

菌株 N32 对大麦秸秆还田土壤化学性质的影响

唐玉佳¹, 陈欣¹, 黄引¹, 张建强¹, 冯定胜², 王一丁^{1*}

(1. 四川师范大学生命科学学院, 成都 610101; 2. 四川洁沃生物科技有限公司, 成都 610094)

摘要:为了研究纤维素降解菌 N32 对大麦秸秆还田的影响, 采用了盆钵试验方法, 设置 3 个处理: 处理 1 为不加菌剂和秸秆的纯土壤(作为对照组 CK), 处理 2 为秸秆与土壤混合物(JT), 处理 3 为使用菌剂处理的秸秆与土壤混合物(JJT), 并分析了土壤养分含量、土壤酶活性及秸秆降解的变化规律。结果表明: 2.0% 聚乙二醇试剂的预处理效果最好, 秸秆失重率达 13.9%; JJT 显著降低了土壤 pH 值, 提高了土壤碳氮磷钾养分含量和土壤脲酶、纤维素酶、碱性磷酸酶等酶活性, 且施加菌剂的秸秆失重率在 40 d 内达 17.95%, 比 CK 提高了 40.78%。由此可见, 纤维素降解菌 N32 对秸秆还田有一定的促进作用, 加快了秸秆的腐熟速度, 并提高了土壤肥力。

关键词: 秸秆还田; 土壤养分; 土壤酶活性; 弗村假单胞菌 N32

中图分类号: S141.4

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2022)01-0077-006

Effects of Bacteria N32 on Soil Chemical Properties in Barley Straw Returning

TANG Yujia¹, CHEN Xin¹, HUANG Yin¹, ZHANG Jianqiang¹, FENG Dingsheng², WANG Yiding^{1*}

(1. College of Life Science, Sichuan Normal University, Chengdu 610101; 2. Sichuan Jie Wo Biotechnology Co., Ltd., Chengdu 610094, China)

Abstract: In order to study the effects of cellulose degrading bacteria N32 on barley straw returning, the pothole test method was adopted and three treatments were set up. Treatment 1 was soil without bactericide and straw (as control group CK), treatment 2 was straw and soil mixture (JT), and treatment 3 was straw treated with microbial agent and soil mixture (JJT), and analyzed the changes of soil nutrient content, soil enzyme activity and straw degradation. The results showed that the pretreatment effect of 2.0% polyethylene glycol reagent was the best, and the weight loss rate of straw was 13.9%. JJT effectively reduced soil pH value, increased soil organic carbon, nitrogen, phosphorus and potassium nutrients and soil urease, cellulase, alkaline phosphatase enzyme activities. And the straw weightlessness rate of the applied microbial agent was 17.95% in 40 days, increased by 40.78% compared to CK. Thus, cellulose degradation bacteria N32 on straw returning had a certain role in promoting, accelerated the rotting speed of straw, and improved soil fertility.

Key words: Straw returning; Soil nutrient; Soil enzyme activity; *Pseudomonas vranovensis* N32

农作物秸秆是一种可再生的自然资源, 但秸秆的难以降解却导致秸秆的利用率较低^[1]。近半秸秆被废弃或者被焚烧, 还田率极低。实施秸秆还田可以阻止土壤进一步退化, 增加土壤有机碳含量^[2], 也可以减少秸秆焚烧造成的环境污染。因此, 研究如何提高秸秆的综合利用水平已经成为一个亟待解决的难题。近年来, 已有很多关于秸秆降解的研究报道, 而最经济、环保的方法是

利用微生物来加快秸秆还田的速度^[3]。

秸秆是农田土壤有机质的主要来源之一, 还田后能有效增加土壤养分, 提高土壤肥力。一些研究表明, 秸秆还田也能增加土壤酶活性。张聪等^[4]描述了长期的玉米秸秆还田增加了土壤养分含量和土壤酶活性, 提高了土壤肥力。薄国栋等^[5]研究得出秸秆还田能够增加土壤养分含量, 提高烟田土壤真菌群落多样性。吴大付等^[6]阐述了秸秆还田可以增加土壤肥力, 改善土壤结构以及保水保肥的能力, 为菌群提供了良好的生存环境, 促进了生物多样性的保护。刘武仁等^[7]研究表明秸秆还田可以有效提高土壤养分, 尤其促进了土壤有机质含量的增加。本文主要研究了大麦

收稿日期: 2019-04-09

基金项目: 2019 年中央引导地方科技发展专项(19ZYCXSF0083)

作者简介: 唐玉佳(1993-), 女, 在读硕士, 主要研究方向为环境微生物。

通讯作者: 王一丁, 男, 博士, 教授, E-mail: 410728313@qq.com

秸秆还田对土壤养分和酶活性的影响,以期为秸秆资源的合理利用提供理论指导,丰富研究资料。同时也有利于开发出一种纤维素降解菌剂,提高秸秆降解速率,为加速秸秆还田的实际利用提供菌种资源。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验菌株:弗村假单胞菌 N32(筛选出的高效纤维素降解菌株)。

