

引用格式:

李理想, 江厚龙, 张艳, 李慧, 王茹, 赵鹏宇, 张均, 宋鹏, 秦平伟, 任江波, 陈庆明. 施用侧孢短芽孢杆菌对烟草根际微生态及产量和品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2023, 49(2): 159–164.

LI L X, JIANG H L, ZHANG Y, LI H, WANG R, ZHAO P Y, ZHANG J, SONG P, QIN P W, REN J B, CHEN Q M. Effects of application of *Brevibacillus laterosporus* on rhizosphere microecology, yield and quality of tobacco[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2023, 49(2): 159–164.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



## 施用侧孢短芽孢杆菌对烟草根际微生态 及产量和品质的影响

李理想<sup>1</sup>, 江厚龙<sup>2</sup>, 张艳<sup>2</sup>, 李慧<sup>1</sup>, 王茹<sup>1</sup>, 赵鹏宇<sup>1</sup>,

张均<sup>1</sup>, 宋鹏<sup>1\*</sup>, 秦平伟<sup>3</sup>, 任江波<sup>3</sup>, 陈庆明<sup>3</sup>

(1.河南科技大学农学院, 河南 洛阳 471000; 2.重庆烟草科学研究所, 重庆 400715; 3.重庆市烟草公司彭水县分公司, 重庆 409600)

**摘要:** 在烟苗大十字期对烟苗根部采取浸根(T1)、灌根(T2)及浸根+灌根(T3)3种方式施用侧孢短芽孢杆菌, 分别于移栽后30、60、90 d测定烟草根际活力、土壤微生物种类及其数量、土壤酶活性、烟叶化学品质以及经济性状。结果表明: 烟苗移栽后30~60 d, T1、T2、T3的烟草根际活力、土壤酶活性较不施用侧孢短芽孢杆菌均显著提升, T3的烟草根际活力显著提高39.49%, 烟草根际土壤细菌和放线菌的数量分别显著增加40.51%、41.64%, 真菌数量显著减少28.39%; T1、T2、T3的烟草中部叶常规化学成分均达优质烟叶标准, 中上等烟比例及产值较不施用侧孢短芽孢杆菌分别增加19.51%、72.57%, 中部叶化学成分较其他处理更趋协调。

**关键词:** 烟草; 侧孢短芽孢杆菌; 土壤酶活性; 根系活力; 土壤微生物; 产量; 品质

中图分类号: S572.06

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2023)02-0159-06

## Effects of application of *Brevibacillus laterosporus* on rhizosphere microecology, yield and quality of tobacco

LI Lixiang<sup>1</sup>, JIANG Houlong<sup>2</sup>, ZHANG Yan<sup>2</sup>, LI Hui<sup>1</sup>, WANG Ru<sup>1</sup>, ZHAO Pengyu<sup>1</sup>,

ZHANG Jun<sup>1</sup>, SONG Peng<sup>1\*</sup>, QIN Pingwei<sup>3</sup>, REN Jiangbo<sup>3</sup>, CHEN Qingming<sup>3</sup>

(1.College of Agriculture, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471000, China; 2.Chongqing Tobacco Science Institute, Chongqing 400715, China; 3.Chongqing Tobacco Company Pengshui County Branch, Chongqing 409600, China)

**Abstract:** In the large cross stage of tobacco seedlings, the roots of tobacco seedlings were treated with *Brevibacillus laterosporus* by dipping root(T1), irrigation root(T2) and immersion root + irrigation root(T3), and the root viability, soil microbial species and quantities, soil enzyme activity, tobacco leaf chemical quality and economic traits were determined 30, 60 and 90 days after transplanting, and the results showed that 30 and 60 days after transplanting, the root activity and soil enzyme activity of tobacco treated with T1, T2 and T3 were significantly increased compared with CK(without *B. laterosporus*). Compared with CK, the root viability of tobacco in T3 was significantly increased by 39.49%, the number of bacteria and actinomycetes in the soil of tobacco rhizosphere increased by 40.51% and 41.64%, respectively, and the number of fungi decreased by 28.39%. The conventional chemical composition of the middle leaves of tobacco with T1, T2 and T3 all reached the standard of high-quality tobacco leaves, and the proportion and output value of middle and upper tobacco increased by 19.51% and 72.57% respectively compared with CK, and the chemical composition of the

收稿日期: 2022-07-16

修回日期: 2022-12-24

基金项目: 中国烟草总公司重庆公司科技项目(A20201NY01-1301、A20201NY01-1306); 河南省高等学校重点科研项目(22A210003); 河南省大学生创新创业训练计划项目(S202210464086)

作者简介: 李理想(1996—), 男, 河南禹州人, 硕士研究生, 主要从事烟草栽培研究, 577585461@qq.com; \*通信作者, 宋鹏, 博士, 副教授, 主要从事应用微生物学研究, songpeng0826@126.com

middle leaves was more coordinated than that of other treatments.

