

doi:10.11937/bfyy.20225277

# 不同微生物菌肥对甘草光合生理、黄酮含量及土壤微生物的影响

王莹<sup>1</sup>, 杜鹏飞<sup>1</sup>, 李娟<sup>2</sup>

(1. 河南护理职业学院 药学检验系, 河南 安阳 455000; 2. 河南农业大学 农学院, 河南 郑州 450046)

**摘要:**以甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)为试材,采用大棚划区试验,设置施用淡紫紫孢菌(*Purpureocillium lilacinum*)菌肥(PL)、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)菌肥(BS)、哈茨木霉真菌(*Trichoderma harzianum*)菌肥(TH)及其三者复合菌肥处理(MX),以不施用菌肥为对照(CK),探索了不同微生物菌肥对甘草光合色素、叶绿素荧光、PSⅡ光化学特征、黄酮组分及土壤微生物数量的影响,以期为微生物菌肥应用于甘草生产提供参考依据。结果表明:与CK相比,微生物菌肥处理(PL、BS、TH、MX)均在一定程度上提高了光合色素(叶绿素a、叶绿素b、类胡萝卜素)含量,增强了叶绿素荧光( $F_v/F_m$ 、 $qP$ 、 $\Phi_{PSⅡ}$ ),降低了PSⅡ光化学损耗特征( $\varphi Do$ 、 $\varphi Po$ 、 $R_o$ 、 $\Psi_o$ );同时提高了黄酮组分(甘草素、异黄酮、二氢黄酮、查尔酮)含量,各处理整体表现为CK<PL、TH<MX、BS。此外,微生物菌肥亦提高了土壤细菌、氨氧化细菌、放线菌及固氮菌数量,而对真菌无明显影响,以MX、BS处理较优。综上,施用微生物菌肥可提高光合作效率率和土壤微生物数量,同时提高黄酮类物质含量,以施用枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)菌肥最佳。

**关键词:**微生物菌肥;甘草;叶绿素荧光特性;黄酮;土壤微生物

**中图分类号:**S 567. 71 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2023)18-0103-08

甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.)是世界范围内广泛种植的多年生豆科植物,也是临床最为常见的大宗药材<sup>[1]</sup>。黄酮类物质是甘草植株主要的次生代谢产物,其主要用于甘草根系和匍匐茎合成,是重要的活性三萜型化合物<sup>[2]</sup>。研究表明,甘草合成成分黄酮类物质对急性疾病、皮肤炎症、手足口病等均具有显著疗效,同时也是抗癌药物的必需成分之一,表现出较高的经济和药理价

值<sup>[3]</sup>。目前,由于环境恶化以及人为挖掘等因素使得野生甘草逐渐濒临灭绝,栽培甘草已成为甘草市场供应的主流商品<sup>[4]</sup>。然而,栽培甘草植物中低产量和低浓度的黄酮类物质含量在很大程度上限制着甘草种植的效益<sup>[5]</sup>。栽培甘草质量形成过程中会受栽培区域气候生态、地下土壤环境以及种植技术等的影响,其中以气候生态和土壤环境影响最大,是影响甘草质量形成的主要因素。此外,土壤微生物是土壤养分周转、活化的重要驱动力,同时也是反映土壤健康的重要表征<sup>[6]</sup>。

微生物菌肥是指一类含有活微生物的特定制品,在农林业生产中能够发挥特定的肥料效应,起到调节养分平衡、增强土肥效率、促生增产、提高果品、改善生态、抗虫抗病的效果<sup>[7]</sup>。近年来,施用微生物菌肥已成为促进植物生长和保障产收的重要措施。胡基华等<sup>[8]</sup>研究表明在寒冷区域施用

**第一作者简介:**王莹(1979-),女,硕士,讲师,现主要从事微生物检验与教学等研究工作。E-mail: 294464337@qq.com.

**责任作者:**杜鹏飞(1986-),男,硕士,讲师,现主要从事重要药药学与有机合成等研究工作。E-mail: Dupf86@126.com.

**基金项目:**国家自然科学基金面上资助项目(81373910)。

**收稿日期:**2022-12-30

解淀粉芽胞杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)、胶冻样类芽胞杆菌(*Paenibacillus mucilaginosus*)和巨大芽胞杆菌(*Bacillus megatherium*)微生物菌肥能有效改善大豆根围土壤微生物群落构成从而增加大豆产量。李茜等<sup>[9]</sup>研究表明常规施肥基础上配施微生物菌肥可改善烤烟植株农艺性状、烤后烟叶中性致香物质含量及降低烟草田间常见病害的发生率。苏彩霞等<sup>[10]</sup>研究表明,400℃条件下制备的生物炭与枯草芽胞杆菌(*Bacillus subtilis*)生物肥联合施用可增加土壤持水量、有机质及速效氮磷钾含量,提高辣椒植株生物量、株高、茎粗、叶面积,改善叶绿素荧光参数。上述研究为微生物菌肥应用于作物生长、品质及产量提供了参考依据,然而关于微生物菌肥对甘草植物光合生理、活性成分积累的影响知之甚少。基于此,该研究探索了不同微生物菌肥对甘草叶绿素荧光参数、PSⅡ光化学活性、黄酮类物质合成及土壤微生物的影响,以期微生物菌肥应用于甘草栽培提供参考依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