土壤样品:土壤样品过 80 目筛(本实验土壤取自四川师范大学杂草根部及以下)。

作物秸秆:2.0% 聚乙二醇溶液预处理过的大麦,粉碎过 10 目筛,烘干至恒重以备用。

1.2 培养基及配置

(1) 秸秆液体发酵培养基(g/L): 秸秆 10 g, 七水硫酸镁 0.5 g, 磷酸二氢钾 2 g, 酵母粉 10 g, 蒸馏水 1 000 mL, pH 值 6.0。

(2) 改良无碳培养基(g/L): 七水硫酸镁 0.5 g, 磷酸二氢钾 2 g, 硫酸铵 4 g, 蛋白胨 10 g, 牛肉膏 5 g, 蒸馏水 1 000 mL, pH 值 6.0。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计

本试验选取预处理后的大麦秸秆,设置 1 个对照组和 2 个处理组^[8]。处理 1 为不加菌剂和秸秆的纯土壤(作为对照组 CK),处理 2 为秸秆与土壤混合物(JT),处理 3 为使用菌剂处理的秸秆与土壤混合物(JJT)。每盆装有 2 kg 土壤,JT 含有 100 g 秸秆,JJT 含有被菌剂处理过的 100 g 秸秆。再将不加菌剂处理的 1 g 秸秆与使用菌剂处理过的 1 g 秸秆装于尼龙袋中,并埋于土内约 5 cm 处。在室温情况下培养,分别在 4、9、17、24、40 d 时取样,分别测定土壤养分、土壤酶活性及秸秆失重率。每个处理 3 次重复(每个盆为一个重复),每次试验 3 组平行。

1.3.2 秸秆预处理

1.3.2.1 乙醇处理

配置体积分数为 30%、50%、70% 的乙醇溶液于 300 mL 三角瓶中,将 1 g 大麦秸秆(长度 2 cm)加入三角瓶中。预处理温度 120 °C,预处理时间 60 min,固液比 1:20,残渣用蒸馏水洗涤至中性,烘干至恒重。

1.3.2.2 聚乙二醇处理

配置质量分数为 0.5%、1.0%、2.0% 的聚乙二醇溶液于 300 mL 三角瓶中,将 1 g 大麦秸秆(长度

2 cm)加入三角瓶中。预处理温度 120 °C,预处理时间 60 min、固液比 1:20,残渣用蒸馏水洗涤至中性,烘干至恒重。

1.3.2.3 生物降解试验

以经不同浓度的乙醇和聚乙二醇预处理过的大麦秸秆为唯一碳源,按 1% 的大麦秸秆量配置改良无碳发酵培养基 125 mL,灭菌。

将活化后的菌株 N32 振荡均匀后,按 2% 的接种量接种到上述培养基中,分别在第 2、3、4、5、9、20 天测定 CMC 酶活以及在第 20 天测秸秆失重率,每样品设置三个重复。从而选出最佳的预处理试剂。

1.3.3 土壤化学性质研究

参考鲍士旦等^[9]方法进行测定。土壤 pH 值的测定使用 pH 笔。土壤有机碳的测定使用重铬酸钾容量法。土壤总氮的测定使用凯氏定氮法。土壤全磷的测定使用氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法。土壤速效磷的测定使用双酸浸提-钼锑抗比色法。土壤全钾的测定使用氢氧化钠碱熔-火焰光度法。土壤速效钾的测定使用乙酸铵浸提-火焰光度法。土壤脲酶、纤维素酶、碱性磷酸酶活性的测定使用比色法^[10-12]。

1.3.4 秸秆失重率

采用差重法计算秸秆失重率。 $W(\%)=100(N_0-N_1)/N_0$, N_0 为秸秆初始重量, N_1 为降解后的秸秆重量。

1.3.5 数据处理

试验数据采用 Microsoft Office Excel 2010 软件进行数据分析处理,IBM SPSS Statistics 20.0 统计软件进行差异显著性检验,并利用 Origin 9.0 绘图。

2 结果和分 析

2.1 最佳预处理试剂的选择

为了研究最佳的预处理试剂,如图 1 所示,试剂的预处理与对照组 CK 相比较,酶活的变化规律一致。随着培养时间的增加,发酵液中 CMC 酶

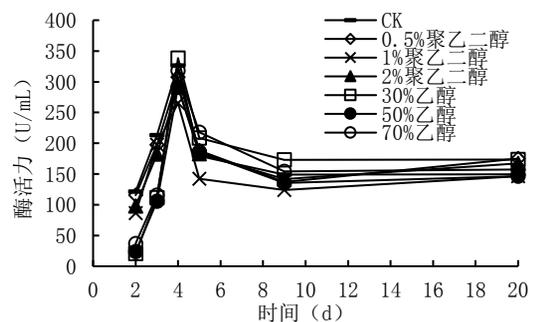


图 1 发酵液中酶活力变化情况

活力均逐渐增强再降低。当培养到第4天时,CMC酶活力均达到最高值。而后随着培养时间的增加,发酵液中CMC酶活力呈现下降的趋势。从图2可见,经生物降解,各预处理的秸秆失重率均高于对照组,其中2.0%聚乙二醇试剂处理效果最好,秸秆失重率达13.9%。由此说明,试剂的预处理在一定程度上显著提高了秸秆的降解率。秸秆经过预处理后,更加容易被微生物所降解。

