 93-99. (in Chinese)
- [10] 霍培书, 陈雅娟, 程旭艳, 等. 添加VT菌剂和有机物料腐熟剂对堆肥的影响[J]. 环境工程学报, 2013, 7(6): 2339-2343.
HUO Pei-shu, CHENG Ya-juan, CHENG Xu-yan, et al. Effect of inoculating VT microbes and organic matter-decomposing inoculant on high-temperature aerobic composting[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2013, 7(6): 2339-2343. (in Chinese)

- [11] 田 东, 徐修奎, 朱文明, 等. 洪泽湖农场稻麦机械化秸秆全量还田技术应用现状及成效[J]. 现代农业科技, 2012(7): 286-289.
TIAN Dong, XU Xiu-kui, ZHU Wen-ming, et al. The technology application present situation and the results about Hongze lake farm mechanization of rice and wheat straw full amount returning into field [J]. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2012(7): 286-289. (in Chinese)
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析(第 3 版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 41-85.
BAO Shi-dan. Soil agrochemical analysis (3rd Edition)[M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2002: 41-85. (in Chinese)
- [13] 刘慧琴, 张文娟, 钟少芳, 等. 微波消解-电感耦合等离子-质谱法测定船用燃料油中钒、铝、钙、锌、镍、钠、铁和硅[J]. 光谱实验室, 2010, 27(5): 2056-2060.
LIU Hui-qin, ZHANG Wen-juan, ZHONG Shao-fang, et al. Determination of V, Al, Ca, Zn, Ni, Na, Fe and Si in marine fuel oil by ICP-MS with microwave-assisted digestion[J]. *Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory*, 2010, 27(5): 2056-2060. (in Chinese)
- [14] 何凤琴, 黄 婷, 钱 昉, 等. 滤纸法测定饲用纤维素酶酶活的研究[J]. 中国饲料, 2009(13): 37-41.
HE Feng-qin, HUANG Ting, QIAN Fang, et al. Studies on determination of feed cellulase activity by filter paper assay method[J]. *China Feed*, 2009(13): 37-41. (in Chinese)
- [15] 李淑君. 植物纤维水解技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 55-59.
LI Shu-jun. Cellulose hydrolysis technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009: 55-59. (in Chinese)
- [16] 江泽慧, 费本华, 杨 忠. 光谱预处理对近红外光谱预测木材纤维素结晶度的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(3): 435-438.
JIANG Ze-hui, FEI Ben-hua, YANG Zhong. Effects of spectral pre-treatment on the prediction of crystallinity of wood cellulose using near infrared spectroscopy[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2007, 27(3): 435-438. (in Chinese)
- [17] 杨淑敏, 江泽慧, 任海青, 等. 利用 X-射线衍射法测定竹材纤维素结晶度[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(8): 75-77.
YANG Shu-min, JIANG Ze-hui, REN Hai-qing, et al. Determination of cellulose crystallinity of bamboo culms with X-ray diffraction spectrum[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2010, 38(8): 75-77. (in Chinese)
- [18] 刘朝霞, 邹 坤, 周 媛, 等. 酶法预处理苧麻叶提取总酚酸的工艺优化[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(10): 2105-2107.
LIU Zhao-xia, ZOU Kun, ZHOU Yuan, et al. Optimization of extraction technology of total phenolic acid from *Boehmerianivea* by cellulose enzyme[J]. *Hubei Agricultural Science*, 2011, 50(10): 2105-2107. (in Chinese)
- [19] 井良霄. 干青玉米秸秆厌氧发酵特性与优化工艺研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
JING Liang-xiao. Study on anaerobic digestion properties and process technology optimizations of corn stalks[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2013. (in Chinese)
- [20] 刘彩娟, 孙满吉, 孙金艳, 等. 饲料中添加复合益生菌对奶牛瘤胃发酵及纤维素酶活的影响[J]. 动物营养学报, 2011, 23(5): 821-827.
LIU Cai-juan, SUN Man-ji, SUN Jin-yan, et al. Dietary compound probiotics on rumenfermentation and cellulose activity in dairy cows[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(5): 821-827. (in Chinese)
- [21] 张立霞. 纤维降解菌组合的筛选、优化及对玉米秸秆的降解效果[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
ZHANG Li-xia. Study on screening and optimizing of the combination of cellulolytic bacteria and the effect on the degradation of corn stalk [D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2014. (in Chinese)
- [22] 闫贵龙, 曹春梅, 鲁 琳, 等. 玉米秸秆不同部位主要化学成分和活体外消化率比较[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(3): 70-74.
YAN Gui-long, CAO Chun-mei, LU Lin, et al. Comparison of main chemical composition and in vitro digestibility in various sections of corn stalks[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2006, 11(3): 70-74. (in Chinese)
- [23] 李忠和. 吉林西部稻田土壤微生物及酶活性对碳变化响应机制研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
LI Zhong-he. The response mechanism of soil microbes and enzyme activity on carbon variations of paddy soil in western Jilin[D]. Changchun: Jilin University, 2014. (in Chinese)
- [24] 韩新忠, 朱利群, 杨敏芳, 等. 不同小麦秸秆还田量对水稻生长、土壤微生物生物量及酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(11): 2192-2199.
HAN Xin-zhong, ZHU Li-qun, YANG Min-fang, et al. Effects of different amount of wheat straw returning on rice growth, soil microbial biomass and enzyme activity[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(11): 2192-2199. (in Chinese)
- [25] 赵蒙蒙, 姜 曼, 周祚万. 几种农作物秸秆的成分分析[J]. 材料导报, 2011, 25(16): 122-125.
ZHAO Meng-meng, JIANG Man, ZHOU Zuo-wan. The components analysis of several kinds of agricultural residues[J]. *Materials Review*, 2011, 25(16): 122-125. (in Chinese)
- [26] 向殿军, 满丽莉, 张春风, 等. 玉米秸秆纤维素降解菌的分离及发酵条件优化[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(4): 1159-1161.
XIANG Dian-jun, MAN Li-li, ZHANG Chun-feng, et al. Optimization of the separation and fermentation conditions of corn straw cellulose-degrading fungus[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 42(4): 1159-1161. (in Chinese)
- [27] 钱玉婷. 秸秆常温降解菌的筛选及其生长特性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
QIAN Yu-ting. Study on technique of fast maturing by microorganism with the straws[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [28] Stark N M, Matuana L M. Characterization of weathered wood-plastic composite surfaces using FTIR spectroscopy, contact angle, and XPS [J]. *Polym Degrad Stabil*, 2007, 92(10): 1883-1890.
- [29] He Y F, Pang Y Z, Liu Y P, et al. Physicochemical characterization of rice straw pretreated with sodium hydroxide in the solid state for enhancing biogas production[J]. *Energy Fuel*, 2008, 22(4): 2775-2781.
- [30] Li P D, Wang X X, Li Y L, et al. The contents of phenolic acids in continuous cropping peanut and their allelopathy[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(8): 2128-2134.