

深绿木霉 T2 处理土壤对紫花苜蓿光合作用的影响

侯变变, 梁巧兰*, 魏列新, 陈应娥, 芮静

(甘肃农业大学植物保护学院, 甘肃省农作物病虫害生物防治工程实验室, 甘肃 兰州 730070)

摘要:【目的】探究深绿木霉 T2(*Trichoderma atroviride* T2)处理土壤后对紫花苜蓿光合作用的影响。【方法】采用浓度为 1×10^7 个/g 的 T2 孢子悬浮液处理紫花苜蓿盆栽幼苗的土壤, 在土壤湿度、环境温度分别为 70%、30℃ 条件下测定其对紫花苜蓿幼苗叶绿素含量与光合参数的影响。【结果】T2 处理土壤对紫花苜蓿的叶绿素含量及光合速率均有提高作用, 且效果明显, 与对照相比, 当 T2 处理土壤第 7 天时, 处理组紫花苜蓿幼苗叶绿素含量、光合参数分别与对照相比差异最大, 其中叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量、净光合速率和水分利用率较对照分别提高了 86.96%、81.58%、89.66%、104.06% 和 174.05%, 类胡萝卜素、气孔导度和蒸腾速率分别比对照降低了 44.74%、32.53% 和 33.93%。【结论】深绿木霉 T2 土壤处理可促进紫花苜蓿的生长发育。

关键词: 深绿木霉 T2; 土壤定殖; 苜蓿; 叶绿素含量; 光合参数

中图分类号: S541⁺.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2025)02-0108-07

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyep.2025.02.012



紫花苜蓿(*Medicago sativa*)属于豆科(Leguminosae)苜蓿属, 是一种多年生植物, 原生长于伊朗, 自西汉时期从西域引入我国, 已有大约 2000 年的种植历史^[1]。苜蓿是一种优质的豆科牧草, 具有高产、优质、营养丰富等特点, 作为牧草产业的首选栽培草种被称为“牧草之王”^[2], 是发展现代畜牧业和生产高档奶、肉制品不可缺少的精料补充料^[3], 在世界范围广泛种植, 我国主要栽培于西北、东北、华北等区域^[4]。目前, 苜蓿生产上主要施用化学肥料促进生长, 提高产量, 但随着化肥大量长期施用, 土壤微生物群落结构被破坏, 土壤板结严重^[5], 造成紫花苜蓿生长势减弱, 病害发生严重, 导致紫花苜蓿产量和品质下降。目前, 应用有益微生物改善植物根际生态环境、促进植物生长、提高植物产量和品质是研究的热点, 微生物是生态系统的重要组成部分, 可作为微生物菌剂通过分解

难溶的植酸钙等营养物质并分泌植物激素等途径促进植物生长、维持生态平衡和土壤生产力, 其中最常见的微生物菌剂是木霉菌菌剂^[6]。

木霉菌(*Trichoderma* spp.) 是重要的生防真菌, 属于丝孢纲、丛梗孢目^[7], 具有竞争作用、重寄生作用、抗生作用和诱导抗病作用等多种生防机制, 被广泛用于植物土传病害的防治和对植物的促生等方面^[8-9]。另外, 木霉菌还可定殖在植物根际, 通过改善土壤微生态环境, 提高植物对土壤养分的利用率, 影响植物激素的合成与运输来促进植物的健康生长、提高产量和品质^[10]。据报道, 沟施木霉菌可提高土壤脲酶、中性蛋白酶、中性磷酸酶和蔗糖酶活性, 利于有机质的转化吸收, 为植物生长提供良好的土壤环境^[11]; 深绿木霉 T2 发酵液对黑麦草和白三叶草幼苗叶绿素含量均有提高作用^[11-12], 用 T2 发酵液蛋白提取物 TraT2A 处理后, 小麦幼苗叶绿素含量和根系活力与对照相比显著提高^[13]; 木霉菌可通过调控植株叶片和根系中 Na^+ 、 K^+ 的平衡, 减少离子毒害和氧化损伤对光合系统的影响, 进而缓解盐胁迫对植物的光合损伤^[14]; 外源施用棘孢木霉可改善根际土壤化学性质, 增强玉米的光合速率与水分利用率^[15]。而有关深绿木霉 T2 通过土壤处理

收稿日期: 2024-04-25; 修回日期: 2024-06-18

基金资助: 国家自然科学基金项目(31860039)