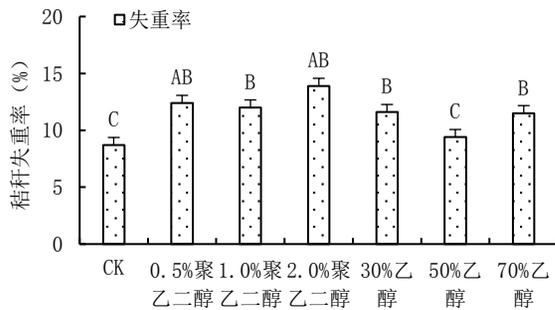


图2 各处理样品生物降解后的秸秆失重率

2.2 土壤化学性质的研究

2.2.1 土壤 pH 值的变化

如图3所示,随着时间的增加,CK的土壤pH值呈先上升再下降最后上升的趋势;JT的土壤pH值呈先下降再上升最后下降的趋势;而JJT的土壤pH值无明显变化规律。

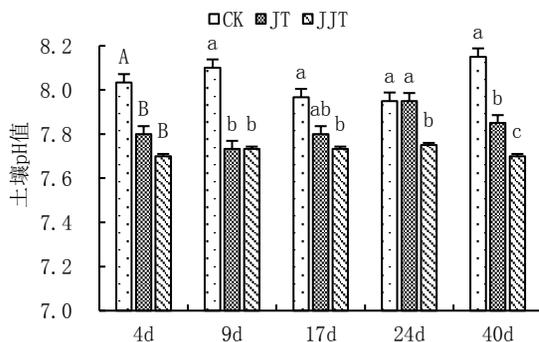


图3 添加大麦秸秆后的土壤 pH 值变化

土壤pH值的变化主要受秸秆还田的影响,原因是秸秆还田增加了土壤的有机质,有机质分解会产生大量的有机酸和二氧化碳,他们能增加土壤的酸度,降低土壤的pH值,施加秸秆降解菌剂,能够加速秸秆的降解,更大程度的降低土壤的pH值。

与CK相比较,JT和JJT的土壤pH值明显降低,尤其是施加纤维素降解菌N32后。在培养初期(4d),土壤pH值与CK相比,差异极显著($P < 0.01$)末期(40d),差异显著($P < 0.05$);而在中期,土壤pH值与CK相比,差异不显著($P > 0.05$)。由此表

明了菌株N32对秸秆还田后土壤pH值的降低起到一定作用。

2.2.2 土壤有机碳含量的变化

由图4可见,随着时间的增加,不同处理的土壤有机碳含量总体呈现上升趋势,均在第40天时达到最高。CK的土壤有机碳含量最大增加了54.55%,达0.27 g/kg;JT的土壤有机碳含量最大增加了68.42%,达0.51 g/kg;JJT的土壤有机碳含量最大增加了80.88%,达0.65 g/kg。

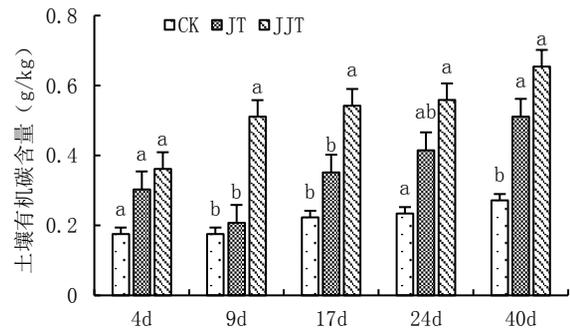


图4 土壤有机碳含量变化

还田进入土壤的秸秆在微生物的作用下大部分被转化为 CO_2 释放至大气中^[13],剩余的碳组分经微生物同化后进入土壤有机碳库,使土壤有机质含量和总碳储量得以维持或增加^[14]。

与CK相比较,JT和JJT的土壤有机碳含量明显增加,尤其是施加纤维素降解菌N32后,土壤有机碳含量进一步提高。在培养初期,土壤有机碳含量与CK相比差异不显著($P > 0.05$);而在培养末期,土壤有机碳含量与CK相比差异显著($P < 0.05$)。这充分说明了纤维素降解菌N32加快了秸秆降解,从而显著提高了土壤有机碳含量。