供试甘草种子来自安国麒麟中药材种植技术开发有限公司。将种子浸泡在75%乙醇中10 min,然后用2.5%次氯酸钠表面消毒5 min,流动的无菌水冲洗数次,将种子转移至无菌育苗盘中放置于培养箱(25℃)催芽2 d直至胚根发育至2 cm,期间培养箱设施光暗时间比16:8,湿度70%~100%。

供试芽胞杆菌菌剂分别为淡紫紫孢菌(*Purpureocillium lilacinum*)菌肥、枯草芽胞杆菌(*Bacillus subtilis*)菌肥、哈茨木霉真菌(*Trichoderma harzianum*)菌肥、复合菌肥(淡紫紫孢菌、哈茨木霉真菌和枯草芽胞杆菌,3种菌有效活菌数的比例为3:4:3),上述菌肥均购自山东绿陇生物科技有限公司,均采用固态发酵工艺生产,执行标准:GB20287-2006,所有菌肥有效活菌总数均大于 $2.0 \times 10^8$  cfu·g<sup>-1</sup>。甘草专用肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=11:7:7),购自阿克苏佳禾肥业。供试土壤为潮土,理化性质pH为6.85,有机质22.85 g·kg<sup>-1</sup>、全磷1.83 g·kg<sup>-1</sup>、全钾

17.99 g·kg<sup>-1</sup>、碱解氮68.25 g·kg<sup>-1</sup>,速效磷18.41 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾112.96 mg·kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 试验方法

试验于河南农业科学院中草药室内玻璃大棚中进行。采用完全随机设计,以不施微生物菌肥为对照(CK),设置施用4种不同微生物菌肥处理:淡紫紫孢菌 *Purpureocillium lilacinum* 菌肥处理(PL)、枯草芽胞杆菌 *Bacillus subtilis* 菌肥处理(BS)、哈茨木霉真菌 *Trichoderma harzianum* 菌肥处理(TH)、复合微生物菌肥处理(MX)。试验共5个处理方式,重复3次,共15个小区。小区为长方形(长6 m、宽4 m),小区间被40 cm宽过道阻隔,甘草种植密度 $7.5 \times 10^4$ 粒·hm<sup>-2</sup>,

甘草种植前整地翻耕,施入甘草专用肥总量675 kg·hm<sup>-2</sup>,基追比为6:4,追肥在种植后40 d内水溶性施入。菌肥总量为180 kg·hm<sup>-2</sup>,于种植前和种植后30 d按1:1分次施入。试验过程按照甘草常规灌溉方法进行,试验周期105 d。

### 1.3 项目测定

#### 1.3.1 叶绿素荧光、PSⅡ光化学特征测定

采用乙醇-丙酮混合浸提法测定光合色素(叶绿素a、叶绿素b、类胡萝卜素)含量。避开叶脉剪取200 mg叶片样品并碎化,将叶片样品倒入试管中,并加入20 mL 95%乙醇和5 mL无水丙酮,暗处理48 h,采用紫外分光光度计(UV-1800,上海美谱达仪器有限公司)在665、649、475 nm波长处测定样品的吸光度,具体步骤参照高俊凤<sup>[11]</sup>方法测定。

采用叶绿素荧光仪(Yaxin-1161G,北京雅欣理仪科技有限公司)测定叶片叶绿素荧光诱导特征参数。每小区选择5株甘草植株,取其倒4叶避开主叶脉约0.5 cm处进行测定,使用荧光仪配备的专用叶夹进行30 min充分暗适应,最大光强采用3000 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>红光诱导,测定时间为1 s。叶片的荧光参数、荧光动力学参数包括:暗适应的初始荧光(F<sub>0</sub>)、最大荧光(F<sub>m</sub>)及正常光照下的初始荧光(F<sub>0</sub>')、最大荧光产量(F<sub>m</sub>')及稳态荧光(F<sub>s</sub>)、照光2 ms时的荧光强度(F<sub>J</sub>)、照光30 ms时的荧光强度(F<sub>I</sub>)、照光500 ms时的荧光强度(F<sub>t</sub>),具体操作步骤如邢玉美等<sup>[12]</sup>所述;相关参数及其生物学意义见表1。

表 1 叶绿素荧光和光合性能参数公式及生物学意义

Table 1 Parameters for mulas and biological significances of chlorophyll fluorescence and photosynthetic characteristics