**Keywords:** flue-cured tobacco; *Brevibacillus laterosporus*; soil enzyme activities; root viability; soil microorganisms; yield; quality

烟草生产过程中长期施用化肥及连作,易造成根系活力降低、土壤板结、土传病害加重、烟叶产量和品质下降、生态环境遭到破坏等问题<sup>[1-3]</sup>,严重制约烟叶产量和品质的提高和烟草行业可持续健康发展。究其原因,可能与烟草根系发育<sup>[4]</sup>、土壤酶活性、土壤微生物活性及区系的变化有关<sup>[5]</sup>。土壤酶活性作为衡量土壤肥力水平的重要指标之一,与土壤细菌群落存在一定的相关性<sup>[6]</sup>,可作为生物地球化学循环、有机质降解和土壤修复过程的指标<sup>[7]</sup>。

大量研究表明,在烟苗移栽期施用微生物及其制剂有利于改善根际土壤的微生态<sup>[8]</sup>、提高土壤酶活性<sup>[9]</sup>、抗病性<sup>[10]</sup>和抗氧化酶活性<sup>[11]</sup>等。侧孢短芽孢杆菌(*Brevibacillus laterosporus*)具有预防线虫、解磷、解钾、固氮、降解有机污染物等功能<sup>[12]</sup>。厉彦芳等<sup>[13]</sup>研究发现,对烟草及番茄幼苗采用喷施、浸种、灌种 3 种方式施用侧孢短芽孢杆菌,可显著降低烟草花叶病和番茄黄叶曲叶病发病率,促进番茄种子萌发及幼苗生长;赵秀香等<sup>[14]</sup>研究发现,侧孢短芽孢杆菌在 40~100 °C、pH 为 3~12 时具有一定稳定性,可在大田条件下生存繁殖。笔者以烟草品种‘云烟 116’为材料,研究移栽期采用侧孢短芽孢杆菌浸根 4 h、灌根 100 mL 稀释液及两者混合的方式对烟草根系活力、土壤酶活性及烟叶产量和品质的影响,寻求侧孢短芽孢杆菌最佳施用方式,旨在为烟草种植过程中施用微生物制剂提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

烟草品种为‘云烟 116’,由重庆市烟草公司彭水县分公司提供。

侧孢短芽孢杆菌 HA-2(CGMCC No.24130),由河南科技大学农学院特色生物资源开发与利用实验室提供,经发酵、离心浓缩、喷雾干燥,制备成菌粉,有效活菌数约为  $8 \times 10^{10}$  cfu/g。

### 1.2 试验设计

试验于 2021 年 4 月在重庆市彭水苗族土家族自治县龙塘乡双星村(29°08'73"N、108°00'65"E)烟

田进行。试验地肥力中等,土壤 pH 值为 5.58,有机质、全氮含量分别为 21.0、0.97 g/kg、碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为 85.7、8.39、145.7 mg/kg。设置 4 个处理:T1,将烟苗根部用侧孢短芽孢杆菌稀释液(1 g/L)浸根 4 h 后移栽覆土;T2,烟苗移栽后,在烟苗根部周围半径 5 cm 范围内均匀灌入 100 mL(1 g/L)侧孢短芽孢杆菌稀释液;T3,移栽前,将烟苗根部用侧孢短芽孢杆菌稀释液浸根 4 h,烟苗移栽后,在烟苗根部周围半径 5 cm 范围内均匀灌入 100 mL(1 g/L)侧孢短芽孢杆菌稀释液;CK(对照),常规施肥(农家肥 2250 kg/hm<sup>2</sup>+烟草复合肥 750 kg/hm<sup>2</sup>),不施用侧孢短芽孢杆菌。3 次重复,共 12 个小区。每个小区 4 行,共计 1100 株烟。株距 50 cm,行距 1.2 m,四周设置保护行。在烟苗大十字期进行移栽。田间栽培管理均按当地优质烟叶生产标准执行。常规烟草复合肥(750 kg/hm<sup>2</sup>)中氮、磷、钾的质量比为 6 : 12 : 25;追肥采用硝酸钾(150 kg/hm<sup>2</sup>),氮、钾质量比为 13.5 : 44.5。7 月 5 日至 8 月 26 日,烟叶成熟,至采收、烘烤完成共采收 5 次。