2.2.3 土壤总氮含量的变化

由图5可见,随着时间的增加,CK和JT的土壤总氮含量变化差异显著($P < 0.05$);JJT的土壤总氮含量呈先下降再上升最后下降的趋势。CK的土壤总

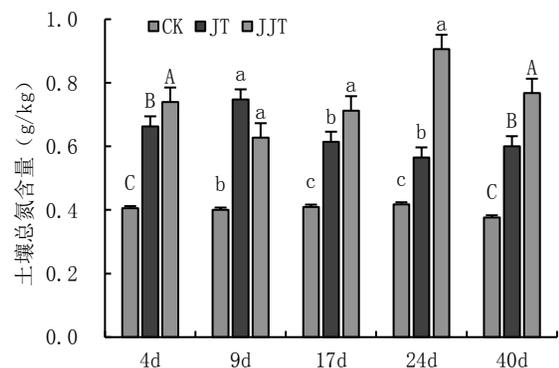


图5 土壤总氮含量变化

氮最大含量出现在第24 d,达0.42 g/kg;JT的土壤总氮最大含量出现在第9 d,达0.75 g/kg;JIT的土壤总氮最大含量出现在第24 d,达0.91 g/kg。

秸秆含有丰富的碳氮磷钾等营养元素,且农作物的生长需要大量氮肥的供应,因此对土壤氮含量的测定是很有必要的。与CK相比较,JT和JIT的土壤总氮含量明显增加,尤其是施加了纤维素降解菌N32的秸秆还田,更大程度地增加了土壤的总氮含量。在培养初期与末期,土壤总氮含量与CK相比差异极显著($P<0.01$)。说明了菌株N32促进了秸秆分解,对土壤总氮含量增加具有一定的积极意义。

2.2.4 土壤磷含量的变化

由表1可见,对于全磷而言,CK和JT的土壤全磷无明显变化规律;JIT的土壤全磷呈增长状

态。对于无机磷和有机磷而言,土壤无机磷、有机磷含量无明显变化规律。对于有效磷而言,土壤有效磷均呈增长状态。CK的土壤全磷最大含量出现在第17天,达385.57 mg/kg;无机磷最大含量出现在第9天,达58.63 mg/kg;有机磷最大含量出现在第17天,达337.33 mg/kg;有效磷最大含量出现在第9天,达5.82 mg/kg。JT的土壤全磷最大含量出现在第17天,达545.39 mg/kg;无机磷最大含量出现在第4天,达57.65 mg/kg;有机磷最大含量出现在第17天,达496.76 mg/kg;有效磷最大含量出现在第40天,达25.21 mg/kg。JIT的土壤全磷最大含量出现在第40天,达701.93mg/kg;无机磷最大含量出现在第40天,达56.47 mg/kg;有机磷最大含量出现在第40天,达645.46 mg/kg;有效磷最大含量出现在第24天,达47.95 mg/kg。

表1 添加大麦秸秆后的土壤全磷、无机磷、有机磷和有效磷变化

类型	处理	时间(d)				
		4	9	17	24	40
全磷	CK	349.32±50.70a	350.96±14.33c	385.57±62.84ab	336.13±2.69c	309.77±15.72C
	JT	341.08±35.33a	410.28±8.67b	545.39±18.32a	425.11±28.54b	365.79±11.57B
	JIT	334.49±39.12a	573.41±15.46a	487.72±4.66a	593.18±19.95a	701.93±4.25A
无机磷	CK	56.67±0.71A	58.63±0.71A	48.24±0.00B	54.12±0.34A	52.55±0.71B
	JT	57.65±0.90A	56.67±0.71A	48.63±0.85B	50.20±0.52B	54.90±0.52A
	JIT	55.69±0.39A	48.04±1.19B	55.88±0.59A	54.90±0.71A	56.47±0.00A
有机磷	CK	292.53±0.71A	292.33±0.71C	337.33±0.00C	282.01±0.34C	257.22±0.71C
	JT	283.43±0.90B	353.61±0.71B	496.76±0.85A	374.91±0.52B	310.89±0.52B
	JIT	278.80±0.39C	525.37±1.19A	431.84±0.59B	538.28±0.71A	645.46±0.00A
有效磷	CK	1.76±0.10C	5.82±0.05C	5.14±0.10C	3.49±0.11C	4.34±0.07C
	JT	21.64±0.05B	21.80±0.03B	23.86±0.17A	14.14±0.12B	25.21±0.05B
	JIT	35.65±0.03A	31.11±0.03A	19.03±0.13B	47.95±0.14A	47.21±0.08A

注:CK为空白组,JT为无菌处理组,JIT为菌剂处理组。小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),大写字母不同表示差异极显著($P<0.01$),下同

