

# 配施生物有机肥对汉麻根际土壤理化性质的影响

张晓艳, 边 境, 曹 焜, 李学海, 田 媛\*

(黑龙江省科学院大庆分院, 黑龙江 大庆 163319)

**摘要:** 为了明确生物有机肥对土壤健康的作用, 研究休闲地、不施肥、单施化肥、配施20%生物有机肥对汉麻根际土壤理化性质的影响。结果表明, 配施生物有机肥后汉麻根际土壤总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度及含水量提高5.67%~23.60%, pH值、容重降低1.51%~12.32%; 配施生物有机肥汉麻根际土壤的CEC(土壤阳离子交换量)、有效磷、速效钾、碱解氮、全氮、全磷、全钾及有机质含量提高1.88%~97.91%; 配施生物有机肥后汉麻根际土壤的脲酶、蔗糖酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶活性及总球囊霉素和易提取球囊霉素含量提高8.70%~270.00%。配施生物有机肥有效改善了汉麻根际土壤的物理性质, 有效提升了土壤养分、酶活性及球囊霉素含量, 降低了土壤pH值和容重, 为黑土健康的恢复奠定了理论基础。

**关键词:** 汉麻; 土壤; 生物有机肥; 物理性质; 化学性质

中图分类号: S563.3

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2026)01-0053-06

## Effect of Microbial Organic Fertilizer Application on the Physicochemical Properties of Rhizosphere Soil of Hemp

ZHANG Xiaoyan, BIAN Jing, CAO Kun, LI Xuehai, TIAN Yuan\*

(Daqing Branch of Heilongjiang Academy of Sciences, Daqing 163319, China)

**Abstract:** In order to clarify the effect of microbial organic fertilizer on soil health, the effects of four treatments—fallow land(no tillage and no fertilization), no fertilization, single application of chemical fertilizer, and combined application of 20% microbial organic fertilizer with 80% chemical fertilizer—on the physicochemical properties of hemp rhizosphere soil were studied. The results showed that compared with the other three treatments, the combined application of 20% microbial organic fertilizer with 80% chemical fertilizer increased the total porosity, capillary porosity, non-capillary porosity, and water content of hemp rhizosphere soil by 5.67%-23.60%, while the soil pH value and bulk density decreased by 1.51%-12.32%. This combined application also increased the contents of cation exchange capacity(CEC), organic matter, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, available phosphorus, available potassium, and alkaline hydrolyzed nitrogen in hemp rhizosphere soil by 1.88%-97.91%. Additionally, it increased the activities of urease, sucrase, acid phosphatase, and catalase, as well as the contents of total glomalin and easily extractable glomalin in hemp rhizosphere soil by 8.70%-270.00%. In conclusion, the combined application of microbial organic fertilizer effectively improved the physical properties of hemp rhizosphere soil, enhanced soil nutrients, enzyme activities, and glomalin content, and lowered soil pH value and bulk density. This study has laid a theoretical foundation for the restoration of black soil health.

**Key words:** Hemp; Soil; Microbial organic fertilizer; Physical property; Chemical property

我国东北黑土区泛指分布于我国东北部, 主要包括辽河和松花江两大流域水系, 即东北平原, 是世界三大黑土区之一, 由于过度开垦和掠

夺式经营导致黑土层变薄、土壤质量下降<sup>[1]</sup>。汉麻(工业大麻)是指四氢大麻酚(THC)含量低于0.3%、无毒品利用价值的一个品种类型, 具有适应性强、分布广泛、抗逆性强、根系庞大、碳汇能力强等优良特性, 因此种植汉麻可以减缓黑土层水土流失、改善黑土土壤板结状况、降低黑土盐碱化程度、提高黑土肥力及吸收土壤中的重金属离子等<sup>[2-3]</sup>。

收稿日期: 2024-06-27

基金项目: 黑龙江省科学院创新基金项目(CXJQ2024DQ01)