作者简介: 侯变变(1999-), 女, 甘肃通渭人, 硕士研究生。

E-mail: 2580767268@qq.com

*通信作者, 研究方向为植物保护。

E-mail: liangql@gsau.edu.cn

对紫花苜蓿光合作用的影响等尚未见系统研究。为此,本试验通过研究深绿木霉 T2 处理土壤后对紫花苜蓿叶绿素含量及光合参数的影响,为进一步利用深绿木霉 T2 开发生物菌剂、改善土壤、促进紫花苜蓿生长、提高紫花苜蓿产量和品质提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

紫花苜蓿种子(阿尔冈金品种,购买自酒泉未来草业有限公司),深绿木霉 T2(*Trichoderma atroviride* T2,保存于甘肃农业大学植物保护学院农药学实验室),营养土(购买自甘肃绿农科技股份有限公司)。

1.2 供试仪器

酶标仪 DNM-9602G(美国伯腾仪器有限公司)、便携式光合仪 GFS-3000(上海泽泉公司)、电子天平 AR224CN(上海奥豪斯仪器有限公司)、智能人工气候箱 QRDN-1500T-4(杭州琦胜电子科技有限公司)、高压蒸汽灭菌锅 LDZF-75L-II(上海申安医疗器械厂)、电热恒温鼓风干燥箱 HGZF-11/H-101-3(上海跃进医疗器械有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 土壤处理及紫花苜蓿幼苗的种植管理 营养土经高压灭菌后,放入 60℃ 的烘箱烘干 24 h 后取出,称取 2 份 2 100 g 灭菌烘干后的营养土,一份土壤按筛选确定的 T2 土壤定殖最佳浓度的 T2 孢子悬浮液 1 470 mL 接种于土壤中,混匀,使土壤含水量为 70%、T2 土壤初始孢子浓度为 1×10^7 个/g,另外一份土壤作为对照只加等体积灭菌水,将上述 2 份土壤每组 700 g 分装于直径为 12 cm 的 6 个花盆中,铺平,每个处理重复 3 次,每组选取饱满的紫花苜蓿种子 9 粒均匀放入装有处理土壤的花盆中,然后放入温度为 30℃、空气湿度为 50% 的人工气候培养箱培养,等紫花苜蓿出苗后,备用。

1.3.2 深绿木霉 T2 土壤处理后紫花苜蓿幼苗叶绿素含量的变化 采用丙酮乙醇混合法^[16],分别于 1.3.1 中 T2 处理 7、14、21、28、35 天后测定对照组和处理组紫花苜蓿幼苗的叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素和类胡萝卜素的含量。具体步骤如下:将无水丙酮和无水乙醇等体积混合后,称取 T2 处理和对照的紫花苜蓿盆栽幼苗叶片各 0.2 g,剪碎混匀后分别装入具塞试

管中,并加入 10 mL 丙酮乙醇混合液塞紧塞子,置于黑暗条件下 24 h,直至试管中紫花苜蓿叶片完全无绿色后,分别加入酶标板中,测定各样品提取液在波长为 663 nm、645 nm、470 nm 的吸光值,将测得的吸光值代入下面公式计算叶绿素含量。

$$\text{叶绿素 } a \text{ 含量 (mg/g)} = \frac{(12.71A_{663} - 2.59A_{645}) \times V}{1000FW}$$

$$\text{叶绿素 } b \text{ 含量 (mg/g)} = \frac{(22.88A_{645} - 4.67A_{663}) \times V}{1000FW}$$

$$\text{总叶绿素含量 (mg/g)} = \frac{(20.29A_{645} + 8.04A_{663}) \times V}{1000FW}$$

$$\text{类胡萝卜素含量 (mg/g)} = \frac{1000 \times A_{470} - 2.05 \times C_a - 114.8 \times C_b}{245}$$

式中:V 为提取液总体积(mL);FW 为样品鲜重(g); A_{663} 、 A_{645} 和 A_{470} 为吸光值; C_a 和 C_b 分别为叶绿素 a 和叶绿素 b 的含量。