参数与公式 Parameters and formulas	参数意义 Explanation of the parameters
$V_t = (F_t - F_o) / (F_m - F_o)$	照光时间 $t$ 的可变荧光强度
$V_j = (F_j - F_o) / (F_m - F_o)$	J 相相对可变荧光
$F_v / F_m = (F_m - F_o) / F_m$	PS II 的最大光化学效率
$\Phi_{PSII} = (F_m' - F_s) / F_m'$	PS II 的实际光化学效率
$NPQ = (F_m - F_m') / (F_m - F_o)$	PS II 反应中心无法用于光合电子传递而损失掉的光能部分
$qP = (F_m' - F_s) / (F_m' - F_o')$	PS II 反应中心用于光合电子传递的光能部分
$\phi_{Do} = 1 - (F_m - F_o) / (F_t - F_j)$	PS II 中心由于热关闭的抵消的量子性能
$\phi_{Po} = (1 - V_j)$	捕获的激子将电子传递到电子传递链中超过 $Q_A^-$ 的其它电子受体的概率
$R_o = (1 - F_D) / (1 - F_J)$	类囊体内中间电子受体流动到 PS II 受体侧末端的性能
$\Psi_o = 1 - [(F_o / F_m) / (F_o' / F_m') - (F_o' / F_s) / (F_o' / F_m')]$	类囊体内光合电子链的量子损失总额

### 1.3.2 甘草根系黄酮类化合物含量、根际土壤微生物数量测定

将 2 株植物均匀混合后的根系样品用研钵快速研磨,并通过 0.25 mm 网筛,称取约 100.00 mg 样品于试管中,加入 10 mL 70%乙醇,在 50 °C 条件下的超声波浴中萃取 30 min。将萃取液冷却至室温并使用 0.45 μm 有机膜过滤。将 1 mL 滤液通过反相 C18 小柱(4.6 mm × 250 mm,孔径 5 μm; Waters Corp., Milford, MA, USA),采用高效液相色谱仪(HPLC, Agilent-1200, USA)分析。流动相包括去离子水:磷酸(100:5, v/v)和 30%乙腈设置流速为 1.0 mL · min<sup>-1</sup>进行洗脱。使用 2998 PDA 型紫外分光光度计(Milford1311, MA-G, USA)检测洗脱质量。甘草素、异黄酮、二氢黄酮和查尔酮标准瓶购自中国食品药品检定研究院,其标准储备溶液采用 70%甲醇稀释用于校准目的物质,具体操作步骤及方法参照张友波等<sup>[13]</sup>所述。

土壤微生物数量采用平板稀释法测定,其中细菌类型数量测定使用牛肉提取物蛋白胨培养基,真菌数量测定使用玫瑰红钠琼脂培养基<sup>[14]</sup>。

### 1.4 数据分析

采用 Excel 2016 软件进行数据整理,采用 SPSS 23.0 软件进行双因素方差分析( $\alpha=0.05$ ),采用 Origin 2018 软件进行图形绘制。

## 2 结果与分析

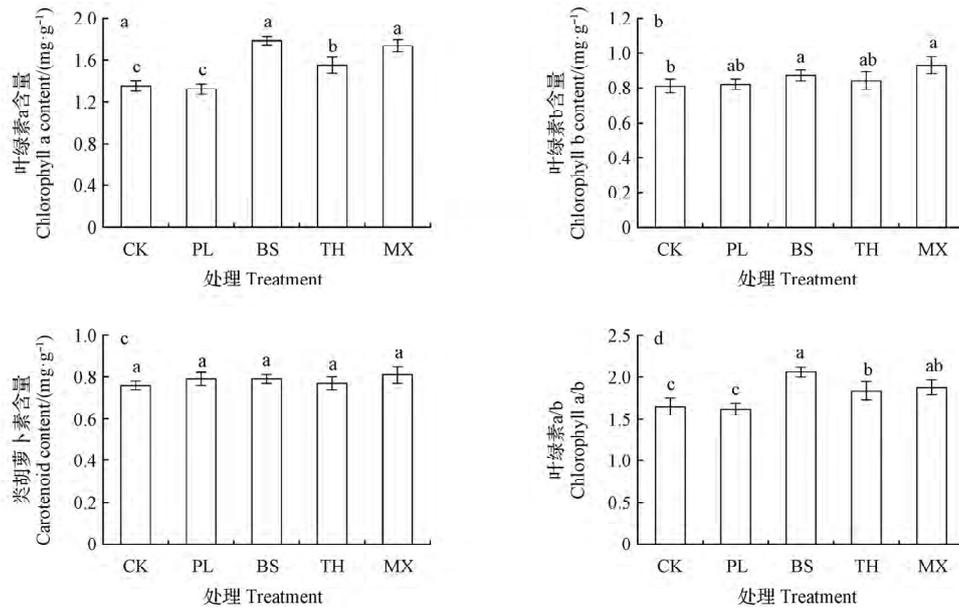
### 2.1 不同微生物菌肥对甘草叶绿素含量的影响

由图 1 可知,光合色素中,甘草叶片以叶绿素 a 含量大于叶绿素 b、类胡萝卜素含量,呈叶绿素 a >

叶绿素 b > 类胡萝卜素。由图 1a 可知,在叶绿素 a 中,各处理呈 PL < CK < TH < MX < BS,其中 CK、PL 处理间无显著差异且二者均显著小于 TH、MX、BS 3 个处理。叶绿素 b 含量中,各处理呈 CK < PL < TH < BS < MX,其中菌肥处理(PL、TH、MX、BS)间均无显著差异,而菌肥处理中的 MX、BS 处理显著( $P < 0.05$ )大于 CK(图 1b)。类胡萝卜素中,以 CK 含量最低,为 0.76 mg · g<sup>-1</sup>,PL、TH、MX、BS 处理较其分别提高 3.96%、3.95%、1.32%、6.58%,但两两处理间均无显著差异(图 1c)。在叶绿素 a 与叶绿素 b 比值中,与 CK 相比,菌肥处理变幅为 -1.82%~24.85%;菌肥处理中则以 BS 处理最高,PL、TH、MX 处理较其分别降低 21.36%、10.68%、8.74%,其中 MX 与 BS 无显著差异(图 1d)。