作者简介: 张晓艳(1980-), 女, 助理研究员, 博士, 从事汉麻栽培育种研究。

通信作者: 田 媛, E-mail: 295360101@qq.com

有机肥是指对各种动植物废弃物,如粪便、秸秆等采取特殊工艺去除有害物质,达到无害化标准的一类肥料,其能促进微生物快速生长繁殖并提高土壤球囊霉素的含量<sup>[4-5]</sup>。而球囊霉素是一种在土壤中普遍存在且具有热稳定性的特殊糖蛋白,它可以促进土壤团聚体的形成和稳定,增加土壤碳库,提高植物抗逆能力等<sup>[6-7]</sup>。生物有机肥是将微生物与有机肥结合起来的一种肥料,施入土壤后能够改善土壤的通透性及耕性,协调土壤的水、肥、气、热等,并提高土壤稳定性和肥力<sup>[8-9]</sup>。研究表明,施用生物有机肥能有效降低土壤中的硝酸根离子含量、pH值,缓解土壤盐渍化程度<sup>[10]</sup>,并能显著改善土壤性状,尤其在全氮、全磷、全钾等方面效果显著<sup>[11]</sup>。配施生物有机肥显著提高土壤中的微生物数量和速效养分含量,同时改善花椰菜的根际生长环境,促进其生长发育<sup>[12]</sup>。生物有机肥的施用还可以改善土壤环境,为土壤微生物提供一个舒适的生存环境,丰富了土壤微生物种类,提高了土壤酶活性,同时也促进了作物根系的生长发育,进一步改善了土壤的生物学特性,使土壤向着健康的方向发展<sup>[13-14]</sup>。与传统施肥相比,施用生物有机肥部分土壤酶的活性有所提高<sup>[15]</sup>。

目前生物有机肥在汉麻上的应用鲜见报道。本试验研究汉麻根际土壤毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度、容重及含水量等物理性质的变化,同时测定pH值、有机质、CEC、土壤养分及土壤酶活性等化学性质的变化,以期为东北黑土地保护与利用提供理论基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

试验在黑龙江省科学院大庆分院的试验基地进行(125°22'E、46°19'N)。供试品种为汉麻7号。试验地平整且肥力均匀,土壤类型为草甸黑钙土,土壤含有有机质1.99%、碱解氮69.84 mg/kg、有效磷12.68 mg/kg、速效钾100.67 mg/kg、pH值8.22。供试化肥总养分(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O)≥45%,生物有机肥总养分≥5%,有机质≥45%,枯草芽孢杆菌≥2.0亿/g。肥料以基肥方式一次性施入,施肥深度8~10 cm。

### 1.2 试验设计

试验设4个处理,3次重复,4个处理分别为无耕作耕种的田地(CX)、不施肥(CB)、单施化肥(FH)、80%化肥并配施20%生物有机肥(FS),采用随机区组排列,具体肥料施用量详见表1。采用大垄

移栽方式,10行区,垄宽1.3 m,行长20 m,小区面积260 m<sup>2</sup>,苗后田间管理同大田。

表1 不同处理肥料的施用量 kg/hm<sup>2</sup>  
Table 1 Application rates of fertilizers for different treatments

处理 Treatment	CX	CB	FH	FS
化肥	0	0	450	360
生物有机肥	0	0	0	90

### 1.3 测定项目及方法

#### 1.3.1 土壤的取样方法

汉麻根际土壤采集采用五点采样法,选择生长状况良好且能代表小区生长状况的5株汉麻采集根际土壤,首先抖落根部非根际土壤,再用刷子将根上剩余的土壤轻轻刷下来,即得到根际土壤。同一个小区5株汉麻根际土壤混为1个样品,将其放入自封袋,做好标记后带回实验室。土样过2 mm筛后分成2份,一份储存于-80℃冰箱内,用于进行土壤宏基因组测定;一份常温风干,用于测定土壤理化指标、养分指标及酶活性。

