

# 秸秆覆盖对黑土区土壤微生物量、酶活性及大豆产量的影响

孔凡丹<sup>1,2</sup>, 周利军<sup>1</sup>, 郑美玉<sup>1</sup>, 张作合<sup>1</sup>, 杨则已<sup>1</sup>, 吴娟<sup>1</sup>

(1. 绥化学院 农业与水利工程学院, 黑龙江 绥化 152061;

2. 东北农业大学 水利与土木工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘要:** 为了探究秸秆覆盖量对黑土区土壤微生物量、酶活性及大豆产量的影响, 以垦丰16为试验材料, 分别设置无秸秆覆盖(CK)、0.5 kg/m<sup>2</sup>秸秆还田覆盖(T1)、1.0 kg/m<sup>2</sup>秸秆还田覆盖(T2)、1.5 kg/m<sup>2</sup>秸秆还田覆盖(T3)4种处理, 测定大豆生育期内耕作层土壤细菌、真菌、放线菌数量以及脲酶、过氧化氢酶活性和大豆产量, 对比分析不同秸秆覆盖量对土壤微生物量、酶活性及大豆产量的影响。结果表明, 大豆全生育期内土壤细菌数量呈先升高后降低的趋势, 其中T2处理细菌总数量最大, 分别较T1、T3、CK处理提高33.08%、9.30%、65.38%; 真菌数量呈先升高后降低、再升高再降低的趋势, 其中T2处理真菌总数量最大; 放线菌数量整体上呈先升高后降低的趋势, 随着秸秆覆盖量的增加而增加。各处理脲酶活性表现为T1>T2>T3>CK, 且秸秆覆盖处理分别较CK处理提高32.64%、29.42%、18.23%; 过氧化氢酶活性表现为T2>T3>T1>CK, 不同处理酶活性均在开花期达到最高。秸秆覆盖处理大豆产量显著高于CK, 秸秆覆盖量对大豆产量的影响并未随着秸秆覆盖量的增加而持续增加, T2处理产量最高。大豆产量与脲酶活性、细菌数量呈极显著正相关关系, 与真菌数量呈显著正相关关系; 过氧化氢酶活性与脲酶活性、真菌数量呈显著正相关关系。综上, 1.0 kg/m<sup>2</sup>秸秆覆盖是黑土区最优秸秆覆盖量。

**关键词:** 大豆; 秸秆覆盖; 黑土区; 微生物量; 酶活性; 产量

**中图分类号:** S565.1; S154 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2024)01-0087-09

## Effects of Straw Mulching on Soil Microbial Biomass, Enzyme Activity, and Soybean Yield in Black Soil Areas

KONG Fandan<sup>1,2</sup>, ZHOU Lijun<sup>1</sup>, ZHENG Meiyu<sup>1</sup>, ZHANG Zuohe<sup>1</sup>, YANG Zeyi<sup>1</sup>, WU Juan<sup>1</sup>

(1. College of Agriculture and Hydraulic Engineering, Suihua University, Suihua 152061, China;

2. School of Water Conservancy and Civil Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** In order to investigate the effects of straw coverage on soil microbial biomass, enzyme activity, and soybean yield in black soil areas, Kenfeng 16 was used as the experimental material. Four treatments were set up, including no straw coverage (CK), 0.5 kg/m<sup>2</sup> straw return coverage (T1), 1.0 kg/m<sup>2</sup> straw return coverage (T2), and 1.5 kg/m<sup>2</sup> straw return coverage (T3), to determine the number of bacteria, fungi, actinomycetes, and the activity of urease and catalase in the soil of the cultivation layer during the soybean growth period, and soybean yield, and compare and analyze the effects of different straw coverage

收稿日期: 2023-06-28

基金项目: 黑龙江省属高校基本科研业务费科研项目(YWK10236200201, YWK10236200140, YWK10236210236, YWF10236230215);

黑龙江省自然科学基金项目(LH2021E118); 绥化市科技计划项目(SHKJ2016-042)

作者简介: 孔凡丹(1989-), 女, 辽宁铁岭人, 讲师, 在读博士研究生, 研究方向: 农业水土资源综合利用与保护。

E-mail: kongfandan881125@163.com

通信作者: 周利军(1977-), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 副教授, 硕士, 主要从事农业水土资源综合利用与保护研究。

E-mail: 549200289@qq.com

amount on soil microbial biomass, enzyme activity, and soybean yield. The results showed that the number of soil bacteria showed a trend of first increasing and then decreasing throughout the entire growth period of soybean, with T2 treatment having the highest total number of bacteria, which increased by 33.08%, 9.30%, and 65.38% compared to T1, T3, and CK treatments, respectively. The number of fungi showed a trend of first increasing, then decreasing, and then increasing and then decreasing, with T2 treatment having the highest total number of fungi. The overall number of actinomycetes showed a trend of first increasing and then decreasing, and increased with the increase of straw coverage. The urease activity of each treatment showed T1>T2>T3>CK, and the straw covering treatment increased by 32.64%, 29.42%, and 18.23% compared to CK treatment, respectively. The activity of catalase showed T2>T3>T1>CK, and the enzyme activity reached the highest in different treatments during the flowering period. The soybean yield under straw cover treatment was significantly higher than that under CK. The impact of straw cover on soybean yield did not continue to increase with the increase of straw cover, with T2 treatment having the highest yield. There was a significant positive correlation between soybean yield and urease activity, bacterial count, and fungal count; There was a significant positive correlation between catalase activity and urease activity, as well as the number of fungi. In summary, under the conditions of this study, 1.0 kg/m<sup>2</sup> straw coverage is the optimal straw coverage amount.