### 2.2 不同微生物菌肥对甘草叶绿素荧光特性的影响

由图 2a 可知,PS II 最大光化学效率( $F_v / F_m$ )中,以 CK 最低,TH 其次,二者间差异显著;其中 PL、BS、MX 较 CK 和 TH 处理分别显著提高 17.46%、19.05%、17.46%和 4.23%、5.63%、4.23%。由图 2b 可知,光化学淬灭系数(qP)中,各处理呈 CK < PL < TH < BS < MX,其中 PL 与 TH、BS 与 MX 均无显著差异,且该四者处理均显著大于 CK,其增幅为 6.06%~15.15%。由图 2c 可知,非光化学淬灭系数(NPQ)中,以 CK 最低,其它处理较其提高 1.11%~2.22%,但各处理间差距较小且两两处理间均无显著差异。由图 2d 可知,实际光化学效率( $\Phi_{PSII}$ )中,以 CK 最低,菌肥处理(PL、TH、MX、BS)较其提高 12.06%~38.31%;就菌肥处理而言,各处理呈 TH < PL <



注:不同小写字母表示处理间有显著性差异( $P < 0.05$ )。下同。

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

图1 不同微生物菌肥处理对甘草叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of different microbial fertilizer treatments on chlorophyll content of *Glycyrrhiza uralensis*

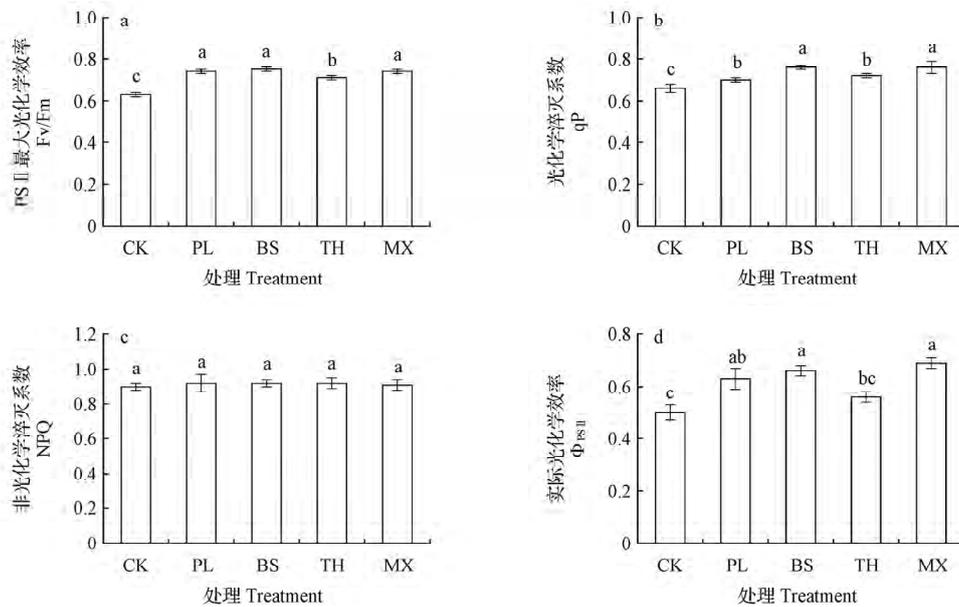


图2 不同微生物菌肥处理对甘草叶绿素荧光特性的影响

Fig. 2 Effects of different microbial fertilizer treatments on chlorophyll fluorescence parameters of *Glycyrrhiza uralensis*

BS < MX, 其中 TH 较 BS、MX 分别显著降低 10.76% 和 27.70%。

### 2.3 不同微生物菌肥对甘草叶片 PS II 光化学特征参数的影响

对各个时间点的叶绿素荧光强度进行定量监

测得到 PS II 光化学反应及电子传递特征。由图 3 可知,与 CK 相比,菌肥处理下的  $\varphi Do$ 、 $\varphi Po$ 、 $R_o$  和  $\Psi_o$  的值均整体呈下降趋势,但特征参数下降的幅度不同。与 BS 相比,在 PL、TH 和 MX 处理下, $\varphi Do$ 、 $\varphi Po$ 、 $R_o$  和  $\Psi_o$  的数值降幅较小,且任

一参数中 PL 与 CK 均无显著差异。而 BS 处理下,任一参数中 BS 均显著小于 CK,且与 CK 相比,BS 中  $\varphi Do$ 、 $\varphi Po$ 、 $R_o$  和  $\Psi_o$  的值分别显著降低 37.66%、9.64%、11.54%和 4.41%。