#### 1.3.2 土壤理化性质的测定方法

##### 1.3.2.1 土壤物理性质

土壤容重采用环刀法进行测定,具体计算方法如下:

设环刀重为 $W_0$ ,环刀的体积为 $V$ ,环刀内土壤吸水饱和后称重为 $W_2$ ,饱和后静置12 h后称重为 $W_3$ ,烘干后称重为 $W_4$ ,则土壤容重、土壤孔隙度计算公式如下:

$$\text{土壤容重}=(W_4-W_0)/V$$

$$\text{土壤总孔隙度}=(W_2-W_4)/V\times 100\%$$

$$\text{土壤毛管孔隙度}=(W_3-W_4)/V\times 100\%$$

$$\text{土壤非毛管孔隙度}=(W_2-W_3)/V\times 100\%$$

$$\text{土壤毛管孔隙度}=\text{总孔隙度}-\text{非毛管孔隙度}$$

##### 1.3.2.2 土壤水分测定

土壤水分采用烘干法进行测定,土壤含水量=(烘干前铝盒及土样质量-烘干后铝盒及土样质量)/(烘干后铝盒及土样质量-烘干空铝盒质量)×100%。

##### 1.3.2.3 土壤化学性质

土壤pH值采用电位法测定,土壤全氮量用凯氏法测定,全磷量用酸溶-钼锑抗比色法测定,土壤全钾采用氢氧化钠熔融-AAS法,有机质质量分数用重铬酸钾滴定法测定,碱解氮采用碱解扩散

法测定,有效磷采用碳酸氢钠-浸提钼锑抗比色法,速效钾采用乙酸铵浸提-AAS法,CEC采用乙酸铵交换-蒸馏法<sup>[15-18]</sup>。

### 1.3.3 土壤酶活性的测定方法

总球囊霉素和易提取球囊霉素采用柠檬酸钠浸提-Bradford法,土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定,脲酶活性采用苯酚-次氯酸钠比色法测定,酸性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定,蔗糖酶活性采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定,硝酸还原酶采用酚二磺酸比色法测定,碱性蛋白酶活性采用茚三酮比色法测定,多酚氧化酶活性采用邻苯三酚比色法测定<sup>[18-21]</sup>。试剂盒均购自上海生工生物技术有限公司。

## 1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2016 对数据进行统计分析;利用 SPSS 25.0 进行单因素方差分析(One-way ANOVA)及多重比较(Duncan)。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤物理性状

从表2可以看出,FS处理的总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度及含水量分别比FH、CX和CB高5.67%~23.60%,总孔隙度、毛管孔隙度处理与FH、CB和CX之间差异显著,FS的容重比FH、CX和CB降低3.97%~12.32%,差异显著,说明配施生物有机肥可以改善土壤物理性质,进而提高土壤肥力。

表2 不同处理土壤物理性质的变化

Table 2 Changes in soil physical properties under different treatments

项目 Item	总孔隙度/% Total porosity	毛管孔隙度/% Capillary porosity	非毛管孔隙度/% Non capillary porosity	容重/g·cm <sup>-3</sup> Bulk density	含水量/% Water content
CX	44.46c	34.49d	9.96a	1.38a	12.23c
CB	46.41c	36.50c	10.91a	1.32ab	13.40b
FH	49.40b	38.40b	11.01a	1.26b	14.10ab
FS	54.70a	42.63a	12.07a	1.21c	14.90a

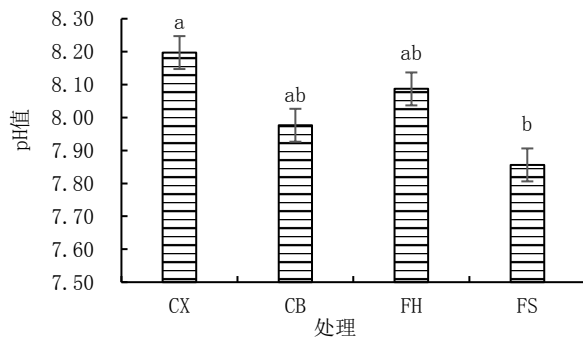
注:同列不同小写字母表示差异性显著( $P<0.05$ ),下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences( $P<0.05$ ), the same below.