**Key words:** Soybean; Straw mulching; Black soil area; Microbial biomass; Enzyme activity; Yield

黑龙江省典型黑土区是我国粮食主产区之一,玉米种植面积较大,每年有大量玉米秸秆废弃,造成环境污染和资源浪费。因此,玉米秸秆覆盖越来越引起人们的关注<sup>[1-4]</sup>。土壤微生物直接参与土壤中的碳氮循环,对腐殖质的形成和物质转化、土壤的形成和肥力变化具有重要作用<sup>[5-6]</sup>。土壤微生物数量及酶活性反映土壤的营养状况,对土壤中有机质运移及植物所需养分有重要影响<sup>[7-8]</sup>。土壤酶作为生物催化剂,参与土壤中各类生物化学反应,其活性变化反映土壤肥力的变化<sup>[9]</sup>,是评价土壤微生物生态系统质量的重要指标之一<sup>[10-11]</sup>。秸秆覆盖可以改善土壤环境,提高土壤微生物的数量与酶活性<sup>[12-13]</sup>。闫慧荣等<sup>[14]</sup>通过室内模拟试验研究了不同玉米秸秆还田量对土壤酶活性的影响发现,玉米秸秆还田后 5 种土壤酶活性均增强,且与玉米秸秆还田量呈极显著正相关关系。何亚玲等<sup>[15]</sup>探究玉米连续秸秆还田对土壤微生物群落的驱动机制发现,秸秆连续还田第 6 年土壤微生物的磷脂脂肪酸含量在玉米关键生育时期内有明显变化。马立晓等<sup>[16]</sup>探讨秸秆还田对我国农田土壤碳循环及酶活性的影响发现,秸秆还田可有效提高酶活性。于寒等<sup>[17]</sup>认为,在玉米长期连作土壤上,秸秆覆盖更能增加土壤细菌、放线菌及主要生理类微生物群数量,提高土壤脲酶活性。徐忠山等<sup>[18]</sup>探讨了不同玉米秸秆颗粒还田对黑土生物学特性及细菌群落的影响发现,秸秆还田能够增加土壤脲酶及过氧化氢酶的活性,降低土传病害发生概率,在一定程度上增加细菌数量和

种类多样性。

目前,关于秸秆覆盖对土壤微生物量及酶活性影响的定性研究较多<sup>[19-21]</sup>,但尚未见关于不同秸秆覆盖量对土壤微生物数量、酶活性及大豆产量等方面影响的系统性研究。鉴于此,拟以黑龙江省典型黑土区为研究区,设置不同的玉米秸秆覆盖量处理,研究其对大豆不同生育时期土壤微生物量、酶活性及产量的影响,提出黑土区最优秸秆覆盖量,为大面积推行秸秆覆盖提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

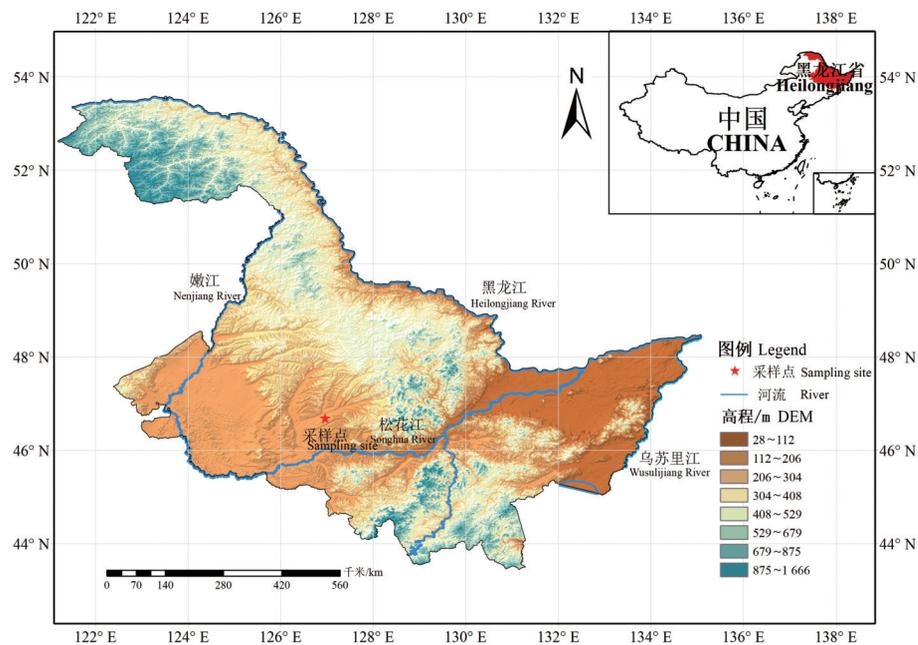
试验于 2019 年 5 月—2021 年 10 月于黑龙江省绥化市北林区(46°41'N、126°58'E)进行,该区域位于绥化市中部地区,属于温带大陆性气候,冬季寒冷漫长,春秋季节短且多风,降雨分布不均,多集中在 7—8 月,属雨热同季,年平均气温 2.4℃,日照时数约 2 766 h,无霜期约 129 d,降水量约 547 mm。研究区如图 1 所示。

### 1.2 试验设计

试验场地地势平坦,采用单因素随机区组设计,划分 12 块 10 m×10 m 的区域。共设 4 个处理,分别为无秸秆覆盖(CK)、0.5 kg/m<sup>2</sup> 秸秆还田覆盖(T1)、1.0 kg/m<sup>2</sup> 秸秆还田覆盖(T2)、1.5 kg/m<sup>2</sup> 秸秆还田覆盖(T3),每个处理 3 次重复。前茬作物为玉米,收获后用粉碎机(RZ-ZCJ,润众机械制造有限公司)将秸秆粉碎,并使用手扶式翻地机(HJ-996,宏嘉机

械设备有限公司)均匀翻拌入 0~20 cm 土层中。试验用大豆品种为垦丰 16, 种植密度为 30 万株/hm<sup>2</sup>,

田间管理与当地农户管理一致。



该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)1822的标准地图制作, 底图无修改。

This map was made based on the standard map of No. GS(2019)1822 downloaded from the standard map service website of the National Bureau of Surveying, Mapping and Geographic Information, with no modifications to the base map.