### 2.4 不同微生物菌肥对甘草黄酮类化合物含量的影响

由图 4a 可知,甘草素含量中,以 CK 含量最低,菌肥处理 (PL、TH、MX、BS) 较其提高

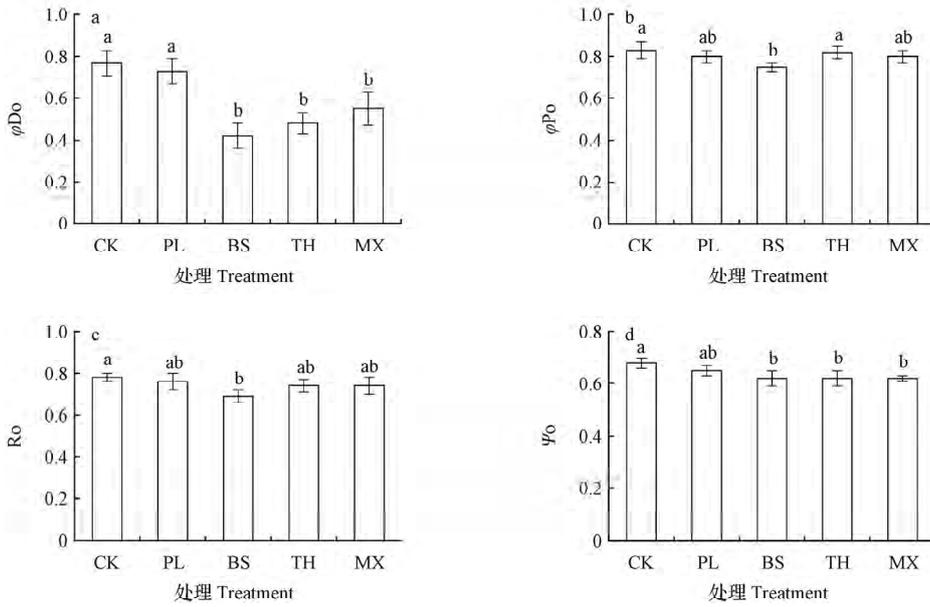


图 3 不同微生物菌肥处理对甘草叶片 PSII 光化学特征的影响

Fig 3 Effects of different microbial fertilizer treatments on photochemical characteristics of PSII of *Glycyrrhiza uralensis*

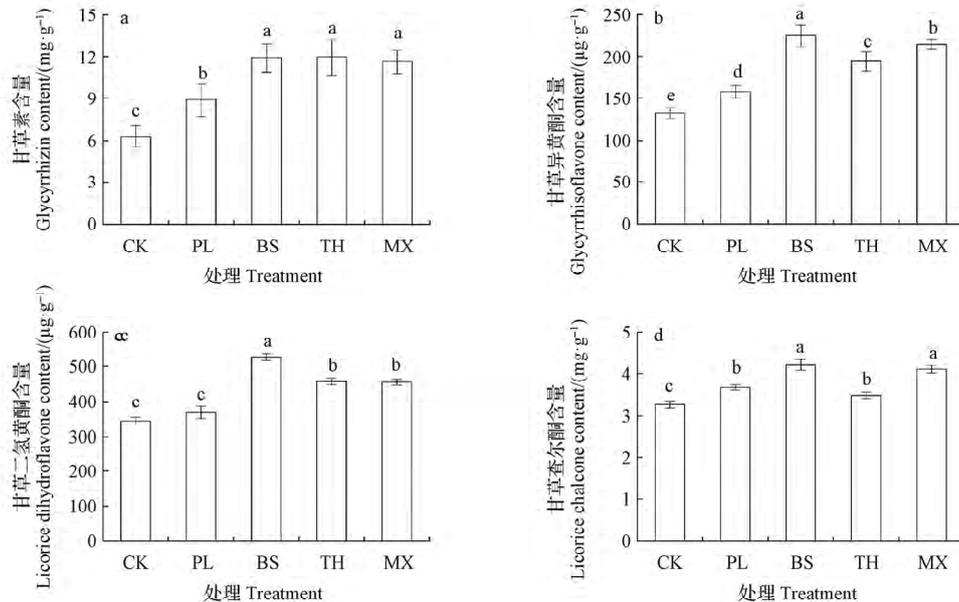


图 4 不同微生物菌肥处理对甘草黄酮类化合物含量的影响

Fig 4 Effects of different microbial fertilizer treatments on flavonoids component content of *Glycyrrhiza uralensis*

41.49%~89.67%;就菌肥处理而言,TH、MX、BS三者无显著差异且均显著大于PL处理。甘草异黄酮含量中,各处理呈CK<PL<TH<MX<BS,且两两处理间均差异显著;其中较CK相比,PL、TH、MX、BS分别显著提高19.17%、69.72%、47.03%、61.92%(图4b)。由图4c可知,甘草二氢黄酮含量中,以BS处理最高,CK、PL、TH、MX较其分别显著降低34.58%、29.94%、13.22%、13.62%;其中与CK相比,其它菌肥处理(PL、TH、MX)提高6.62%~32.65%,其中TH、MX均显著大于CK。甘草查尔酮含量中,各处理呈CK<TH<PL<MX<BS,菌肥处理较CK相比分别显著提高12.58%、28.83%、6.75%、25.77%;其中菌肥处理中TH与PL、MX与BS处理均无显著差异(图4d)。