作为土壤磷库的重要组成部分,土壤有机磷对土壤的肥力和植物营养有着重要影响。土壤有机磷经矿化分解而转化为有效磷,然后供给植物吸收利用。经处理后的JIT的土壤有效磷及有机磷均明显高于其他组,全磷最大值也出现在JIT组。在培养初期,土壤全磷、无机磷含量与CK相比差异不显著($P<0.05$);而在培养末期,土壤全磷、无机磷含量与CK相比差异极显著($P<0.01$)。说明经菌剂处理的秸秆降解效率明显加强,有利于土壤含磷量的提高。

2.2.5 土壤钾含量的变化

由表2可见,JT的土壤全钾含量无明显变化规律;CK和JIT的土壤全钾含量均呈增长状态。

对于有效钾而言,CK的土壤有效钾含量变化差异不显著,无明显规律;JT和JIT的土壤有效钾含量均呈增长状态。CK的土壤全钾最大含量出现在第40天,达8 136.56 mg/kg;有效钾最大含量出现在第17天,达191.31 mg/kg。JT的土壤全钾最大含量出现在第9天,达10 423.90 mg/kg;有效钾最大含量出现在第17天,达701.47 mg/kg。JIT的土壤全钾最大含量出现在第24天,达10 071.12 mg/kg;有效钾最大含量出现在第40天,达898.76 mg/kg。

有效钾是指土壤中有可能被植物吸收利用的钾的总和。有效钾的含量是判断土壤肥力的重要标准。在培养过程中,土壤有效钾含量与CK相比差异极显著($P<0.01$)。经菌剂处理的JIT处理

表2 土壤全钾和有效钾变化

类型	处理	时间(d)				
		4	9	17	24	40
全钾	CK	7578.95±105.74A	7840.68±138.44B	7157.89±86.17B	7886.20±45.99C	8136.56±23.69B
	JT	7897.58±122.74A	10423.90±119.53A	6122.33±91.98C	9775.25±57.28B	7157.89±23.69C
	JJT	7453.77±102.63AB	7135.14±108.16C	7726.88±19.71A	10071.12±52.56A	8990.04±22.76A
有效钾	CK	187.72±3.77C	167.80±2.20C	191.31±2.94C	178.56±1.74C	167.80±1.88C
	JT	472.30±23.78B	643.68±8.99B	701.47±18.52B	603.83±10.98B	695.50±16.11B
	JJT	761.26±24.02A	749.30±22.98A	880.83±17.41A	795.14±12.97A	898.76±16.71A

组,其有效钾显著高于其余两组,说明菌剂显著提高了秸秆的降解速率。同时有效钾的显著提高,也证明了秸秆还田对提高土壤肥力具有重要作用。

2.2.6 土壤脲酶活力的变化

随着时间的增加,土壤脲酶活力无明显变化规律(见图6)。CK的土壤脲酶最大活力出现在第40天,达12.69 U;JT的土壤脲酶最大活力出现在第24天,达19.00 U;JJT的土壤脲酶最大活力出现在第9天,达20.64 U。

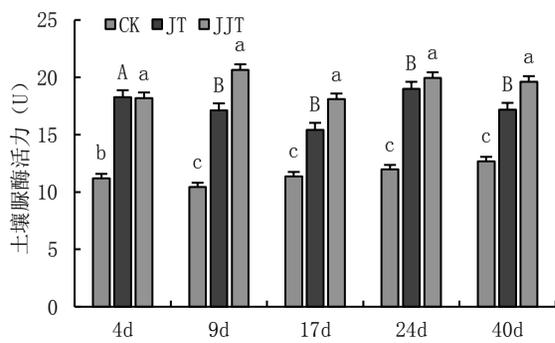


图6 土壤脲酶活力变化

脲酶存在于大多数细菌、真菌和高等植物中,是一种酰胺酶,其活性在一定程度上可以反映土壤的供氮能力与水平^[15]。与CK相比较,JT和JJT的土壤脲酶活力明显增加,尤其是施加了菌株N32的JJT土壤。说明了菌株N32能够加速秸秆的降解,增加土壤的供氮能力,对秸秆还田后土壤脲酶活力的提高起到显著作用。

2.2.7 土壤纤维素酶活力的变化

随着时间的增加,CK的土壤纤维素酶活力无明显变化规律;而JT和JJT的土壤纤维素酶活力大致呈现先下降再上升的趋势(见图7)。CK的土壤纤维素酶最大活力出现在第9天,达12.42 U;JT的土壤纤维素酶最大活力出现在第4天,达17.00 U,JJT的土壤纤维素酶最大活力出现在第4天,达18.83 U。

纤维素酶分解纤维素为单糖,可以表征菌株

分解植物残体的能力。随时间变化,与CK相比较,JT和JJT的土壤纤维素酶活力明显增加,尤其是施加了菌株N32的JJT土壤。在培养初期,土壤纤维素酶活力与CK相比差异不显著($P<0.05$);而在培养末期,土壤纤维素酶活力与CK相比差异显著($P<0.05$)。表明了菌株N32能够加速秸秆的降解,更大程度地增加了土壤纤维素酶活力,同时也证明了菌株具有较强分解土壤中植物纤维的能力。