图 1 研究区示意

Fig. 1 Schematic layout of the study area

### 1.3 测定指标及方法

**1.3.1 土壤微生物量** 采用蛇形取样法, 分别于大豆苗期、开花期、结荚期、鼓粒期和成熟期用土钻采集 0~20 cm 土层土样, 带回实验室, 按四分法分取足量土样装入无菌袋中, 4 °C 条件下保存备用<sup>[22]</sup>。微生物数量的测定采用平板菌落计数法, 每个处理 3 次重复。细菌数量测定试验培养基选用牛肉膏蛋白胨培养基, 真菌数量测定试验培养基采用马丁氏孟加拉红培养基, 放线菌数量测定试验培养基采用改良高氏 I 号培养基<sup>[23]</sup>。

**1.3.2 土壤酶活性** 土壤脲酶活性采用次氯酸钠-苯酚钠比色法测定, 土壤过氧化氢酶活性用高锰酸钾滴定法测定<sup>[24]</sup>。

**1.3.3 大豆产量** 在大豆成熟期末, 对整个小区进行测产, 以 3 个重复小区的平均值作该处理产量。

### 1.4 数据分析

应用 ArcGIS 10.2 进行研究区示意图绘制, 采用 Microsoft Office Excel 2016 进行数据处理, 采用 Origin 2022 进行数据绘图, 采用 SPSS Statistics 22.0 进行相关性分析以及差异显著性分析。年间结果差异不显著, 文中采用的数据为 3 a 试验数据的

平均值。

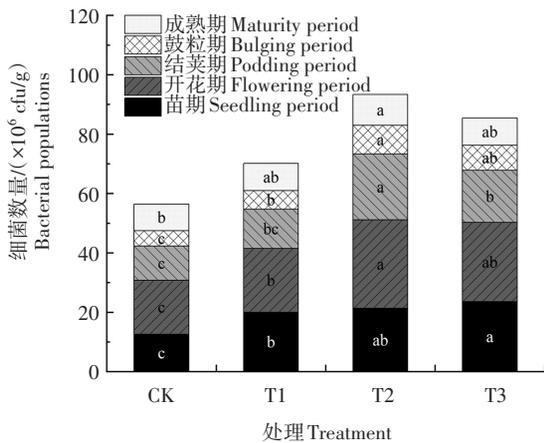
## 2 结果与分析

### 2.1 秸秆覆盖对黑土区土壤微生物数量的影响

**2.1.1 细菌** 细菌是土壤微生物的主要组成部分, 可分解土壤中的各种有机质, 其总数占土壤微生物总量的 70%~90%<sup>[25]</sup>。不同秸秆覆盖处理对土壤细菌数量的影响如图 2 所示。大豆全生育期内土壤细菌数量呈先升高后降低的趋势, 即开花期>苗期>结荚期>成熟期>鼓粒期。T1 处理细菌数量在苗期、开花期及鼓粒期显著高于 CK 处理; T3 处理细菌数量在苗期至鼓粒期均显著高于 CK 处理; T2 处理在大豆不同生育时期细菌数量总体上均最大, 且均显著高于 CK 处理。T2 处理大豆全生育期内细菌总数量分别较 T1、T3、CK 提高 33.08%、9.30%、65.38%。这说明秸秆覆盖可有效增加土壤细菌数量, 但细菌数量不会随着秸秆覆盖量的增加而持续增加。因此, 需合理控制秸秆覆盖量。

**2.1.2 真菌** 真菌可分解土壤中的植物残茬和难分解的有机物质<sup>[26]</sup>, 是土壤中重要的分解者<sup>[27]</sup>。不同秸秆覆盖量对土壤真菌数量的影响如图 3 所示。大豆全生育期内不同处理土壤真菌数量变化趋势

基本一致,呈波动变化,即呈现先升高后降低、再升高再降低的趋势,鼓粒期>开花期>苗期>结荚期>成熟期。T1 处理真菌数量在苗期显著高于 CK 处理, T2 及 T3 处理真菌数量在大豆不同生育时期均显著高于 CK 处理。其中, T2 处理大豆全生育期内真菌总数量最大, 分别较 T1、T3、CK 提高 105.34%、27.71%、136.07%。



不同小写字母表示同一生育时期不同处理之间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

Different lowercase letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ) among different treatments during the same reproductive period, the same below.

图 2 秸秆覆盖对黑土区土壤细菌数量的影响

Fig. 2 Effect of straw mulching on bacterial populations in black soil area

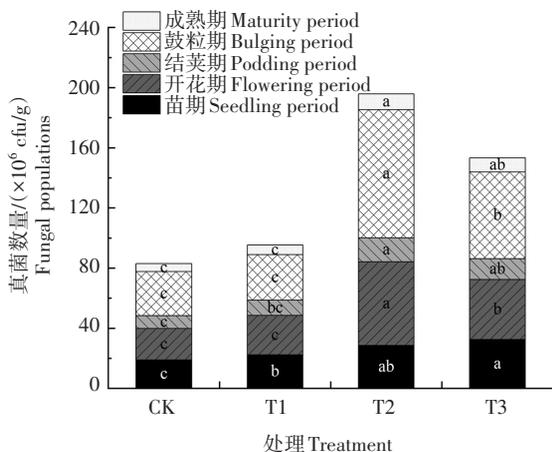


图 3 秸秆覆盖对黑土区土壤真菌数量的影响

Fig. 3 Effect of straw mulching on fungal populations in black soil area

2.1.3 放线菌 土壤放线菌可将土壤中植物凋落物及动物残体分解为土壤有机组分并使其形成腐殖质<sup>[28]</sup>。不同秸秆覆盖量对土壤放线菌数量的影响如图 4 所示。大豆全生育期内土壤放线菌数量整体