分别在烟草移栽后 30 d(团棵期)、60 d(旺长期)、90 d(成熟期)每小区取 5 株代表性植株,挖出根系后收集根际土壤,过筛后测定土壤酶活性及土壤微生物群落数量;同时用清水冲洗根部,剪取新鲜根系,测定根系活力。

### 1.3 测定项目

烟草成熟期,采用稀释涂布平板计数法测定根际土壤中细菌、放线菌和真菌的数量。参照文献[15],根系活力采用氯化三苯基四氮唑染色法测定;土壤脲酶活性采用次氯酸钠比色法测定;土壤蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定;土壤酸性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠法测定。

各处理选取具有代表性的中桔三(C3F)等级烟叶,采用 AAIII型连续流动化学分析仪测定烟叶的总糖、还原糖、烟碱、总氮、氯含量;钾含量测定采用火焰光度计法。

各处理烟叶挂牌烘烤,按 GB 2635—1992 的分级

标准进行测产，分级。取中桔三烟叶 2.50 kg，低温烘干至恒重，测定常规化学指标。统计上等烟、中上等烟的比例以及各处理的产量，计算均价和产值。

1.4 数据处理

采用 Excel 2019 和 SPSS 22.0 进行数据整理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 施用侧孢短芽孢杆菌对烟草农艺性状的影响

由表 1 可以看出，移栽后 30 d，施用侧孢短芽

孢杆菌的烟草株高、叶片数、茎围、腰叶叶长和腰叶叶宽与常规施肥的差异显著；T1、T2 和 T3 的叶长、叶宽和茎围均显著优于 CK 的。移栽后 60 d，T1、T2 和 T3 的叶长、最大叶面积与 CK 的差异显著；CK 与 T1 和 T1 与 T2 之间叶片数差异较小；T3 的叶宽与 T1 的有显著差异。移栽后 90 d，施用侧孢短芽孢杆菌对烟草生长的影响作用逐渐明显，处理间株高差异显著，T1、T2 和 T3 的叶宽与 CK 的有显著差异。

表 1 施用侧孢短芽孢杆菌的烟草的农艺性状

Table 1 Agronomic traits of tobacco after administration of <i>Brevibacillus laterosporus</i>							
移栽后时间/d	处理	株高/cm	叶片数	茎围/cm	腰叶叶宽/cm	腰叶叶长/cm	最大叶面积/cm <sup>2</sup>
30	T1	(43.07±2.72)a	(14.60±1.22)a	(7.83±0.12)b	(21.33±0.90)c	(53.77±0.42)b	(727.75±29.90)c
	T2	(42.53±0.76)a	(14.33±0.58)a	(8.27±0.12)a	(25.03±1.16)a	(53.33±0.76)b	(847.41±48.61)b
	T3	(42.40±0.60)a	(14.94±1.03)a	(7.93±0.15)ab	(26.37±1.02)a	(56.03±2.33)a	(937.91±64.53)a
	CK	(31.63±1.92)b	(12.47±0.70)b	(7.33±0.23)c	(23.07±0.76)b	(50.67±0.35)c	(741.64±28.70)c
60	T1	(81.27±0.46)b	(21.33±0.12)bc	(8.10±0.46)b	(24.43±0.35)bc	(63.97±0.40)b	(991.62±8.98)b
	T2	(82.47±1.33)b	(22.53±1.03)b	(8.23±0.25)b	(25.60±0.72)ab	(63.77±0.93)b	(1035.77±32.37)b
	T3	(105.93±3.70)a	(25.47±1.29)a	(8.90±0.30)a	(26.67±1.50)a	(68.17±2.30)a	(1153.36±74.86)a
	CK	(77.03±4.66)b	(19.67±0.81)c	(7.50±0.26)c	(23.80±1.15)c	(56.79±1.54)c	(857.18±32.67)c
90	T1	(106.07±2.39)c	(22.73±0.58)bc	(9.57±0.06)b	(24.97±0.15)a	(68.80±1.31)b	(1089.82±16.34)b
	T2	(110.00±0.40)b	(23.67±1.33)b	(9.73±0.12)b	(24.80±0.10)a	(68.67±0.78)b	(1080.48±8.11)b
	T3	(115.40±0.53)a	(25.10±0.98)a	(10.50±0.20)a	(25.23±0.57)a	(72.43±0.15)a	(1159.67±24.20)a
	CK	(92.47±3.01)d	(22.27±0.76)c	(9.10±0.10)c	(23.97±0.25)b	(63.57±0.90)c	(966.56±6.36)c