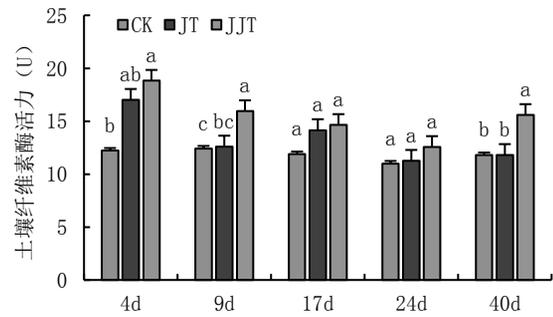


图7 土壤纤维素酶活力变化

2.2.8 土壤碱性磷酸酶活力的变化

随着时间的增加,CK的土壤碱性磷酸酶活力先下降再升高的趋势;JT和JJT的土壤碱性磷酸酶活力先升高再下降接着升高最后下降的趋势(见图8)。CK的土壤碱性磷酸酶最大活力出现在第40天,达13.53 U;JT的土壤碱性磷酸酶最大活力出现在第24天,达19.82 U;JJT的土壤纤维素

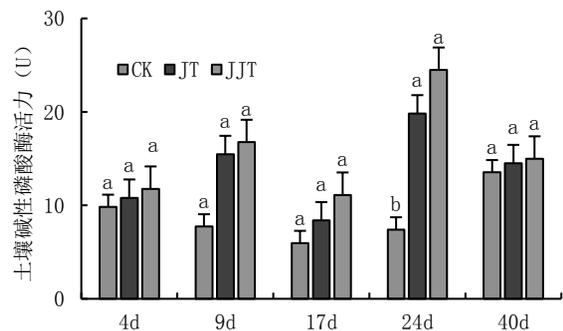


图8 土壤碱性磷酸酶活力变化

酶最大活力出现在第24 d,达24.49 U。

磷酸酶是土壤中广泛存在的一种水解酶,能够催化磷酸酯或磷酸酐的水解,对有机磷的矿化及植物的磷素营养有重要影响。与CK相比较,JT和JJT的土壤碱性磷酸酶活力明显增加,尤其是施加菌N32,能够加速秸秆的降解,更大程度的增加土壤碱性磷酸酶活力。在培养过程中,土壤碱性磷酸酶活力与CK相比差异不显著($P>0.05$)。这充分说明了纤维素降解菌N32对秸秆还田后土壤碱性磷酸酶活力的提高起到一定作用。

2.3 秸秆失重率

由图9可见,在模拟大麦秸秆还田过程中,大麦秸秆失重率逐渐增加,与CK相比,施加纤维素降解菌N32后可显著提高大麦秸秆的失重率。在培养初期,秸秆失重率与CK相比差异显著($P<0.05$);而在培养末期,秸秆失重率与CK相比差异不显著。表明菌N32对促进秸秆快速腐熟具有重要作用。对照组的秸秆失重率最高出现在第40天,达12.75%;加菌N32的秸秆失重率最高出现在第40天,达17.95%。可以明显看出菌株N32对秸秆的腐熟具有一定的促进作用。

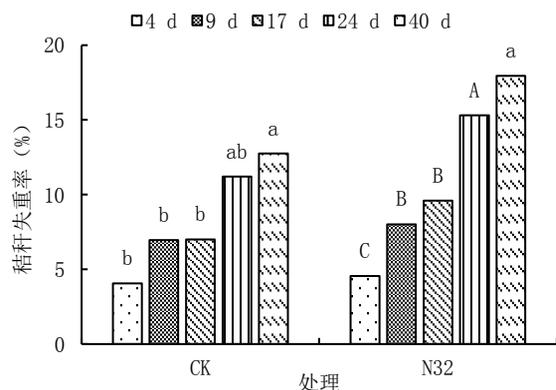


图9 秸秆失重率的变化

3 结论

秸秆的表面有一层蜡质,其阻碍了微生物进入秸秆内部进行降解^[16-17]。为了充分利用纤维素类资源,必须对其进行有效的预处理,预处理的效果直接影响着纤维素降解的效果。董春燕等^[18]利用甲酸预处理棉秸秆粉末,并对预处理条件进行了优化试验,其效果显著。赵玲等^[19]研究了3种预处理方法对秸秆木质纤维组分特性的影响,结果表明组合碱(氢氧化钠和氢氧化钙)的预处理效果最佳,能更好地分解秸秆纤维组分。本研究利用不同浓度的乙醇和聚乙二醇试剂对秸秆进行预处理试验,再经生物降解后,各预处理秸秆