上呈先升高后降低的趋势,表现为开花期>鼓粒期>结荚期>苗期>成熟期。T2 及 T3 处理在大豆不同生育时期土壤放线菌数量整体上均显著高于 CK 处理;除结荚期外, T1 处理土壤放线菌数量与 CK 处理差异均不显著。T3 处理大豆全生育期内放线菌总数量最大, 分别较 T1、T2、CK 提高 77.95%、10.61%、130.16%。以上表明, 土壤放线菌数量随着秸秆覆盖量的增加而增加。

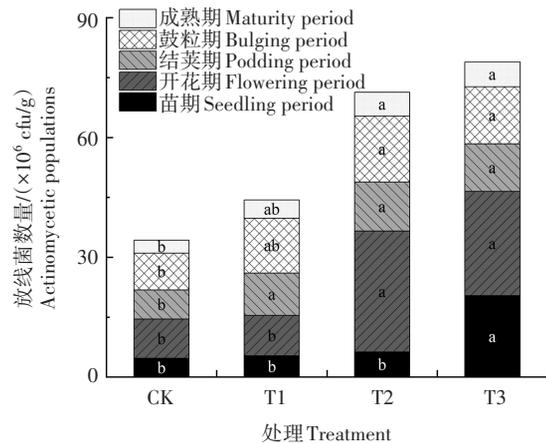


图 4 秸秆覆盖对黑土区土壤放线菌数量的影响

Fig. 4 Effect of straw mulching on actinomycetic populations in black soil area

## 2.2 秸秆覆盖对黑土区土壤酶活性的影响

2.2.1 脲酶 土壤中的脲酶可将尿素水解,其水解的主要产物铵态氮可为作物提供养分<sup>[29]</sup>,因此,脲酶活性与土壤氮素状况密切相关。不同秸秆覆盖条件下土壤脲酶活性变化如图 5 所示。大豆全生育期内 0~20 cm 土层中脲酶活性表现为开花期>苗期>鼓

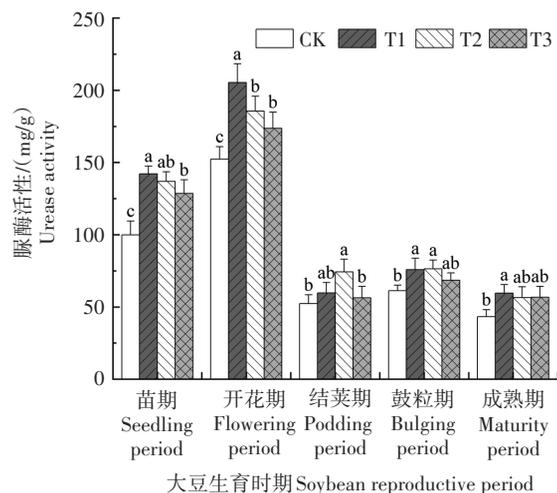


图 5 秸秆覆盖对黑土区土壤脲酶活性的影响

Fig. 5 Effect of straw mulching on soil urease activity in black soil area

粒期>结荚期>成熟期的趋势。整体上不同处理脲酶活性表现为T1>T2>T3>CK。秸秆覆盖3个处理T1、T2、T3在苗期和开花期脲酶活性均显著高于CK处理,其中在开花期分别较CK处理提高32.64%、29.42%、18.23%。

**2.2.2 过氧化氢酶** 土壤中的过氧化氢酶可分解土壤中对植物细胞有害的过氧化氢<sup>[30]</sup>,是表征土壤微生物特性的重要酶之一,其活性与土壤微生物活动密切相关。不同秸秆覆盖条件下土壤过氧化氢酶活性变化如图6所示。T2处理过氧化氢酶活性在苗期、鼓粒期及成熟期均最大,整体上显著高于T1及CK处理;T3处理过氧化氢酶活性在开花期及结荚期均最大,但与T2处理相比差异不显著。秸秆覆盖会显著提高大豆各生育时期土壤过氧化氢酶活性,0~20 cm土层中过氧化氢酶活性整体上表现为T2>T3>T1>CK。不同处理过氧化氢酶活性均在开花期最高,此期T1、T2、T3处理过氧化氢酶活性较CK分别提高12.27%、20.58%、22.64%。

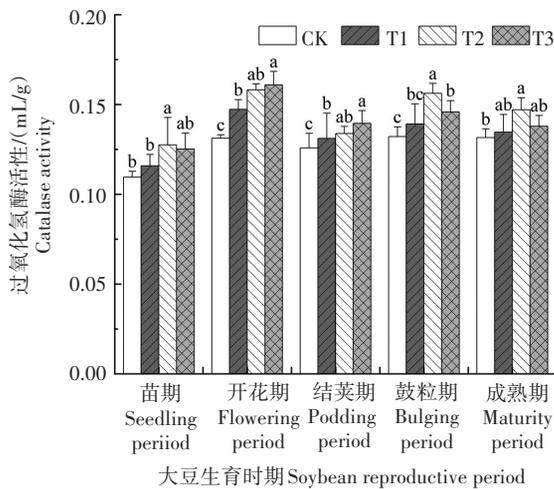


图6 秸秆覆盖对黑土区土壤过氧化氢酶活性的影响  
Fig. 6 Effect of straw mulching on soil catalase activity in black soil area

**2.3 秸秆覆盖对黑土区大豆产量的影响**

不同秸秆覆盖会影响土壤微生物数量及酶活性,进而影响大豆产量。不同秸秆覆盖条件下大豆产量如图7所示。大豆产量从高到低依次为T2>T3>T1>CK,秸秆覆盖的T1、T2、T3处理其大豆产量均显著高于无秸秆覆盖的CK处理,分别提高7.70%、16.89%、11.48%。不同秸秆覆盖量影响大豆产量,T2处理大豆产量显著高于T1处理,而T3处理大豆产量与T1处理相比差异不显著。以上表明,秸秆覆盖对大豆产量的影响并未随着秸秆覆盖量的