同列不同字母表示同一移栽后时间处理间的差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

2.2 施用侧孢短芽孢杆菌对烟草根系活力的影响

从表 2 可以看出，烟草根系活力在移栽后 30~60 d 逐渐升高，移栽 60 d 后，根系活力又开始下降。移栽后 30 d，T1、T2、T3 的烟草根系活力较 CK 显著提升，T3 较 CK 显著提高 16.31%。移栽后 60 d，各处理根系活力均达最大值，其中 T3 的根系活力

最大，较 CK 显著提高 39.49%。移栽后 90 d，各处理根系活力均大幅下降。在整个测定期内，T3 的根系活力最高，T1 和 T2 的根系活力稍低，说明采用 T3 能提高烟草根系活力，促进烟草根系生长。

2.3 施用侧孢短芽孢杆菌对烟草根际土壤微生物群落数量的影响

侧孢短芽孢杆菌不同施用方式的烟草土壤微生物数量如表 3 所示。结果表明，施用侧孢短芽孢杆菌后，T1、T2、T3 较 CK 的土壤细菌和放线菌的数量显著增多，T3 较 CK 的细菌和放线菌数量分别显著增加 40.51%、41.64%，真菌数量显著减少 28.39%。表明施用侧孢短芽孢杆菌可显著增加烟草根际土壤的细菌和放线菌数量，单独浸根或灌根的区别较小，浸根+灌根则显著增加根际土壤的细菌和放线菌数量，减少真菌数量。

表 2 施用侧孢短芽孢杆菌的烟草的根系活力

Table 2 Tobacco root viability after administration of *Brevibacillus laterosporus*

处理	根系活力/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )		
	移栽后 30 d	移栽后 60 d	移栽后 90 d
T1	(90.94±2.96)a	(237.27±4.35)b	(70.23±2.33)ab
T2	(90.13±2.57)a	(246.60±4.28)b	(72.95±2.86)ab
T3	(94.44±3.32)a	(288.70±5.87)a	(74.22±2.24)a
CK	(81.20±3.59)b	(206.97±6.02)c	(67.99±1.17)b

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

表 3 施用侧孢短芽孢杆菌的烟草根际土壤的微生物数量

Table 3 Number of soil microorganisms in the rhizosphere of tobacco after administration of *Brevibacillus laterosporus*

处理	细菌/( $\times 10^6$ cfu g <sup>-1</sup> )	放线菌/( $\times 10^4$ cfu g <sup>-1</sup> )	真菌/( $\times 10^3$ cfu g <sup>-1</sup> )
T1	(2.73 $\pm$ 0.06)c	(4.03 $\pm$ 0.06)c	(2.63 $\pm$ 0.15)b
T2	(2.97 $\pm$ 0.06)b	(4.30 $\pm$ 0.10)b	(2.71 $\pm$ 0.06)b
T3	(3.33 $\pm$ 0.12)a	(5.00 $\pm$ 0.20)a	(2.27 $\pm$ 0.06)c
CK	(2.37 $\pm$ 0.12)d	(3.53 $\pm$ 0.15)d	(3.17 $\pm$ 0.06)a

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

2.4 施用侧孢短芽孢杆菌对植烟土壤主要酶活性的影响

由表 4 可以看出,施用侧孢短芽孢杆菌土壤的脲酶活性较对照均有显著提升。烟苗移栽后 30 d, T1、T2、T3 较 CK 分别显著提高 21.85%、23.84%、29.36%。移栽后 60 d, T3 的土壤脲酶活性达到顶峰,较 CK 显著增加 56.51%。移栽后 90 d,各处理后土壤脲酶活性均呈下降趋势。施用侧孢短芽孢杆菌处理后土壤的脲酶活性均在移栽后 60 d 时出现最大值,表明施用侧孢短芽孢杆菌可以提高烟草土壤的脲酶活性,T3 对土壤脲酶活性