### 2.2 土壤化学性质

#### 2.2.1 不同处理对pH值的影响

如图1所示,CX处理的pH值最高为8.20,FS的pH值最低为7.86。FS处理的pH值分别比其他处理降低4.16%、1.51%和2.85%,说明配施生物有机肥有利于降低土壤的pH值,为汉麻生长发育提供良好的土壤环境。



注:不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences( $P<0.05$ ), the same below.

图1 不同处理对pH值的影响

Fig. 1 Changes in pH under different treatments

#### 2.2.2 不同处理对有机质含量的影响

如图2所示,FS、FH和CB的有机质含量分别比CX提高15.89%、6.47%和4.48%,FS处理的有机质含量分别比FH和CB提高9.01%和10.71%,FS与FH、CB和CX间差异显著,由此可知,配施生物有机肥显著提高土壤有机质含量。

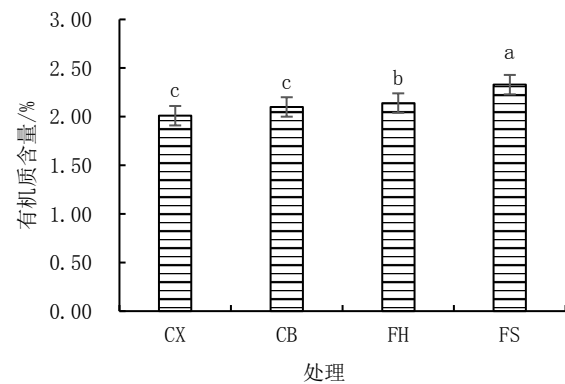


图2 不同处理有机质含量的影响

Fig. 2 Changes in organic matter content under different treatments

### 2.2.3 不同处理全氮、全磷、全钾含量的影响

如图3所示,FS、FH和CB的全氮、全磷和全钾含量分别比CX提高5.42%~85.33%,而FS处理的全氮、全磷和全钾养分含量分别比FH和CB提高14.26%、36.19%、9.06%和45.93%、55.31%、13.67%,各处理间差异显著,结果表明,配施生物有机肥对增加土壤全氮、全磷和全钾含量有显著的促进作用。

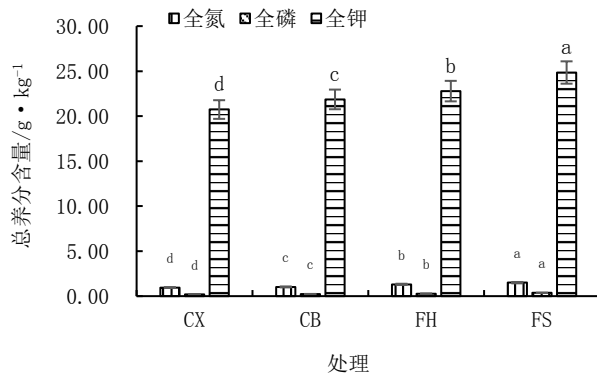


图3 不同处理全氮、全磷、全钾含量的影响

Fig. 3 Changes in total nitrogen, total phosphorus, and total potassium content under different treatments

### 2.2.4 不同处理碱解氮、有效磷、速效钾

从图4可以看出FS、FH和CB的速效钾、碱解氮和有效磷含量分别比CX提高4.45%~97.91%,处理间差异显著,FS处理的速效钾、碱解氮和有效磷含量分别比FH和CB提高12.96%、11.60%、9.10%和46.46%、79.74%、46.47%,各处理间差异显著,由此可知,配施生物有机肥对增加土壤速效钾、碱解氮和有效磷含量有显著的促进作用。