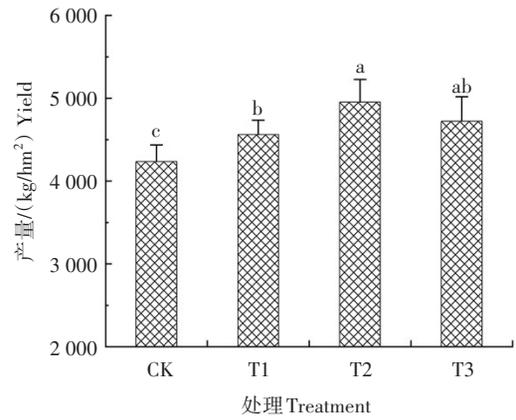
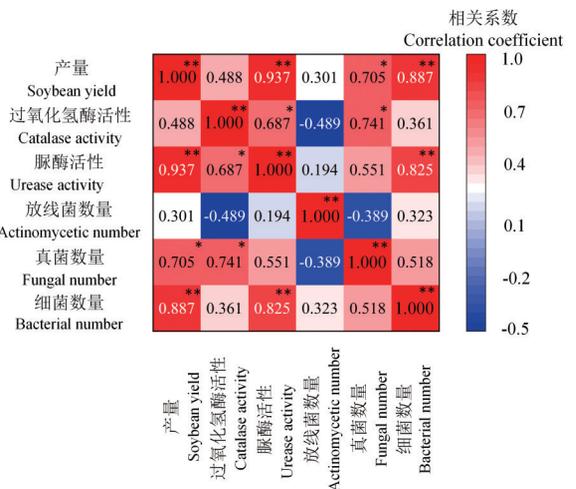


图7 秸秆覆盖对黑土区大豆产量的影响  
Fig. 7 Effect of straw mulching on soybean yield in black soil area

增加而持续增加,表现为T2处理产量最高,说明1.0 kg/m<sup>2</sup>秸秆覆盖是本研究条件下的最优秸秆覆盖量。

**2.4 秸秆覆盖条件下黑土区土壤微生物量、酶活性与大豆产量的相关性分析**

土壤微生物量、酶活性及大豆产量的相关关系如图8所示。大豆产量与脲酶活性、细菌数量呈极显著正相关关系,与真菌数量呈显著正相关关系,说明土壤微生物指标与大豆产量关系密切。细菌数量与脲酶活性呈极显著正相关关系,过氧化氢酶活性与脲酶活性、真菌数量均呈显著正相关关系,说明土壤微生物间也存在相互影响。



\*\*表示P<0.01; \*表示P<0.05。

\*\* represents P<0.01; \* represents P<0.05.

图8 秸秆覆盖条件下黑土区土壤微生物量、酶活性与大豆产量的相关系数

Fig. 8 Correlation coefficient between soil microbial biomass, enzyme activity and soybean yield under straw mulching in black soil area

### 3 结论与讨论

秸秆覆盖可加快土壤微生物繁殖速度,增加土壤细菌、真菌、放线菌和藻类等的数量<sup>[31]</sup>。吕付泽等<sup>[32]</sup>的研究表明,秸秆覆盖显著提高了土壤微生物的磷脂脂肪酸含量,即秸秆覆盖增加了微生物的数量和种类;宋慧宁<sup>[33]</sup>的研究表明,连续多年秸秆覆盖可增加土壤微生物多样性的差异,提高土壤细菌、真菌对土壤含水率及微生物量碳氮的响应。本研究中,不同秸秆覆盖均不同程度地增加了土壤细菌、真菌和放线菌数量,这和刘佳斌等<sup>[34]</sup>的研究结果一致。因此,可以考虑通过增加秸秆覆盖来改变土壤微生物数量。

土壤酶可分解土壤中的矿物质并为作物生长发育提供营养物质。秸秆覆盖在提高土壤脲酶和过氧化氢酶活性<sup>[35]</sup>的同时,可调节土壤中的水、热、气状态<sup>[36]</sup>,保证作物在生育前期温度较低时土壤温度提高及生育中后期温度较高时土壤温度降低,即保持适宜的土壤环境温度,这也有助于土壤酶活性提高<sup>[37]</sup>。本研究中,大豆全生育期内各处理脲酶和过氧化氢酶活性均在开花期达到最大,之后开始下降,最终趋于稳定。脲酶活性在 0.5 kg/m<sup>2</sup> 秸秆还田覆盖时最高,过氧化氢酶活性在 1.0 kg/m<sup>2</sup> 秸秆还田覆盖时最高,均高于 1.5 kg/m<sup>2</sup> 秸秆还田覆盖处理,说明适宜的秸秆还田量可更有效腐解秸秆,提高土壤保温能力,有利于提高土壤酶活性,这和刘玮斌等<sup>[38]</sup>的研究结果一致。WU 等<sup>[39]</sup>的室内秸秆还田试验结果表明,秸秆还田降低了土壤脲酶活性。这和本研究的结果不同,可能是由于试验处理不同以及室内外试验条件差异等多因素影响所致。

秸秆覆盖在改善土壤环境的同时可起到一定的保水保墒效果<sup>[40-45]</sup>,对作物生长起积极作用<sup>[46]</sup>。不同秸秆覆盖方式对比研究表明,秸秆还田覆盖可更好地保持土壤水分,从而达到增产效果<sup>[47]</sup>。本研究表明,不同秸秆覆盖量处理大豆产量比无秸秆覆盖处理均有明显提升,分别增长了 7.70%、16.89%、11.48%,这与蔡丽君等<sup>[48]</sup>的研究结果相似。