1.3.3 深绿木霉 T2 土壤处理后紫花苜蓿幼苗光合参数的变化 分别于 1.3.1 中 T2 处理第 7、14、21、28、35 天时上午 9:00—11:30,每个处理选取 3 株长势一致的紫花苜蓿幼苗,每株测定 1 个叶片,在固定光照强度为 $1\ 600\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, CO_2 浓度为 $520\ \mu\text{g}/\text{mL}$,温度为 25℃ 条件下,采用 GFS-3000 便携式光合仪测定紫花苜蓿盆栽幼苗的净光合速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]、气孔导度 [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]、胞间二氧化碳浓度 ($\mu\text{mol}/\text{mol}$) 和蒸腾速率 [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$],测定时光照强度稳定 2~3 min 进行记录,并按照以下公式计算水分利用率(WUE)^[17]。

$$\text{水分利用率 } (\mu\text{mol}/\text{mmol}) = \frac{\text{净光合速率}}{\text{蒸腾速率}}$$

1.4 数据分析

所有数据采用 Excel 2019 整理数据和制表,用 SPSS 26.0 软件中 LSD 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 深绿木霉 T2 土壤处理后对紫花苜蓿盆栽幼苗叶绿素含量的影响

试验发现,深绿木霉 T2 土壤处理后可使紫花苜蓿盆栽幼苗叶绿素 a(图 1-A)、叶绿素 b(图 1-B)、总叶绿素(图 1-C)含量显著增加,类胡萝卜素(图 1-D)含量明显降低。处理后第 7~28 天,随着时间的延长,紫花苜蓿盆栽幼苗叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素、类胡萝卜素含量逐渐提高,第 28 天处理组叶绿素 a、叶绿素 b、总

叶绿素、类胡萝卜素含量均达到最大值,分别为2.55、1.60、4.07、9.08 mg/g,与对照相比存在极显著差异,在第35天时叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素、类胡萝卜素含量比第28天时略有降低;在第7天时处理组紫花苜蓿盆栽幼苗叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素、类胡萝卜素

素含量与对照相比差异最大,处理组叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素较对照分别提高86.96%、81.58%、89.66%,类胡萝卜素降低44.74%。T2土壤处理在整个试验的不同时间取样,各指标与对照相比均存在极显著差异。