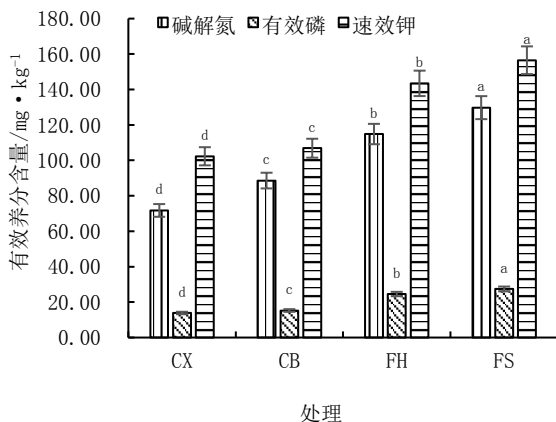


图4 不同处理碱解氮、有效磷及速效钾含量的变化

Fig. 4 Changes in alkaline hydrolyzed nitrogen, available phosphorus, and available potassium content under different treatments

### 2.2.5 不同处理对阳离子交换量(CEC)的影响

如图5示,FS处理的CEC值最高,为16.81 cmol/kg, CX的CEC值最低,为15.79 cmol/kg。FS处理的CEC值分别比其他处理提高1.88%、6.14%和6.44%,说明配施生物有机肥有利于提高土壤的CEC值,为汉麻生长发育提供良好的土壤养分条件。

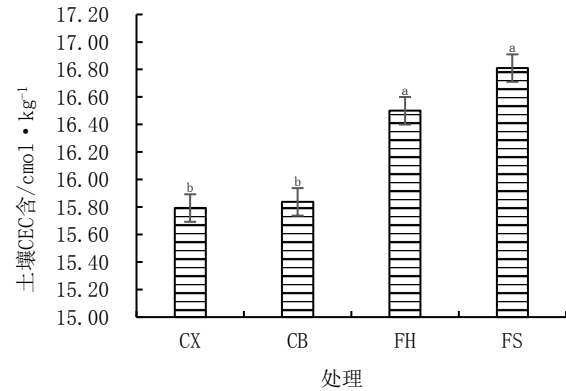


图5 不同处理土壤CEC含量的变化

Fig. 5 Changes in soil CEC content under different treatment conditions

### 2.2.6 不同处理土壤酶活性的影响

如表3所示,FS、FH和CB的脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶和酸性磷酸酶的活性与CX相比增加5.07%~72.35%,处理间差异显著,而FS处理的脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶和酸性磷酸酶的活性分别比FH和CB提高22.22%、23.13%、41.52%、8.09%和57.14%、41.99%、50.45%、64.04%,各处理间差异显著,由此可知配施生物有机肥可以增加土壤脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶和酸性磷酸酶的活性。

表3 土壤酶活性的变化  
Table 3 Changes in soil enzyme activity

项目 Item	CX	CB	FH	FS
脲酶/mg·d <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup>	1.89d	2.03c	2.61b	3.19a
过氧化氢酶/mmol·d <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup>	16.81d	18.86c	21.75b	26.78a
蔗糖酶/mg·d <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup>	29.54d	32.15c	34.18b	48.37a
酸性磷酸酶/μmol·d <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup>	2.17d	2.28c	3.46b	3.74a

### 2.2.7 不同处理球囊霉素含量的影响

如图6所示,FS、FH和CB的总球囊霉素、易提取球囊霉素含量分别比CX提高15.38%~270.00%,处理间差异显著,而FS处理的总球囊霉素、易提取球囊霉素含量分别比FH和CB提高