## 2.5 不同微生物菌肥对甘草土壤微生物数量的影响

由表2可知,不同微生物菌肥处理下的甘草土壤微生物种类中,以细菌数量( $1\ 013.67 \sim 1\ 798.66 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ )占据绝对优势,其次为氨氧化细菌( $334.83 \sim 719.04 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ )和放线菌( $24.13 \sim 26.98 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ )。其中无论是细菌总数、固氮细菌还是氨氧化细菌中,整体呈CK<TH、PL<MX、BS,整体以MX处理的细菌数量最多,在细菌数量、氨氧化细菌中均显著大于CK,其中细菌总数增幅36.83%~77.44%,氨氧化细菌增幅57.08%~114.75%。在放线菌中,以CK最低,菌肥处理下其放线菌数量提高4.31%~11.81%,但仅MX处理与CK存在显著差异。真菌数量中,各处理差异较小,处理间均无显著差异。

表2 不同微生物菌肥处理对甘草土壤微生物数量的影响

Table 2 Effects of different microbial fertilizer treatments on the number of soil microorganisms in *Glycyrrhiza uralensis*

$\times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$

处理 Treatment	细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomycete	固氮菌 Azotobacter	氨氧化细菌 Ammonite-oxidizing bacteria
CK	1 013.67±19.45c	0.37±0.01a	24.13±0.78b	1.85±0.21b	334.83±21.36d
PL	1 387.02±51.34b	0.38±0.01a	25.38±0.51ab	2.21±0.17ab	525.95±15.07c
BS	1 532.24±20.50b	0.39±0.01a	25.60±0.73ab	2.56±0.18a	719.04±18.31a
TH	1 500.33±52.67b	0.37±0.00a	25.17±1.06ab	2.33±0.14a	496.98±20.84c
MX	1 798.66±47.33a	0.39±0.01a	26.98±2.03a	2.61±0.27a	662.95±22.96b

注:数据表示为平均值±标准差,不同字母表示显著性差异( $P<0.05$ )。

Note: The data are expressed as mean±standard deviation, different letters in the same group indicate significant differences ( $P<0.05$ ).

## 3 讨论与结论

光合作用是植物有机物质累积及发育代谢的基础,植物对光能的吸收利用主要分为4个过程:叶绿素吸收、荧光转换,光合电子传递以及光合热散失<sup>[15]</sup>。叶绿素参与光能的吸收、分配和转化过程,类胡萝卜素是重要的抗氧化剂,其可消散PS II天线中多余激发能量的重要物质<sup>[16]</sup>。该研究中,无论是在叶绿素a、叶绿素b还是类胡萝卜素中,菌肥处理均整体高于不施微生物菌肥处理(CK)。前人研究表明,木霉菌、芽孢杆菌可分泌磷酸酯、磷酸醛及羧等小分子有机化合物,也可诱导植物合成磷酸酯酶<sup>[17]</sup>;这可能是菌肥处理增加光合色素含量的结果。PS II最大光化学效率(Fv/Fm)和实际光化学效率( $\Phi_{PSII}$ )分别是反映

PS II反应中心光能的初级转化效率和关闭时实际捕光效率的重要表征<sup>[18]</sup>;光化学淬灭系数(qP)反映着光化学电子转移中光色素捕获的光能比例,非光化学淬灭系数(NPQ)是反映PS II反应中心吸收的光能无法用于光合电子传递,而以热能形式损失掉的光能部分<sup>[18-19]</sup>。该研究中,与CK相比,菌肥处理(PL、TH、MX、BS)下,Fv/Fm、qP、 $\Phi_{PSII}$ 升高,而NPQ波动较小;表明淡紫紫孢菌菌肥、枯草芽孢杆菌菌肥、哈茨木霉菌菌肥以及复合菌肥均可提高PS II的光能吸收和减少光合电子的损耗。

为进一步分析菌肥对甘草叶片光合作用装置的促进作用,分别对各处理的光化学特征参数进行了标准化处理。 $\varphi_{Do}$ 代表反应中心的关闭程度<sup>[12]</sup>, $\varphi_{Po}$ 是光合作用电子传递链上从半醌( $Q_A$ )

到还原型醌( $Q_B$ )的电子传递受阻的表征<sup>[20]</sup>。 $\varphi D_o$ 、 $\varphi P_o$ 特征值降低表明相关菌肥处理可有效促进半醌离子( $Q_A^-$ )由 $Q_A$ 传递到 $Q_B$ <sup>[21]</sup>,这同时反映了扩散性质体醌( $P_Q$ )库的异质性受土壤微生物所影响<sup>[20]</sup>。该研究结果表明,与CK相比,相关菌肥处理均降低了 $\varphi D_o$ 、 $\varphi P_o$ ,而枯草芽孢杆菌处理(BS)下 $\varphi D_o$ 、 $\varphi P_o$ 的降低幅度最大,且复合菌肥处理(MX)均大于TH、PL,这表明枯草芽孢杆菌是介导PS II受体侧的电子从 $Q_A$ 转移至 $Q_B$ 的功能菌。叶绿体中的类囊体膜的稳定性在维持植物的正常生理功能及光合反应方面起着重要作用<sup>[22]</sup>。 $R_o$ 、 $\Psi_o$ 被认为是类囊体膜流动性、电子损失的重要体现,二者越低表明膜功能越完善、结构越完整<sup>[23]</sup>。在该研究中,与CK相比,菌肥处理的 $R_o$ 、 $\Psi_o$ 值更低,尤其表现在BS处理中,说明枯草芽孢杆菌比其它功能菌更有利于保障光合进程。此外,不同处理下 $R_o$ 的变化与 $\varphi P_o$ 基本一致,说明甘草叶片类囊体膜活性提高的主要原因是电子受体从 $Q_A$ 到 $Q_B$ 的电子转移较为频繁的结果。