综上,本研究秸秆覆盖条件下大豆全生育期内土壤细菌数量呈先升高后降低的趋势,真菌数量呈先升高后降低、再升高再降低的趋势,放线菌数量整体上呈先升高后降低的趋势。秸秆覆盖可有效增加土壤微生物数量、酶活性及大豆产量,但不会随着秸秆覆盖量的增加而持续增加,因此需确定最优的秸秆覆盖量,本研究中 1.0 kg/m<sup>2</sup> 秸秆还田覆盖

量最佳。大豆产量与土壤微生物数量、酶活性关系密切,其中与脲酶活性和细菌数量呈极显著正相关关系,和真菌数量呈显著正相关关系,过氧化氢酶和脲酶活性及真菌数量呈显著正相关关系。本研究基于 3 a 试验数据,但土壤形成是受大气圈、水圈、生物圈等相互作用的极为复杂的过程,后续可进行长期定位试验,并结合土壤养分等指标进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] LIU H W, DU X F, LI Y B, et al. Organic substitutions improve soil quality and maize yield through increasing soil microbial diversity [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 347: 131323.
- [2] 郑好, 王文亮, 管赛赛等. 起垄方向和保护性耕作对山地烟田土壤肥力及烟叶品质的影响[J]. *河南农业科学*, 2017, 46(1): 53-57.  
ZHENG H, WANG W L, GUAN S S, et al. Effect of ridging direction and conservation tillage on mountain area soil fertility and quality of tobacco leaves [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2017, 46(1): 53-57.
- [3] JASKULSKA I, ROMANECKAS K, JASKULSKI D, et al. Soil properties after eight years of the use of strip-till one-pass technology [J]. *Agronomy*, 2020, 10(10): 1596.
- [4] 梁尧, 蔡红光, 杨丽, 等. 玉米秸秆覆盖与深翻两种还田方式对黑土有机碳固持的影响 [J]. *农业工程学报*, 2021, 37(1): 133-140.  
LIANG Y, CAI H G, YANG L, et al. Effects of maize stovers returning by mulching or deep tillage on soil organic carbon sequestration in mollisol [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(1): 133-140.
- [5] 刘晶, 郑利芳, 王颖, 等. 减氮和秸秆还田对旱地土壤微生物和硝化潜势的影响 [J]. *水土保持学报*, 2022, 36(4): 309-315.  
LIU J, ZHENG L F, WANG Y, et al. Effects of nitrogen reduction and straw returning on dryland soil microbes and nitrification potential [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2022, 36(4): 309-315.
- [6] 丁红利, 吴先勤, 张磊. 秸秆覆盖下土壤养分与微生物群落关系研究 [J]. *水土保持学报*, 2016, 30(2): 294-300.  
DING H L, WU X Q, ZHANG L. Study on the relationship between soil nutrients and microbial community composition after cornstalk mulching [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2016, 30(2): 294-300.
- [7] 房秋娜. 外源碳氮和秸秆还田对土壤酶活性和碳组分及水稻产量的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2021: 30-32.  
FANG Q N. Effects of exogenous carbon and nitrogen and straw return to field on soil enzyme activity and carbon fraction and rice yield [D]. Harbin: Northeast Agricultural

- University, 2021:30-32.
- [8] DAS S, BHATTACHARYYA P, ADHYA T K. Interaction effects of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on microbial biomass and enzyme activities in tropical rice soils [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, 182(1):555-569.
- [9] 张海晶,王少杰,罗莎莎,等. 不同秸秆还田方式对土壤微生物影响的研究进展[J]. *土壤与作物*, 2020, 9(2): 150-158.  
ZHANG H J, WANG S J, LUO S S, et al. Research advances in the impact of different straw returning ways on soil microorganisms [J]. *Soils and Crops*, 2020, 9(2): 150-158.
- [10] 余高,陈芬,田霞,等. 冬季覆盖对幼龄柑橘园土壤化学性质及酶活性的影响[J]. *河南农业科学*, 2023, 52(9):91-101.  
YU G, CHEN F, TIAN X, et al. Effects of winter mulching on soil chemical properties and enzyme activities in young citrus orchards [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2023, 52(9):91-101.
- [11] 武继承,潘晓莹,杨永辉,等. 长期施用沼液对土壤养分含量和酶活性的影响[J]. *河南农业科学*, 2021, 50(7):76-86.  
WU J C, PAN X Y, YANG Y H, et al. Effects of long-term application of biogas slurry on soil nutrient content and enzyme activity [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2021, 50(7):76-86.
- [12] 马昱萱,刘立志,张宇飞,等. 添加碳氮对大豆秸秆还田土壤酶活性及微生物量碳的影响[J]. *东北林业大学学报*, 2019, 47(10):75-80.  
MA Y X, LIU L Z, ZHANG Y F, et al. Effects of carbon and nitrogen addition on soil enzyme activity and microbial biomass carbon content of soybean straw after returning to field [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2019, 47(10):75-80.
- [13] 李秀,韩佳乐,吴文雪,等. 秸秆还田方式对关中盆地土壤微生物量碳氮和冬小麦产量的影响[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(4):170-176.  
LI X, HAN J L, WU W X, et al. Effects of different straw returning methods on soil microbial biomass carbon, nitrogen and winter wheat yield in Guanzhong Plain [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, 32(4):170-176.
- [14] 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.  
YAN H R, CAO Y C, XIE W, et al. Effects of maize straw returning on soil enzyme activity [J]. *Journal of Northwest A & F University(Natural Science Edition)*, 2015, 43(7):177-184.
- [15] 何亚玲,崔慧珍,王兵兵,等. 玉米秸秆连续还田对土壤微生物群落组成的影响[J]. *农业科学研究*, 2022, 43(4):27-35.  
HE Y L, CUI H Z, WANG B B, et al. Effects of continuous maize straw return on soil microbial community composition [J]. *Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 43(4):27-35.
- [16] 马立晓,李婧,邹智超,等. 免耕和秸秆还田对我国土壤碳循环酶活性影响的荟萃分析[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(9):1913-1925.  
MA L X, LI J, ZOU Z C, et al. Effects of no-tillage and straw returning on soil C-cycling enzyme activities in China: Meta-analysis [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(9):1913-1925.
- [17] 于寒,梁烜赫,张玉秋,等. 不同秸秆还田方式对玉米根际土壤微生物及酶活性的影响[J]. *农业资源与环境学报*, 2015, 32(3):305-311.  
YU H, LIANG X H, ZHANG Y Q, et al. Effects of different straw returning modes on the soil microorganism and enzyme activity in corn field [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2015, 32(3):305-311.
- [18] 徐忠山,刘景辉,逯晓萍,等. 秸秆颗粒还田对黑土土壤酶活性及细菌群落的影响[J]. *生态学报*, 2019, 39(12):4347-4355.  
XU Z S, LIU J H, LU X P, et al. Effects of returning granulated corn stover on soil enzyme activities and bacterial community in black soil [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(12):4347-4355.
- [19] 胡月华. 土壤有机碳组分及微生物功能多样性对耕作方式与秸秆覆盖量的响应[J]. *江苏农业科学*, 2023, 51(4):206-212.  
HU Y H. Response of soil organic carbon composition and microbial functional diversity to tillage methods and straw mulch [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2023, 51(4):206-212.
- [20] 郭振威,李永山,陈梦妮,等. 长期秸秆还田和施用有机肥对连作棉田土壤化学性质及微生物数量的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2022, 27(11):177-186.  
GUO Z W, LI Y S, CHEN M N, et al. Effects of long-term straw returning and organic fertilizer application on the soil chemical properties and microbial quantity of continuous cropping cotton field [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(11):177-186.
- [21] 吕开源,周立萍,康建宏,等. 不同耕作方式下玉米秸秆还田对土壤真菌群落的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2022(8):112-122.  
LÜ K Y, ZHOU L P, KANG J H, et al. Effects of maize straw returning on soil fungal community under different tillage methods [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2022(8):112-122.
- [22] 李顺鹏. 微生物学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社, 2003:78-79.  
LI S P. *Microbiology experiment guide* [M]. Beijing: Agricultural Press, 2003:78-79.
- [23] 何绍江,陈雯莉. 微生物实验[M]. 北京:中国农业出版社, 2007:45-48.