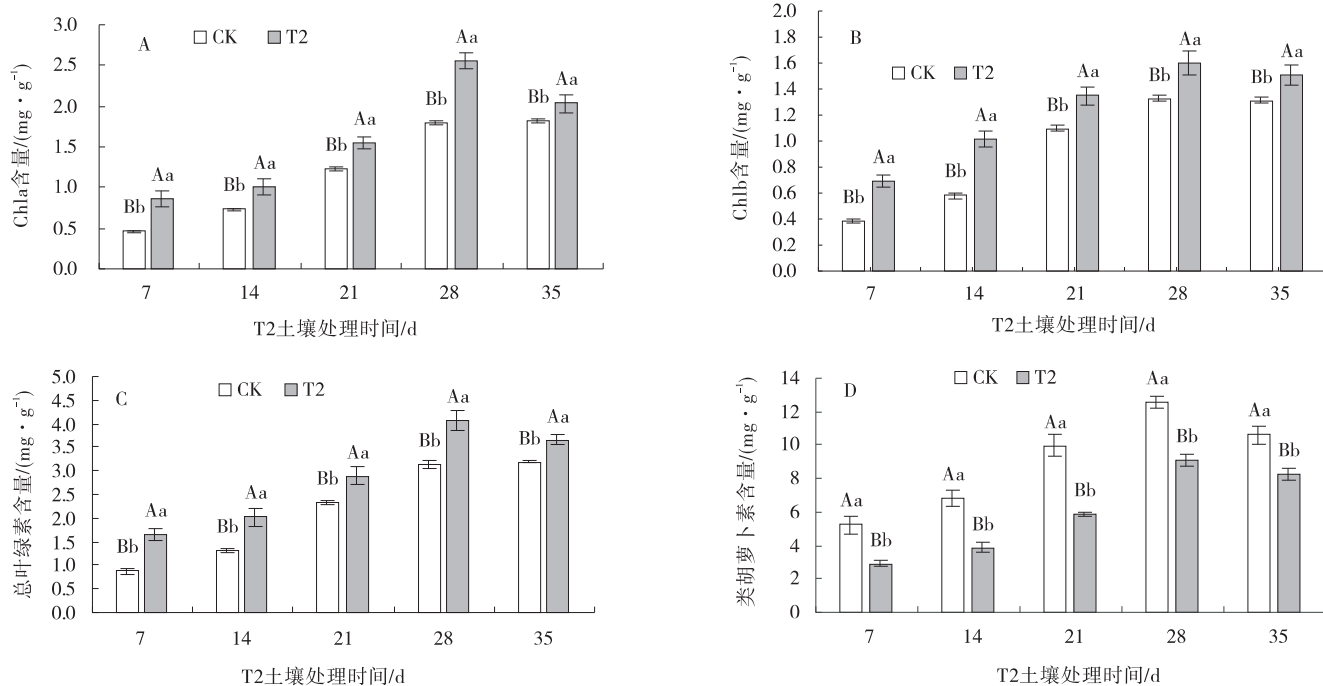


图1 深绿木霉T2土壤处理后对紫花苜蓿盆栽幼苗叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of *Trichoderma atroviride* T2 soil treatment on chlorophyll content of potted alfalfa seedlings

注:不同的大写字母表示同一时间T2处理和对照在0.01水平上具有显著性差异,下同。

2.2 深绿木霉T2土壤处理后对紫花苜蓿盆栽幼苗光合参数的影响

2.2.1 深绿木霉T2土壤处理后对紫花苜蓿幼苗净光合速率的影响 深绿木霉T2土壤处理后可使紫花苜蓿盆栽幼苗的净光合速率显著增加,在第7~28天,随着时间的延长,紫花苜蓿盆栽幼苗净光合速率逐渐提高,第35天时净光合速率低于第28天,其中T2土壤处理组植株第28天净光合速率达到最大,为 $16.57 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,第7天净光合速率最小,为 $4.02 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,且各取样时间与对照相比存在显著差异(图2);与对照相比,在第7天时T2处理对紫花苜蓿净光合速率的影响达到最大,较对照提高104.06%,在第14天时T2处理紫花苜蓿净光合速率较对照相比差异最小,提高率为28.22%(图2)。

2.2.2 深绿木霉T2土壤处理后对紫花苜蓿幼苗气孔导度的影响 深绿木霉T2土壤处理可使紫花苜蓿盆栽幼苗气孔导度显著降低。在处理后的第7~28天,

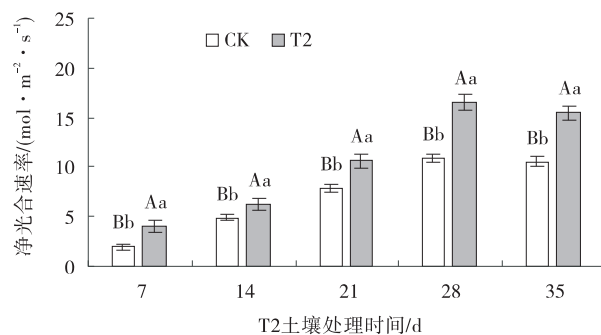


图2 深绿木霉T2土壤处理后对紫花苜蓿盆栽幼苗净光合速率的影响

Fig. 2 Effects of *Trichoderma atroviride* T2 soil treatment on net photosynthetic rate of potted alfalfa seedlings

随着时间的延长,紫花苜蓿盆栽幼苗气孔导度逐渐提高,第35天时气孔导度低于第28天,其中处理组在第28天的气孔导度最大,为 $113.12 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,第7天气孔导度最小,为 $31.26 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,与对照相比均存在显著差异(图3);在第7天时,处理和对照组气孔导度差异最大,处理组较对照组降低32.53%,在第

35 天时差异最小,处理组较对照组降低 7.57%,在不同取样时间,处理组和对照组气孔导度均存在显著差异。

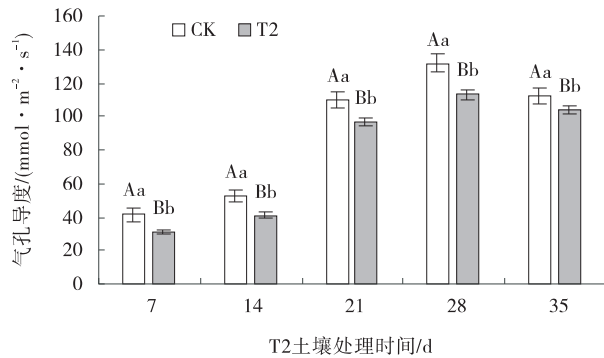


图 3 深绿木霉 T2 土壤处理后对紫花苜蓿盆栽幼苗气孔导度的影响

Fig. 3 Effects of *Trichoderma atroviride* T2 soil treatment on stomatal conductance of potted alfalfa seedlings