黄酮类化合物是甘草合成的重要生物活性成分之一,黄酮类化合物可占甘草总活性成分含量的80%。甘草黄酮类化合物已证实具有抗氧化和抑菌作用,已广泛应用于降血压、抗心律不齐、抗癌变、抗溃疡及忧郁症治疗等<sup>[24]</sup>。该研究中,黄酮类化合物组分(甘草素、异黄酮、二氢黄酮、查尔酮)含量中,菌肥处理均大于CK,即整体呈CK<PL<TH、MX<BS,表明枯草芽孢杆菌有益于增加甘草黄酮物质组分含量。土壤微生物数量可以反映土壤的营养状况、活力水平,其与土壤肥力、健康状况及生产力直接相关<sup>[25]</sup>。该研究中,施用不同菌肥及其复合菌肥处理后,土壤中细菌、真菌、放线菌、氨氧化细菌及固氮菌数量均发生一定变化,表现为细菌总数>氨氧化细菌>放线菌>固氮菌>真菌,细菌数量占据绝对优势且菌肥处理增幅最大;这与陈娟丽等<sup>[26]</sup>结论一致,这可能是因为细菌是土壤中最多样化的主要微生物种群,当菌肥施入后更能响应环境变化的缘故<sup>[27]</sup>。而在菌肥处理中,菌肥混合处理下整体而言具有最多的微生物数量,说明菌肥中的功能菌多样化最有利于土壤微生物的增殖。

综上所述,该研究结果表明施用微生物菌肥可提高光合色素含量,增强叶绿素荧光,提高PS II的

光化学效率;同时可通过调控相关合成基因的上调表达以增加黄酮类物质含量,以施用枯草芽孢杆菌菌肥最优。此外,微生物菌肥提高了土壤中细菌、放线菌、固氮菌及氨氧化细菌数量,亦以施用枯草芽孢杆菌菌肥处理较优。

## 参考文献

- [1] WANG C, CHEN L, CAI Z, et al. Metabolite profiling and transcriptome analysis explains difference in accumulation of bioactive constituents in licorice (*Glycyrrhiza uralensis*) under salt stress[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021(12): 727882.
- [2] ZHANG Y, LANG D, ZHANG W, et al. *Bacillus cereus* enhanced medicinal ingredient biosynthesis in *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. under different conditions based on the transcriptome and polymerase chain reaction analysis[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022(13): 858000.
- [3] 邓桃妹, 彭灿, 彭代银, 等. 甘草化学成分和药理作用研究进展及质量标志物的探讨[J]. *中国中药杂志*, 2021, 46(11): 2660-2676.
- [4] 郎多勇, 李小康, 杨丽, 等. 不同产地栽培甘草药材中黄酮类成分含量对比及其与土壤因子的相关性研究[J]. *中药材*, 2022(7): 1531-1537.
- [5] 韩建勋, 李婷, 付萌, 等. 不同产地野生型与栽培型甘草代谢组分比较及定量分析[J]. *中药与临床*, 2022, 13(5): 1-6, 9.
- [6] 曹本福, 姜海霞, 陆引罡, 等. 烟草与丛枝菌根真菌的共生效应研究进展[J]. *中国土壤与肥料*, 2021(1): 327-338.
- [7] 孟思达, 张文祥, 郑昕雨, 等. 不同微生物菌肥对日光温室袋培番茄生长、产量和品质的影响[J]. *北方园艺*, 2021(7): 49-54.
- [8] 胡基华, 李萌, 曹旭, 等. 微生物菌肥对寒地大豆根围土壤细菌群落和产量的影响[J]. *微生物学杂志*, 2022, 42(4): 12-20.
- [9] 李茜, 苏国权, 危月辉, 等. 增施微生物菌肥对烤烟生长发育及烟叶品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(19): 123-129.
- [10] 苏彩霞, 董旭. 根际促生菌与生物炭制剂对辣椒生长发育及土壤改良效果的影响[J]. *山东农业科学*, 2021, 53(12): 109-117.
- [11] 高俊凤. *植物生理学实验指导*[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [12] 邢玉美, 万云婷, 刘延龙, 等. 宛氏拟青霉提取物对淹水胁迫下玉米叶片叶绿素荧光动力学参数的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2021, 40(10): 52-57.
- [13] 张友波, 徐嵬, 杨秀伟, 等. RP-HPLC法同时测定不同产地甘草中9个主要成分的含量[J]. *药物分析杂志*, 2013, 33(2): 214-219, 229.
- [14] LI F, GUO Y, WANG Z, et al. Influence of different phytoremediation on soil microbial diversity and community composition in saline-alkaline land[J]. *International Journal of Phytoremediation*, 2022, 24(5): 507-517.
- [15] YIN F, ZHANG S, CAO B, et al. Low pH alleviated salinity stress of ginger seedlings by enhancing photosynthesis, fluorescence, and mineral element contents[J]. *PeerJ*, 2021, 9(1): e10832.
- [16] 陈绕生, 薛林宝. 纳米硒、铜对干旱胁迫下番茄生长、光合特

性及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(12): 127-134.