- HE S J, CHEN W L. Microbiology experiments [M]. Beijing: Agricultural Press, 2007: 45-48.
- [24] 关松荫. 土壤酶与土壤肥力[J]. 土壤通报, 1980, 11(6): 41-44.  
GUAN S Y. Soil enzymes and soil fertility[J]. Chinese Journal of Soil Science, 1980, 11(6): 41-44.
- [25] 张蕤, 王欢欢, 赵园园等. 不同碳源有机物料对植烟土壤碳氮及细菌群落的影响[J]. 河南农业科学, 2022, 51(3): 84-94.  
ZHANG R, WANG H H, ZHAO Y Y, et al. Effects of organic materials with different carbon sources on soil carbon and nitrogen and bacterial communities in tobacco-planting soil[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2022, 51(3): 84-94.
- [26] 魏全全, 顾小凤, 苟久兰等. 氮肥及有机物料配施对黄壤冬油菜-玉米轮作田土壤微生物群落的影响[J]. 河南农业科学, 2023, 52(6): 41-50.  
WEI Q Q, GU X F, GOU J L, et al. Effect of nitrogen fertilizer combined with organic materials on microbial community in winter rapeseed-maize rotation in yellow soil[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(6): 41-50.
- [27] 李善敏, 曾歆花, 黄卫昌等. 不同林地类型对白及生长及其内生真菌多样性的影响[J]. 河南农业科学, 2023, 52(7): 70-80.  
LI S M, ZENG X H, HUANG W C, et al. Effects of different forest type on the growth of *bletilla striata* and diversity of endophytic fungus[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(7): 70-80.
- [28] WU X, ZHANG T, ZHAO J N, et al. Variation of soil bacterial and fungal communities from fluvo-aquic soil under chemical fertilizer reduction combined with organic materials in North China Plain[J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2021, 21(1): 349-363.
- [29] 胡朋成, 尹娟, 魏小东, 等. 不同水氮处理对马铃薯品质及土壤脲酶活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(6): 87-92.  
HU P C, YIN J, WEI X D, et al. Effect of different water and nitrogen treatments on potato quality and soil urease activity[J]. Journal of Jiangsu Agricultural Science, 2022, 50(6): 87-92.
- [30] 王建, 卢超超, 芦珊珊, 等. 蔬菜大棚土壤过氧化氢酶活性及与养分关系研究[J]. 甘肃科学学报, 2018, 30(2): 45-49.  
WANG J, LU C C, LU S S, et al. Study on the relationship between soil catalase activity and nutrient in vegetable greenhouse [J]. Journal of Gansu Sciences, 2018, 30(2): 45-49.
- [31] 张常仁, 杨雅丽, 程全国, 等. 不同耕作模式对东北黑土微生物群落结构和酶活性的影响[J]. 土壤与作物, 2020, 9(4): 335-347.  
ZHANG C R, YANG Y L, CHENG Q G, et al. Effects of different tillages on soil microbial community structure and enzyme activity in mollisols of China[J]. Soils and Crops, 2020, 9(4): 335-347.
- [32] 吕付泽, 杨雅丽, 鲍雪莲, 等. 免耕不同秸秆覆盖量对黑土微生物群落及其残留物的影响[J]. 应用生态学报, 2023, 34(4): 903-912.  
LÜ F Z, YANG Y L, BAO X L, et al. Effects of no-tillage and different stover mulching amounts on soil microbial community and microbial residue in the Mollisols of China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2023, 34(4): 903-912.
- [33] 宋慧宁. 连年玉米秸秆还田对土壤养分和土壤细菌、真菌群落结构的影响[D]. 长春: 吉林大学, 2022: 67-69.  
SONG H N. Effects of successive years of corn straw return on soil nutrients and soil bacterial and fungal community structure [D]. Changchun: Jilin University, 2022: 67-69.
- [34] 刘佳斌, 李传宝, 王宏燕. 秸秆还田不同处理方式对黑土微生物数量和土壤酶活性的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(9): 5285-5287.  
LIU J B, LI C B, WANG H Y. Effects of different way of straw returning on microorganism quantity and soil enzyme in black soil[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2012, 40(9): 5285-5287.
- [35] 萨如拉, 高聚林, 于晓芳, 等. 玉米秸秆深翻还田对土壤有益微生物和土壤酶活性的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(7): 138-143.  
SA R L, GAO J L, YU X F, et al. Effect of straw-deep incorporation on soil beneficial microorganism and soil enzyme activities[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(7): 138-143.
- [36] 齐智娟, 宋芳, 张忠学, 等. 保护性耕作对寒地黑土土壤水热效应与玉米产量的影响[J]. 农业机械学报, 2022, 53(12): 380-389.  
QI Z J, SONG F, ZHANG Z X, et al. Effects of different conservation tillage methods on soil hydrothermal condition as well as maize yield in cold black soil region [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(12): 380-389.
- [37] 冯彪, 青格尔, 高聚林, 等. 不同耕作方式对土壤酶活性及微生物量和群落组成关系的影响[J]. 北方农业学报, 2021, 49(3): 64-73.  
FENG B, QING G E, GAO J L, et al. Effects of different tillage methods on soil enzyme activity, microbial biomass and community composition [J]. Journal of Northern Agriculture, 2021, 49(3): 64-73.
- [38] 刘玮斌, 田文博, 陈龙, 等. 不同秸秆还田方式对土壤酶活性和玉米产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(5): 25-29.  
LIU W B, TIAN W B, CHEN L, et al. Effects of different straw returning methods on soil enzyme activity and maize yield [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2019(5): 25-29.