2.2.3 深绿木霉 T2 土壤处理后对紫花苜蓿幼苗胞间二氧化碳浓度的影响 试验发现,深绿木霉 T2 土壤处理对紫花苜蓿盆栽幼苗胞间二氧化碳浓度的影响不大。在处理后的第 7~28 天,随着时间的延长,紫花苜蓿幼苗胞间二氧化碳浓度逐渐提高,第 35 天时胞间二氧化碳浓度低于第 28 天,其中处理组第 28 天胞间二氧化碳浓度最大,为 811.51 $\mu\text{mol}/\text{mol}$,第 7 天胞间二氧化碳浓度最小,为 670.32 $\mu\text{mol}/\text{mol}$,与对照相比差异均不显著(图 4)。

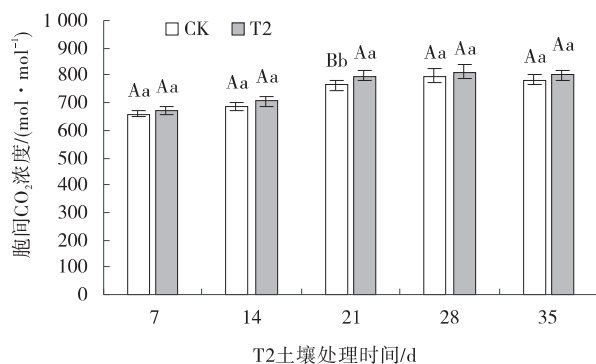


图 4 深绿木霉 T2 土壤处理后对紫花苜蓿盆栽幼苗胞间二氧化碳浓度的影响

Fig. 4 Effects of *Trichoderma atroviride* T2 soil treatment on intercellular carbon dioxide concentration of potted alfalfa seedlings

2.2.4 深绿木霉 T2 土壤处理后对紫花苜蓿幼苗蒸腾速率的影响 深绿木霉 T2 土壤处理可使紫花苜蓿盆栽幼苗蒸腾速率显著降低。在处理后的第 7~28 天,

随着时间的延长,紫花苜蓿盆栽幼苗蒸腾速率逐渐提高,第 35 天时蒸腾速率低于第 28 天,其中处理组第 28 天蒸腾速率最大,为 3.95 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,第 7 天蒸腾速率最小,为 1.12 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,与对照相比均存在极显著差异(图 5);在第 7 天时处理组和对照组蒸腾速率差异最大,处理组较对照降低 33.93%,在第 35 天时差异最小,处理组较对照降低 22.96%,且在不同取样时间点,处理组和对照组蒸腾速率均存在极显著差异。

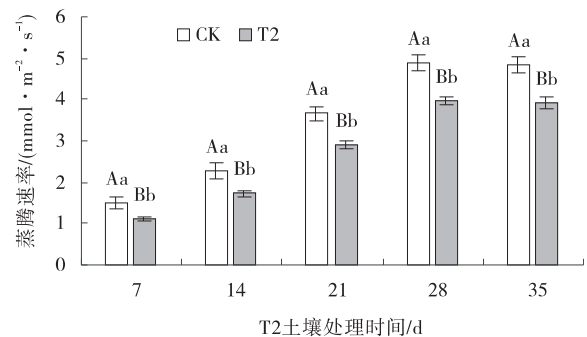


图 5 深绿木霉 T2 土壤处理后对紫花苜蓿盆栽幼苗蒸腾速率的影响

Fig. 5 Effects of *Trichoderma atroviride* T2 soil treatment on transpiration rate of potted alfalfa seedlings

2.2.5 深绿木霉 T2 土壤处理后对紫花苜蓿幼苗水分利用率的影响 深绿木霉 T2 土壤处理可使紫花苜蓿盆栽幼苗水分利用率显著增加。在处理后的第 7~28 天,随着时间的延长,紫花苜蓿盆栽幼苗水分利用率逐渐提高,第 35 天时水分利用率低于第 28 天,其中 T2 处理后第 28 天水分利用率最大,为 4.19 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$,第 7 天水分利用率最小,为 3.59 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$,与对照相比存在极显著差异(图 6);在第 7 天时 T2 对紫花苜蓿水分利用率的影响最大,提高率为 174.05%,第 35 天时影响最小,提高率为 8.19%,且 T2 土壤处理不同时间紫花苜蓿水分利用率与对照存在极显著差异。