8.70%、48.00% 和 25.00%、105.56%,各处理间差异显著,由此可知,配施生物有机肥对增加土壤总球囊霉素和易提取球囊霉素含量有显著的促进作用。

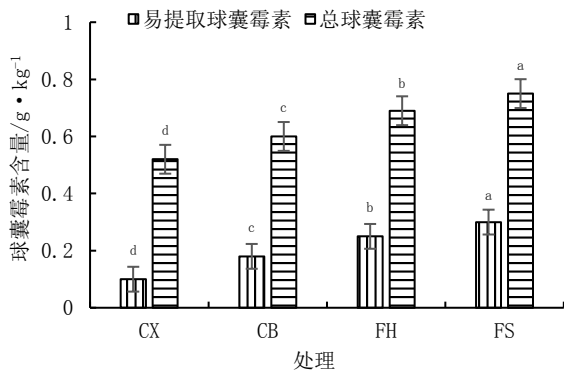


图6 不同处理球囊霉素含量的变化

Fig. 6 Changes in the content of glomalin in different treatments

### 3 讨论与结论

生物有机肥主要是微生物通过自身的生命活动,将土壤中的难溶性养分转变为有效养分,如解磷、钾细菌将土壤中难溶性的磷、钾转化为作物能吸收利用的速效磷、钾养分。生物有机肥不但能有效提高土壤的孔隙度、通透交换性,还能改善土壤pH值<sup>[22]</sup>。

大量研究已证实,生物有机肥提高土壤肥力及疏松度、调控土壤微生物组成和结构、降低土传病害、促进植物生长发育,并提高植物的抗性、产量、品质等优势<sup>[23-26]</sup>。当归种植中应用生物肥料,可显著提高当归土壤中土壤脲酶、酸性磷酸酶和碱性磷酸酶活性<sup>[27]</sup>。本研究表明,配施生物有机肥提高了汉麻根际土壤总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度及含水量,降低了汉麻根际土壤的容重及pH值;提高了汉麻根际土壤的全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾、碱解氮、有机质含量及脲酶、蔗糖酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶活性、总球囊霉素和易提取球囊霉素含量。与荆瑞勇等<sup>[28]</sup>及胡可等<sup>[29]</sup>的研究结果相似,部分生物有机肥替代无机肥也可促进玉米等对氮、磷、钾等养分的吸收利用率,提高土壤微生物群落的种类和数量,改善土壤酶活性,进而优化了作物生长环境,提高了作物产量和品质。

种植汉麻并配施生物有机肥,可能提高了土壤微生物环境质量,增加了土壤微生物群落结构及多样性,而土壤中的微生物是整个生态系统中物种多样性以及丰度最高的物种,参与了土壤中

几乎全部的物质能量转化,是影响生物化学循环的主要影响因素,从而改善了土壤的理化性质。本课题组下一步将对汉麻根际土壤的微生物和代谢物进行深入研究。

生物肥料具有高效、生态友好、安全等特点,近年来在农业领域引起了广泛关注,而有关其在汉麻生态栽培中的应用极少。本研究表明,配施生物有机肥有效改善了汉麻根际土壤的物理性质,有效提升了土壤养分、酶活性及球囊霉素含量,降低了土壤容重和pH值,为黑土健康的恢复奠定了理论基础。