- [39] WU F P, JIA Z K, WANG S G, et al. Contrasting effects of wheat straw and its biochar on greenhouse gas emissions and enzyme activities in a chernozemic soil [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2013, 49(5): 555-565.
- [40] 岳杨, 孙盼盼, 张艳辉, 等. 秸秆还田方式对土壤物理性状及春玉米产量的影响[J]. *湖北农业科学*, 2021, 60(11):35-38.  
YUE Y, SUN P P, ZHANG Y H, et al. Effects of returning methods of straw on soil physical property and spring maize yield [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2021, 60(11):35-38.
- [41] 秦猛, 董全中, 薛红, 等. 我国保护性耕作的研究进展[J]. *河南农业科学*, 2023, 52(7): 1-11.  
QIN M, DONG Q Z, XUE H, et al. Research progress of conservation tillage in China [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2023, 52(7): 1-11.
- [42] 甘磊, 邓婉珍, 陶涣壮, 等. 秸秆覆盖对广西甘蔗地土壤水分变化的影响[J]. *南方农业学报*, 2021, 52(9): 2438-2446.  
GAN L, DENG W Z, TAO H Z, et al. Effects of straw mulching on the change of soil moisture in sugarcane field of Guangxi [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2021, 52(9):2438-2446.
- [43] 陈仕林, 蒙炎成, 胡钧铭, 等. 秸秆覆盖对粉垄蔗田土壤有机碳及CO<sub>2</sub>排放的影响[J]. *南方农业学报*, 2021, 52(2):307-316.  
CHEN S L, MENG Y C, HU J M, et al. Effects of smash ridging on soil organic carbon and CO<sub>2</sub> emissions in straw mulching sugarcane field [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2021, 52(2):307-316.
- [44] 练华山, 李红艳, 林立金. 覆盖少花龙葵秸秆对树番茄幼苗菌积累的影响[J]. *河南农业科学*, 2020, 49(2): 111-115.  
LIAN H S, LI H Y, LIN L J. Effects of mulching with *Solanum photeinocarpum* straw on cadmium accumulation of *Cyphomandra beracea* seedlings [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2020, 49(2): 111-115.
- [45] 李向东, 张德奇, 王汉芳, 等. 豫南雨养区小麦简耕覆盖高产高效技术创新与应用[J]. *河南农业科学*, 2012, 41(12):42-46.  
LI X D, ZHANG D Q, WANG H F, et al. Innovation and application of winter wheat cultivation technologies with minimum tillage and straw mulching in rain-fed area of southern Henan [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2012, 41(12):42-46.
- [46] 于宗波, 杨恒山, 萨如拉, 等. 不同质地土壤玉米秸秆还田配施腐熟剂效应的研究[J]. *水土保持学报*, 2019, 33(4):234-240.  
YU Z B, YANG H S, SA R L, et al. Effect of maize straw returning combined with maturation agent in different texture soils [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2019, 33(4):234-240.
- [47] 李国阳, 燕照玲, 李任, 等. 秸秆还田配施肥料及腐熟剂对土壤酶活性及小麦产量的影响[J]. *河南农业科学*, 2016, 45(8):59-63.  
LI G Y, YAN Z L, LI Q, et al. Effects of straw returning with fertilizer and decomposition inoculants on soil enzyme activity and yield of winter wheat [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2016, 45(8): 59-63.
- [48] 蔡丽君, 张敬涛, 刘婧琦, 等. 长期免耕秸秆还田对寒地土壤有机碳及大豆产量的影响[J]. *作物杂志*, 2021(6):189-192.  
CAI L J, ZHANG J T, LIU J Q, et al. Effects of long-term no-tillage straw returning on soil organic carbon and soybean yield in cold region [J]. *Crops*, 2021(6):189-192.