的提升效果最佳。

移栽后 30 d, T1、T2、T3 的土壤蔗糖酶活性较 CK 均有显著提高。移栽后 60 d, T1、T2 和 T3 土壤蔗糖酶活性分别较 CK 显著增加 37.89%、40.38%和 49.62%。移栽后 90 d, T3 活性最高,CK 最低。除 T1 外,各处理的土壤蔗糖酶活性随时间延长逐渐升高。移栽后 60~90 d, T1 的土壤蔗糖酶活性在移栽 60 d 后出现下降,可能由于浸根时间短,导致肥效或者定殖状况较差。T1、T2 和 T3 的土壤蔗糖酶活性较 CK 均有显著提高,表明施用侧孢短芽孢杆菌可以提高烟草土壤蔗糖酶活性,尤以 T3 处理方式最佳。

烟苗移栽后 30 d, T1、T2 和 T3 的土壤酸性磷酸酶活性较 CK 分别显著增加 36.44%、33.82%和 36.03%。移栽后 60 d, T3 的土壤酸性磷酸酶活性较 CK 处理显著增加 57.41%。移栽后 90 d,各处理间土壤酸性磷酸酶活性显著性差异与土壤脲酶活性相同,均在移栽后 60 d 出现峰值,T3 土壤酸性磷酸酶活性最高。

表 4 施用侧孢短芽孢杆菌的植烟土壤的酶活性

Table 4 Activity of soil enzyme in tobacco growing area applied with *Brevibacillus laterosporus*

处理	脲酶活性			蔗糖酶活性			酸性磷酸酶活性		
	30 d	60 d	90 d	30 d	60 d	90 d	30 d	60 d	90 d
T1	(0.552 $\pm$ 0.036)a	(0.859 $\pm$ 0.041)b	(0.765 $\pm$ 0.061)b	(7.122 $\pm$ 0.882)a	(7.609 $\pm$ 0.302)b	(6.328 $\pm$ 0.090)c	(1.299 $\pm$ 0.023)a	(1.596 $\pm$ 0.054)c	(1.476 $\pm$ 0.029)b
T2	(0.561 $\pm$ 0.039)a	(0.863 $\pm$ 0.041)b	(0.785 $\pm$ 0.064)b	(6.176 $\pm$ 0.410)b	(7.746 $\pm$ 0.228)b	(8.186 $\pm$ 0.188)b	(1.274 $\pm$ 0.015)a	(1.785 $\pm$ 0.071)b	(1.490 $\pm$ 0.027)b
T3	(0.586 $\pm$ 0.038)a	(1.130 $\pm$ 0.050)a	(0.836 $\pm$ 0.072)a	(7.249 $\pm$ 0.207)a	(8.256 $\pm$ 0.121)a	(8.551 $\pm$ 0.073)a	(1.295 $\pm$ 0.025)a	(2.018 $\pm$ 0.062)a	(1.725 $\pm$ 0.045)a
CK	(0.453 $\pm$ 0.044)b	(0.722 $\pm$ 0.051)c	(0.529 $\pm$ 0.053)c	(5.144 $\pm$ 0.541)c	(5.518 $\pm$ 0.391)c	(6.021 $\pm$ 0.109)d	(0.952 $\pm$ 0.035)b	(1.282 $\pm$ 0.029)d	(1.031 $\pm$ 0.049)c

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

2.5 施用侧孢短芽孢杆菌对烟草化学品质的影响

由表 5 可知,各处理的烟叶常规化学成分均达到优质烟叶标准,T3 的总糖、还原糖、烟碱、钾、钾氯比均显著高于 CK 的;总氮、氯含量分别显著

减少 19.74%、15.16%。T3 的烟碱含量为 2.57%,趋近于最佳烟碱含量(2.5%)。综上,浸根+灌根施用侧孢短芽孢杆菌的处理方式,烟草中部叶的化学成分最优。

表 5 施用侧孢短芽孢杆菌的烟草中部叶的常规化学成分

Table 5 Conventional chemical composition of the middle leaves of tobacco after administration of *Brevibacillus laterosporus*