### 参考文献:

- [1] 蔡洪波. 黑土地保护的必要性及技术措施[J]. 土壤肥料, 2019(1): 72.  
CAI H B. The necessity and technical measures of black soil protection[J]. Soil and Fertilizer, 2019(1): 72. (in Chinese)
- [2] AVICO U, PACOFOCO R, ZUCCARO P. Variations of tetrahydrocannabinol content in cannabis plants to distinguish the fibre-type from drug-type plants[J]. Bulletin on Narcotics, 1985, 37(4): 61-65.
- [3] 张晓艳, 曹焜, 李学海, 等. 大麻种质资源表型性状及主要大麻素含量的遗传多样性分析及评价[J]. 东北农业科学, 2024, 49(5): 25-31.  
ZHANG X Y, CAO K, LI X H, et al. Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of phenotypic traits and major cannabinoids content in hemp germplasm resources[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2024, 49(5): 25-31. (in Chinese)
- [4] 孙宇峰, 张晓艳. 汉麻育种与栽培[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2023: 6-7.
- [5] 温云杰, 刁风伟, 高敏, 等. 有机物料与土壤质地对土壤球囊霉素的影响[J]. 山西农业科学, 2022, 50(8): 1176-1183.  
WEN Y J, DIAO F W, GAO M, et al. Influence of organic amendments types and soil texture on soil glomalin[J]. Shanxi Agricultural Science, 2022, 50(8): 1176-1183. (in Chinese)
- [6] 虞轶俊, 马军伟, 陆若辉, 等. 有机肥对土壤特性及农产品产量和品质影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2020, 36(35): 64-71.  
YU Y J, MA J W, LU R H, et al. Effect of organic fertilizer on soil characteristics, yield and quality of agricultural products: research progress[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(35): 64-71. (in Chinese)
- [7] HOLÁTKO J, BRNICKÝ M, KUČERÍK J, et al. Glomalin - Truths, myths, and the future of this elusive soil glycoprotein[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2021, 153: 108-116.
- [8] GISPERT M, PHANG C, CARRASCO-BAREA L. The role of soil as a carbon sink in coastal salt-marsh and agropastoral systems at La Pletera, NE Spain[J]. Catena, 2020, 185: 104331.
- [9] 付丽军, 张爱敏, 王向东, 等. 生物有机肥改良设施蔬菜土壤的研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2017, 19(3): 1-5.  
FU L J, ZHANG A M, WANG X D, et al. Advances on applica-