的失重率均高于对照组,其中2.0%聚乙二醇试剂处理效果最好,秸秆失重率达13.9%。这表明了2.0%聚乙二醇试剂可以有效去除秸秆的蜡质层,使其更加容易被菌株N32所降解。这将是利用微生物降解秸秆纤维素的一条新途径。

秸秆中含有丰富的C、N、P、K等营养元素,许多研究表明,秸秆还田可以增加土壤中植物生长所必需元素。秸秆在自然状态下的降解速度非常慢,秸秆降解菌可以促进秸秆还田中秸秆的快速腐熟,秸秆的分解必然对土壤有机质、碳氮磷钾养分、pH值等产生影响。刘爽等^[8]研究表明,在秸秆还田的过程中施加微生物菌剂,可以明显改善土壤养分状况及土壤理化性质。柴文俊等^[20]在还田过程中,施加菌剂“榕风1号”使西芹植物产量得到提高,也解决了空气污染的问题,使农业可持续发展。刘起丽等^[21]施加菌剂之后,小麦的千粒重、分蘖数明显得到优化,也一定程度上提升了作物的产量。本研究条件下秸秆与土壤的混合还田中,秸秆在纤维素降解菌N32的作用下,秸秆逐渐腐熟分解并释放其养分。由此看来,纤维素降解菌N32对秸秆还田后土壤pH值的降低起到显著作用;同时也有效提高了土壤中碳氮磷钾含量以及土壤脲酶、纤维素酶、碱性磷酸酶活力,从而增加了土壤肥力。且在秸秆还田过程中,大麦秸秆失重率逐渐增加,与未加菌剂的CK相比,施用菌剂后显著提高了大麦秸秆的失重率,表明施用菌剂对促进秸秆快速腐熟具有重要作用。

参考文献:

- [1] 许晓凯,石宁,郭玉琴,等.提高玉米秸秆利用率的研究技术进展[J].农学学报,2018,8(3):58-63.
- [2] 庞荔丹,婷婷,张宇飞,等.玉米秸秆配氮还田对土壤酶活性、微生物量碳含量及土壤呼吸量的影响[J].作物杂志,2017(1):107-112.
- [3] 孙美娜,张凡凡,王永强,等.棉花秸秆纤维素降解菌的筛选鉴定与降解棉秆效果研究[J].新疆农业科学,2018(1):16-23.
- [4] 张聪,慕平,尚建明.长期持续秸秆还田对土壤理化特性、酶活性和产量性状的影响[J].水土保持研究,2018,25(1):92-98.
- [5] 薄国栋,申国明,张继光,等.秸秆还田对植烟土壤养分及真菌群落多样性的影响[J].土壤通报,2016,47(1):137-142.
- [6] 吴大付,吴艳兵,任秀娟,等.农业集约化对生物多样性的影响[J].东北农业科学,2010,35(2):61-64.
- [7] 刘武仁,郑金玉,罗洋,等.秸秆循环还田土壤环境效应变化研究[J].东北农业科学,2015,40(1):32-36.
- [8] 刘爽.中低温秸秆降解菌的筛选及其秸秆降解效果研究[D].北京:中国农业科学院,2011.

(下转第94页)

补充第2次释放后的田间蜂量,但相对于第3次的大量释放,其补充量相对较小,持续性不够,无法有效缩减释放次数。这主要缘于在自然环境下,补给卵易受到田间持续高温的影响而出现失水干瘪,不利于赤眼蜂的寄生。因此,后续研究除强调对释放蜂种的重点保护外,还应注重中间寄主卵的科学合理化补给,如寄主卵的新鲜度、投放数量、投放时间及频次等操作细节,使补给卵的利用率最大化,从而提升赤眼蜂的释放效率,发挥其在田间的持续性控害潜能。

参考文献:

- [1] 林乃铨. 中国赤眼蜂分类(膜翅目:小蜂总科)[M]. 福州:福建科学技术出版社,1994:362.
- [2] 刘树生,施祖华. 赤眼蜂研究和应用进展[J]. 中国生物防治,1996,12(2):78-84.
- [3] 董杰,许长新,吴晓云,等. 赤眼蜂在田间环境下的存活时间及其影响因子研究[J]. 昆虫学报,2006,49(6):969-975.
- [4] 耿金虎,沈佐锐,李正西,等. 利用柞蚕卵繁殖的松毛虫赤眼蜂的适宜冷贮虫期和温度[J]. 昆虫学报,2005,48(6):903-909.
- [5] 向玉勇,张帆. 赤眼蜂在我国生物防治中的应用研究进展[J]. 河南农业科学,2011,40(12):20-24.
- [6] Mansfield S, Mills N J. Direct estimation of the survival time of commercially produced adult *Trichogramma platneri* Nagarkatti (Hymenoptera: Trichogrammatidae) under field conditions [J]. Biological Control, 2002, 25: 41-48.
- [7] 张俊杰,阮长春,臧连生,等. 我国赤眼蜂工厂化繁育技术改进及防治农业害虫应用现状[J]. 中国生物防治学报,2015,31(5):638-646.
- [8] 李丽娟,鲁新,刘宏伟,等. 螟黄赤眼蜂人工繁殖与应用技术的研究进展[J]. 吉林农业科学,2005,30(3):23-28.
- [9] 李敦松,袁曦,张宝鑫,等. 利用无人机释放赤眼蜂研究[J]. 中国生物防治学报,2013,29(3):455-458.
- [10] 汪庚伟,田俊策,朱平阳,等. 螟黄赤眼蜂雌成虫对不同颜色瓜叶菊花的选择性[J]. 中国生物防治学报,2015,31(4):473-480.
- [11] 黄燕嫦,易帝炜,宋子伟,等. 螟黄赤眼蜂的个体发育[J]. 环境昆虫学报,2016,38(3):457-462.
- [12] 李丽娟,周淑香,常雪,等. 高效寄生水稻二化螟卵的赤眼蜂品系筛选[J]. 东北农业科学,2019,44(2):19-22.
- [13] 许建军,冯宏祖,李翠梅,等. 释放赤眼蜂防治苹果蠹蛾、梨小食心虫效果研究[J]. 中国生物防治学报,2014,30(5):690-695.
- [14] Sigsgaard L, Betzer C, Naulin C, et al. The effect of floral resources on parasitoid and host longevity: Prospects for conservation biological control in strawberries[J]. Journal of Insect Science, 2013, 13: 104.
- [15] Huang N X, Enkegaard A, Osborne L S, et al. The banker plant method in biological control[J]. Critical Reviews in plant Science, 2011, 30: 259-278.
- [16] Griffiths G J, Holland J M, Bailey A, et al. Efficacy and economics of shelter habitats for conservation biological control[J]. Biological Control, 2008, 45: 200-209.
- [17] Parolin P, Bresch C, Desneux N, et al. Secondary plants used in biological control: A review[J]. International Journal of Pest Management, 2012, 58:91-100.
- [18] Landis D A, Wratten S D, Gurr G M. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture[J]. Annual Review of Entomology, 2000, 45: 175-201.
- [19] 邸宁,魏瑜岭,王甦,等. 米蛾人工饲养技术优化[J]. 中国生物防治学报,2018,34(6):831-837.
- [20] 李丽娟,鲁新,张国红,等. 米蛾卵繁殖稻螟赤眼蜂的蜂卵比和接蜂时间研究[J]. 东北农业科学,2019,44(5):34-37.
- [21] 岳朝阳,张新平,杨森,等. 喀什地区杏园内食心虫消长动态及赤眼蜂防治初探[J]. 新疆农业科学,2010,47(12):2376-2380.
- [22] 迟全元,胡尊瑞,韩振芹,等. 不同生物措施防治梨小食心虫效果[J]. 中国森林病虫,2014,33(6):38-40.
- (责任编辑:王昱)
- 壤中微生物和酶活性的影响. 生态学杂志,2004,23(1):48-51.
- [16] Kolattukudy P E. Biosynthetic pathways of cutin and waxes and their sensitivity to environmental stresses [J]. Oxford: BIOS Scientific Publishers, 1996: 83-108.
- [17] 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.
- [18] 董春燕,朱美静,张鹏飞,等. 棉秸秆提取纤维素纤维的预处理工艺及结构研究[J]. 上海纺织科技,2017(8):44-47.
- [19] 赵玲,李森,王聪,等. 不同预处理对秸秆木质纤维组分特性的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2017(2):244-249.
- [20] 柴文俊.“榕风1号”生物菌剂处理作物秸秆还田试验示范[J]. 云南农业科技,2010(6):13-14.
- [21] 刘起丽,张建新,徐瑞富,等. 外源菌剂处理秸秆还田对小麦形态及生理特性的影响[J]. 广东农业科学,2009(12):84-86.
- (责任编辑:刘洪霞)

(上接第82页)

- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京:中国农业出版社,2005:30-33.
- [10] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京:农业出版社,1986:274-338.
- [11] 闫慧荣,曹永昌,谢伟,等. 玉米秸秆还田对土壤酶活性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(7):177-184.
- [12] 李鹤. 低温秸秆降解菌的酶活、降解效果及对土壤养分、酶活的影响[D]. 长春:吉林农业大学,2015.
- [13] Thuriès L, Pansu M, Feller C, et al. Kinetics of added organic matter decomposition in a Mediterranean sandy soil. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33: 997-1010.
- [14] Pei J B, Li H, Li S Y, et al. Dynamics of maize carbon contribution to soil organic carbon in association with soil type and fertility level. PLoS One, 2015, 10(3): e0120825.
- [15] 王曙光,林先贵,尹睿,等. 接种AM真菌对PAEs污染土