处理	总糖/%	还原糖/%	烟碱/%	总氮/%	钾/%	氯/%	糖碱比	钾氯比	氮碱比
T1	(19.97 $\pm$ 0.43)c	(18.79 $\pm$ 0.71)c	(2.24 $\pm$ 0.14)b	(2.21 $\pm$ 0.10)a	(1.66 $\pm$ 0.04)c	(0.33 $\pm$ 0.02)a	(8.39 $\pm$ 0.30)c	(5.08 $\pm$ 0.21)c	(0.99 $\pm$ 0.09)b
T2	(21.13 $\pm$ 0.51)b	(20.36 $\pm$ 0.66)b	(2.26 $\pm$ 0.08)b	(2.05 $\pm$ 0.04)b	(1.83 $\pm$ 0.09)b	(0.33 $\pm$ 0.02)a	(9.01 $\pm$ 0.31)b	(5.66 $\pm$ 0.32)b	(0.91 $\pm$ 0.09)b
T3	(23.36 $\pm$ 0.85)a	(22.30 $\pm$ 0.87)a	(2.57 $\pm$ 0.20)a	(1.83 $\pm$ 0.14)c	(2.57 $\pm$ 0.29)a	(0.29 $\pm$ 0.01)b	(8.68 $\pm$ 0.28)bc	(7.45 $\pm$ 0.64)a	(0.71 $\pm$ 0.08)c
CK	(18.59 $\pm$ 0.68)d	(17.55 $\pm$ 0.48)d	(1.77 $\pm$ 0.17)c	(2.28 $\pm$ 0.16)a	(1.53 $\pm$ 0.05)d	(0.34 $\pm$ 0.02)a	(9.92 $\pm$ 0.44)a	(5.30 $\pm$ 0.27)bc	(1.29 $\pm$ 0.14)a

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

2.6 施用侧孢短芽孢杆菌对烟草经济性状的影响

由表 6 可以看出, T1、T2 和 T3 的烟叶经济性状均优于 CK 的, T3 的烟叶经济性状最佳, T2 和 T1 次之, CK 最低。其中, T1、T2 和 T3 较 CK 的产值分别提高 42.15%、51.66% 和 72.57%; T1、T2

和 T3 的烟叶均价和产量均高于 CK 的; T3 的上等烟比例较 CK 增加 30.94%, 中上等烟比例较 CK 增加 19.53%。说明在烟草移栽期浸根+灌根方式施用侧孢短芽孢杆菌可显著提升上等烟和中上等烟比例, 提高烟叶的产量和产值。

表 6 施用侧孢短芽孢杆菌的烟草中部叶的产量和产值

Table 6 Yield value and yield of the middle leaves of tobacco after administration of <i>Brevibacillus laterosporus</i>						
处理	密度/(株 hm <sup>-2</sup> )	产量/(kg hm <sup>-2</sup> )	均价/(元 kg <sup>-1</sup> )	产值/(元 hm <sup>-2</sup> )	上等烟比例/%	中上等烟比例/%
T1	16 500	2199.20ab	20.43a	44 929.66b	44.50	81.3
T2	16 500	2241.00ab	21.39a	47 934.99b	46.15	83.2
T3	16 500	2482.70a	21.97a	54 544.92a	52.65	87.7
CK	16 500	1924.90b	16.42b	31 606.86c	40.21	73.2

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

3 结论与讨论

本研究结果表明, 施用侧孢短芽孢杆菌可显著提高烟草根系活力、土壤微生物群落数量及土壤酶活性, 改善烟草根际微生态, 提高烟叶产量和品质, 其中以浸根+灌根方式处理的效果最佳。ULBRICH 等<sup>[16]</sup>研究发现, 植物根系分泌物和根际细菌群落随邻近环境的变化而变化, 根际土壤微生物参与土壤养分转化循环。烟草根系活力与土壤环境密切相关, 芽孢杆菌菌肥具有改良土壤的潜力<sup>[17]</sup>, 可改善根际土壤微生物及根系生长的环境, 进而提高其根系活力<sup>[18]</sup>。胡瑞文等<sup>[19]</sup>研究发现, 烟草根际土壤微生物中细菌数量与根系活力呈极显著正相关。本研究中, 在移栽后 90 d, 各处理间烟草根系活力大小与细菌数量表现相同的变化趋势, 可能是由侧孢短芽孢杆菌的作用时效及其在根部定殖状况的差异引起的。