[17] 袁仁文, 刘琳, 张蕊, 等. 植物根际分泌物与土壤微生物互作关系的机制研究进展[J]. 中国农学通报, 2020, 36(2): 26-35.

[18] 高战武, 范春燕, 鄢上钦, 等. 盐碱胁迫下外源油菜素内酯与AM真菌对羊草光合特性及抗氧化酶系统的影响[J]. 山东农业科学, 2022, 54(5): 44-52.

[19] 胡文海, 闫小红, 李晓红, 等. 24-表油菜素内酯对干旱胁迫下辣椒叶片快速叶绿素荧光诱导动力学曲线的影响[J]. 植物研究, 2021, 41(1): 53-59.

[20] 李鹏民, 高辉远, RETO J S. 快速叶绿素荧光诱导动力学分析在光合作用研究中的应用[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2005(6): 559-566.

[21] 米华玲. 类囊体膜 NAD(P)H 脱氢酶复合体调控光合作用的研究进展[J]. 植物生理学报, 2016, 52(10): 1457-1465.

[22] LI P M, GAO H Y, STRASSER R J. Application of the fast chlorophyll fluorescence induction dynamics analysis in photosyn-

thesis study [J]. Journal Plant Physiol Mol Bio, 2005 (6): 559-566.

[23] 薛娴, 许会敏, 吴鸿洋, 等. 植物光合作用循环电子传递的研究进展[J]. 植物生理学报, 2017, 53(2): 145-158.

[24] 王明. 甘草主要有效成分医药用途的专利技术分析[J]. 中国科技信息, 2019(7): 19-21

[25] 李宽莹, 王泽林, 徐兴有, 等. 不同施肥处理对日光温室内土壤微生物数量与酶活性的影响[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(2): 56-61.

[26] 陈娟丽, 师尚礼, 祁娟. 复合菌肥与化肥配施对高寒地区土壤微生物数量和土壤酶活性的影响[J]. 草原与草坪, 2016, 36(1): 7-13.

[27] SHAO T, GU X, ZHU T, et al. Industrial crop Jerusalem artichoke restored coastal saline soil quality by reducing salt and increasing diversity of bacterial community[J]. Applied Soil Ecology, 2019, 138: 195-206.

## Effects of Different Microbial Fertilizers on Photosynthetic Physiology, Flavonoids Content and Soil Microbial Quantity of *Glycyrrhiza uralensis*

WANG Ying<sup>1</sup>, DU Pengfei<sup>1</sup>, LI Juan<sup>2</sup>

(1. Department of Pharmaceutical Laboratory, Henan Nursing Career Academy, Anyang, Henan 455000; 2. College of Agriculture, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450046)

**Abstract:** Taking *Glycyrrhiza uralensis* as the test material, the green house partition test was carried out. Set up no application microbial fertilizer as control treatment (CK), and applying *Purpureocillium lilacinum* (PL), *Bacillus subtilis* (BS), *Trichoderma harzianum* (TH) and tis compound treatment (MX), which carried out to explore the effects of different microbial fertilizers on photosynthetic pigments, chlorophyll fluorescence, PS II photochemical characteristics, flavonoid synthesis and soil microbial quantity of *Glycyrrhiza uralensis*, in order to provide reference for microbial fertilizer of *Glycyrrhiza uralensis*. The results showed that compared with CK treatment, microbial fertilizer treatments (PL, BS, TH, MX) increased the content of photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids), enhanced chlorophyll fluorescence ( $F_v/F_m$ ,  $qP$ ,  $\Phi_{PSII}$ ), and reduced the characteristics of PS II photochemical loss characteristics ( $\phi Do$ ,  $\phi Po$ ,  $Ro$ ,  $\Psi_o$ ), the flavonoid components (glycyrrhizin, glycyrrhisoflavone, licorice dihydroflavone, licorice chalcone) were increased, and the overall performance of each treatment was  $CK < PL, TH < MX, BS$ . Furthermore, microbial fertilizer also increased the number of soil bacteria, ammonia-oxidizing bacteria, actinomycetes and nitrogen-fixing bacteria, and had no significant effect on fungi. In summary, the application of microbial fertilizer could improve the efficiency of photosynthesis and the number of soil microorganisms, and increase the content of flavonoids, and the application of *Bacillus subtilis* fertilizer was the best treatment.

**Keywords:** microbial fertilizer; *Glycyrrhiza uralensis*; chlorophyll fluorescence characteristics; flavonoids; soil microorganisms