- tion of bio organic fertilizer for restoring facility vegetable soil [J]. Chinese Journal of Soil and Fertilizer, 2017, 19(3): 1-5. (in Chinese)
- [10] 王文丽, 靳海波, 李娟, 等. 生物有机肥料对连作马铃薯根际营养及生长发育的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018, 56(6): 187-191.  
WANG W L, JIN H B, LI J, et al. Effects of different fertilization levels on growth characteristics of yam and nutrient recommendation based on yield response[J]. Chinese Journal of Soil and Fertilizer, 2018, 56(6): 187-191. (in Chinese)
- [11] 张绪美, 曹亚茹, 沈文忠, 等. 微生物肥对设施土壤次生盐渍化和番茄生产的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019, 56(5): 119-126.  
ZHANG X M, CAO Y R, SHEN W Z, et al. Effects of microbial fertilizer on soil secondary salinization and tomato production in protected cultivation[J]. Chinese Journal of Soil and Fertilizer, 2019, 56(5): 119-126. (in Chinese)
- [12] 贾豪语, 张国斌, 郁继华, 等. 化肥与生物肥配施对花椰菜产量和养分吸收利用的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2013, 48(5): 36-42, 49.  
JIA H Y, ZHANG G B, YU J H, et al. Effects of fertilizer and bio-fertilizer combined application on yield and nutrient absorption and utilization of cauliflower[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2013, 48(5): 36-42, 49. (in Chinese)
- [13] 蔡燕飞, 廖宗文, 章家恩, 等. 生态有机肥对番茄青枯病及土壤微生物多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(3): 349-353.  
CAI Y F, LIAO Z W, ZHANG J E, et al. Effect of ecological organic fertilizer on tomato bacterial wilt and soil microbial diversities[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(3): 349-353. (in Chinese)
- [14] 李红丽, 李清飞, 郭夏丽, 等. 调节土壤微生态防治烟草青枯病[J]. 河南农业科学, 2006(2): 57-60.  
LI H L, LI Q F, GUO X L, et al. Regulating soil microecology to prevent and control tobacco wilt disease[J]. Henan Agricultural Science, 2006(2): 57-60. (in Chinese)
- [15] 张静, 杨江舟, 胡伟, 等. 生物有机肥料对大豆红冠腐病及土壤酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(3): 548-554.  
ZHANG J, YANG J Z, HU W. Effect of biological organic fertilizer on soy-bean red crown rot and soil enzyme activities[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(3): 548-554. (in Chinese)
- [16] 张鹤珩, 石军. 温度对Olsen法测定潮土速效磷的影响和校正方法的探讨[J]. 华北农学报, 1995, 10(3): 109-114.  
ZHANG H H, SHI J. Discussion on the Influence of temperature in testing available phosphorus in Chao soil by Olsen method and its correction[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1995, 10(3): 109-114. (in Chinese)
- [17] 关继义, 陈立新. 土壤实验实习教程[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2005: 98-141.
- [18] 李振高, 骆永明, 滕应. 土壤与环境微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 390-405.
- [19] 张韫. 土壤·水·植物理化分析教程[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011: 186-225.
- [20] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 128-132.
- [21] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 274-329.
- [22] 杨克俊. 生物有机肥作用的研究与进展[J]. 农业开发与装备, 2021(2): 70-72.  
YANG K J. Research and progress on the role of bio organic fertilizers[J]. Agricultural Development and Equipment, 2021(2): 70-72. (in Chinese)
- [23] 孙家骏, 付青霞, 谷洁, 等. 生物有机肥对猕猴桃土壤酶活性和微生物群落的影响[J]. 应用生态学报, 2016(3): 829-837.  
SUN J J, FU Q X, GU J, et al. Effects of bio-organic fertilizer on soil enzyme activities and microbial community in kiwifruit orchard[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016(3): 829-837. (in Chinese)
- [24] 王长军, 王肇陟, 王世荣. 生物有机肥、腐殖酸对水稻产量和土壤化学性质的影响[J]. 江苏农业科学, 2016(1): 93-95.  
WANG C J, WANG Z Z, WANG S R. Effects of bio-organic fertilizers and humic acids on rice yield and soil chemical properties [J]. Jiangsu Agricultural Science, 2016(1): 93-95. (in Chinese)
- [25] 孔涛, 马瑜, 刘民, 等. 生物有机肥对土壤养分和土壤微生物的影响[J]. 干旱区研究, 2016(4): 884-891.  
KONG T, MA Y, LIU M, et al. Effect of applying biological organic fertilizer on soil nutrients and soil microbes[J]. Arid Zone Research, 2016(4): 884-891. (in Chinese)
- [26] 蒋岁寒, 刘艳霞, 孟琳, 等. 生物有机肥对烟草青枯病的田间防效及根际土壤微生物的影响[J]. 南京农业大学学报, 2016(5): 784-790.  
JIANG S H, LIU Y X, MENG L, et al. Effects of biological organic fertilizer on field control efficiency of tobacco *Ralstonia solanacearum* wilt and soil microbial in rhizosphere soil[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2016(5): 784-790. (in Chinese)
- [27] 李娟, 赵旭. 生物肥料对当归生长及土壤酶活性、微生物多样性的影响[J]. 广东农业科学, 2020, 47(6): 39-46.  
LI J, ZHAO X. Effects of biological fertilizers on angelica sinensis growth and soil enzyme activity and microbial diversity[J]. Guangdong Agricultural Science, 2020, 47(6): 39-46. (in Chinese)
- [28] 荆瑞勇, 王丽艳, 郭永霞. 生物有机肥对盆栽小白菜土壤酶活性和微生物数量的影响[J]. 水土保持研究, 2015(2): 79-83.  
JING R Y, WANG L Y, GUO Y X. Effect of bio-organic fertilizer on soil enzyme activities and amount of microorganism in pakchoi pot experiment[J]. Research Soil and Water Conservation, 2015(2): 79-83. (in Chinese)
- [29] 胡可, 李华兴, 卢维盛, 等. 生物有机肥对土壤微生物活性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010(2): 303-306.  
HU K, LI H X, LU W S, et al. Effect of microbial organic fertilizer application on soil microbial activity[J]. Chinese Journal of Ecological Agriculture, 2010(2): 303-306. (in Chinese)

(责任编辑:王 昱)