土壤酶活性是评价土壤肥力的重要指标之一<sup>[20-21]</sup>。施加微生物菌剂可以改良土壤, 增大土壤优势群落丰度, 减少土壤有害微生物的数量<sup>[22]</sup>, 改善土壤健康状况, 提高土壤肥力<sup>[23-25]</sup>。微生物菌剂的不同浸根时间及灌液量对烟草根际病原菌及各部位的微生物数量的影响存在一定的差异性<sup>[26-28]</sup>。有研究表明, 根际土壤微生物活性与土壤脱氢酶、蛋白酶、纤维素酶、磷酸酶和脲酶密切相关, 特别是土壤脲酶<sup>[29-30]</sup>。范燕敏等<sup>[31]</sup>研究发现, 荒漠退化草地中的土壤细菌数量与脲酶活性呈显著正相关, 真菌数量则反之。本研究中, 施用侧孢短芽孢杆菌后烟草根际土壤中的细菌数量与土壤脲酶活性的

变化趋势相同, 与真菌数量的变化趋势相反, 这与范燕敏的试验结论相似。这可能是因为施用侧孢短芽孢杆菌后根际土壤中的细菌数量增多, 与真菌竞争营养和生存空间, 或因有益微生物产生抗菌物质, 抑制了有害真菌的生存<sup>[32]</sup>。

烤后烟叶的化学成分是衡量烟叶内在质量、评价烟叶品质的重要指标<sup>[33-34]</sup>。良好的根系状况及土壤环境是保障烟草生长及烟叶产量和品质的基本条件。孔一凡等<sup>[35]</sup>研究结果表明, 施用芽孢杆菌可改善作物根区微生物群落结构; 烟草根际微生物活性变化对土壤养分中氮素供应有直接影响, 进而影响烟叶产量及品质<sup>[36]</sup>。本研究发现, 施用侧孢短芽孢杆菌可协调烟草中部叶化学品质, 这是由于施用侧孢短芽孢杆菌改善了烟草根际微生态环境, 进一步增强了土壤氮素供应能力, 其中以浸根+灌根处理的效果最佳。

参考文献:

[1] 叶协锋, 李志鹏, 于晓娜, 等. 生物炭用量对植烟土壤碳库及烤后烟叶质量的影响[J]. 中国烟草学报, 2015, 21(5): 33-41.

[2] 祁娟, 姚拓, 白小明, 等. 复合菌肥替代部分磷肥对苜蓿草地生产力及土壤肥力的影响[J]. 草业学报, 2017, 26(10): 118-128.

[3] 陈丹梅, 陈晓明, 梁永江, 等. 种植模式对土壤酶活性和真菌群落的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(2): 77-84.

[4] 侯加民, 张忠锋, 任明波. 烤烟根系发育与烟叶产量质量关系的研究[J]. 中国烟草科学, 2003, 24(2): 16-18.

[5] 杨宇虹, 陈冬梅, 晋艳, 等. 连作烟草对土壤微生物区系影响的 T-RFLP 分析[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(1): 40-45.

- [6] ZHANG Z F, FU Q, XIAO C, et al. Impact of *Paenarthrobacter ureafaciens* ZF<sub>1</sub> on the soil enzyme activity and microbial community during the bioremediation of atrazine-contaminated soils[J]. BMC Microbiology, 2022, 22(1): 146.
- [7] LEE S H, KIM M S, KIM J G, et al. Use of soil enzymes as indicators for contaminated soil monitoring and sustainable management[J]. Sustainability, 2020, 12(19): 8209.
- [8] QI X, XIAO S Q, CHEN X M, et al. Biochar-based microbial agent reduces U and Cd accumulation in vegetables and improves rhizosphere microecology[J]. Journal of Hazardous Materials, 2022, 436: 129147.
- [9] 刘红杰, 习向银, 刘朝科, 等. 微生物菌剂对植烟连作土壤酶活性的影响[J]. 烟草科技, 2011, 44(5): 66–70.
- [10] 彭奎, 周开雁, 汤术开, 等. 3 种微生物菌剂对烟草生长及抗病性的影响[J]. 植物医生, 2020, 33(4): 9–14.
- [11] 曾嵘, 李祖红, 赵银朵, 等. 黑胫病生防菌施用后对不同抗性烟草品种酶活性和 MDA 含量的影响[J]. 西部林业科学, 2014, 43(4): 44–48.
- [12] 陈潺, 陈升富, 王建宇, 等. 侧孢短芽孢杆菌的应用研究进展[J]. 山东农业科学, 2015, 47(2): 149–156.
- [13] 厉彦芳, 王春阳, 谢菁菁, 等. 侧孢短芽孢杆菌 B8 抑制植物病毒及促进番茄生长作用研究[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(7): 11–16.
- [14] 赵秀香, 张春波, 赵柏霞, 等. 侧孢短芽孢杆菌 B8 发酵液中抑菌物质理化性质研究[J]. 河南农业科学, 2011, 40(6): 90–93.
- [15] 张志良. 现代植物生理学试验指导[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [16] ULBRICH T C, RIVAS-UBACH A, TIEMANN L K, et al. Plant root exudates and rhizosphere bacterial communities shift with neighbor context[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2022, 172: 108753.
- [17] 邓琳, 王涛, 殷涂童, 等. 砒砂岩中植物促生芽孢杆菌的筛选及其对土壤的改良作用[J]. 水土保持通报, 2019, 39(5): 211–217.
- [18] 靳辉勇, 黎娟, 朱益, 等. 土壤调理剂对烤烟根系活力及根际土壤微生物碳代谢特征的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(1): 158–165.
- [19] 胡瑞文, 刘勇军, 荆永锋, 等. 深耕条件下生物炭对烤烟根系活力、叶片 SPAD 值及土壤微生物数量的动态影响[J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(6): 1223–1230.
- [20] YAO X H, MIN H, LÜ Z H, et al. Influence of acetamiprid on soil enzymatic activities and respiration[J]. European Journal of Soil Biology, 2006, 42(2): 120–126.
- [21] FEYISSA A, GURMESA G A, YANG F, et al. Soil enzyme activity and stoichiometry in secondary grasslands along a climatic gradient of subtropical China[J]. Science of The Total Environment, 2022, 825: 154019.
- [22] 赵惠, 范海燕, 赵丹, 等. 芽孢杆菌 Sneb709 控制番茄根结线虫病及其促生效果研究[J]. 中国植保导刊, 2018, 38(7): 13–19.
- [23] 刘华山, 张志勇, 韩锦峰, 等. 复合菌剂对二氯喹啉酸胁迫下烟草根际土壤微生物及酶活性的影响[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(2): 65–69.
- [24] 王涛, 杨怡钧, 邓琳, 等. 不同固体微生物菌剂对砒砂岩土壤性质和紫花苜蓿生长的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(8): 96–102.
- [25] 殷全玉, 刘健豪, 方明, 等. 高碳基肥配施菌剂对植烟土壤化学性质及微生物的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(5): 501–506.
- [26] 李艳林, 余夏薇, 周本国, 等. K3 抑菌剂不同浸根时间对烟草青枯病防效的影响[C]//中国环境科学学会 2013 年学术年会论文集. 昆明: 中国环境科学学会, 2013: 7038–7041.
- [27] 伍德洋, 张再刚, 彭文勇, 等. 促生菌对烟草生长及土壤微生物数量及养分的影响[J]. 四川农业科技, 2021(12): 76–80.
- [28] 袁孟娟, 陈芳. 生防芽孢杆菌根际定殖及其微生态效应研究进展[J]. 生物学教学, 2015, 40(2): 2–4.
- [29] 曹慧, 孙辉, 杨浩, 等. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(1): 105–109.
- [30] 肖育贵. 不同林型凋落物土壤微生物数量动态的研究[J]. 林业科技通讯, 1996(9): 28–29.
- [31] 范燕敏, 朱进忠, 武红旗, 等. 对伊犁绢蒿荒漠退化草地土壤微生物和酶活性的研究[J]. 新疆农业科学, 2009, 46(6): 1288–1293.
- [32] CHOWDHURY S P, HARTMANN A, GAO X W, et al. Biocontrol mechanism by root-associated *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42: a review[J]. Frontiers in Microbiology, 2015, 6: 780.
- [33] 李冬, 周俊学, 刘领, 等. 摘除不适用烟叶数量与方式对烤烟生理特性及产质量的影响[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(5): 19–24.
- [34] 陈思昂, 张环纬, 陈彪, 等. 不同部位烤烟挥发性有机酸含量与烟叶品质的关系分析[J]. 河南农业科学, 2019, 48(2): 54–62.
- [35] 孙一凡, 刘喆, 李海洋, 等. 侧孢芽孢杆菌 B113 对番茄早疫病防治效果及机制[J]. 应用生态学报, 2021, 32(1): 299–308.
- [36] 刘勇军, 周羽, 靳志丽, 等. 有机物料类型对烟草根际微生物及烟叶产质量的影响[J]. 土壤, 2018, 50(2): 312–318.

责任编辑: 罗慧敏  
英文编辑: 罗维