3 讨论

3.1 深绿木霉 T2 土壤处理后对紫花苜蓿叶绿素含量的影响

木霉菌是重要的生防真菌^[7],不仅可拮抗植物病原菌用于土传病害的防治,还可在土壤中定殖、迅速增殖,并且能长期存活在植物根际促进植物生长^[8],木霉菌土壤定殖可提高土壤有机质含量,提高植物对土壤养分的吸收利用^[11]。据报道,哈茨木霉 TH-1 菌株

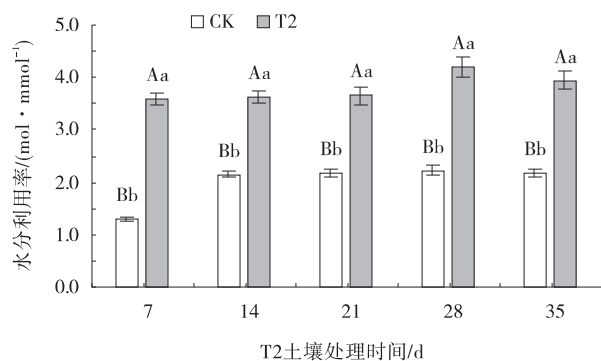


图6 深绿木霉 T2 土壤处理后对紫花苜蓿盆栽幼苗水分利用率的影响

Fig. 6 Effects of *Trichoderma atroviride* T2 soil treatment on water utilization rate of potted alfalfa seedlings

处理土壤,明显促进辣椒幼苗的生长,使辣椒幼苗的叶绿素含量提高 15.9%^[18];内生木霉菌 P3.9 菌株定殖于枇杷根际土壤第 30 天,处理组的叶绿素质量分数比对照大 0.01 mg/g^[19];还有研究发现,在番茄幼苗根际施用哈茨木霉木霉菌孢子悬浮液后,番茄幼苗叶绿素含量提高 75%,且对番茄幼苗有促生作用,该促生作用可能是通过提高幼苗叶绿素含量、增强光合作用来实现的^[20];此外,有研究表明哈茨木霉根际定殖提高了黑麦草的叶绿素 a、b 含量以及总叶绿素含量,并且降低了类胡萝卜素含量^[21],本试验也发现采用生防木霉菌 T2 土壤处理后,同样对紫花苜蓿盆栽幼苗叶绿素含量有提高作用,而对类胡萝卜素含量有降低作用,在第 7 天时 T2 对苜蓿叶绿素含量影响最大,与对照相比,叶绿素 a、b、总叶绿素含量提高率分别为 86.96%、81.58%、89.66%,而类胡萝卜素含量降低率为 44.74%。

3.2 深绿木霉 T2 土壤处理后对紫花苜蓿光合参数的影响

光合作用是植物最重要的生命活动之一,植物的生长发育离不开光合作用所提供的能量及信息^[22]。研究发现,哈茨木霉灌根处理黄瓜幼苗可显著提高幼苗净光合速率和水分利用率,与对照相比,分别提高了 0.86%、15.45%^[23];不同浓度的棘孢木霉处理玉米可使其光合速率增强 15.27%~17.30%^[15];哈茨木霉灌溉处理可使沟叶结缕草的净光合速率提高 369.60%^[24];还有研究发现,哈茨木霉定殖于黑麦草根际土壤后,显著改善黑麦草光能的有效利用、提高水分亏缺及净光合速率、降低气孔导度和蒸腾速

率^[25],陈建妙等^[25]等在研究哈茨木霉菌液处理土壤后对黑麦草气体交换的影响发现,将哈茨木霉菌液接种到土壤后,处理组黑麦草的胞间二氧化碳浓度与对照相比无显著差异;通过深绿木霉 T2 土壤处理后对紫花苜蓿盆栽幼苗光合参数影响的试验同样发现,深绿木霉 T2 对紫花苜蓿光合速率和水分利用率有提高作用,对气孔导度和蒸腾速率有降低作用,对胞间二氧化碳浓度的影响不大,在第 7 天时 T2 对紫花苜蓿光合参数影响最大,与对照相比,净光合速率和水分利用率分别提高 104.06% 和 174.05%,而气孔导度和蒸腾速率降低率分别为 32.53% 和 33.93%。

另外,研究表明,木霉菌定殖后可改变土壤微生物群落结构、显著提高植物长势和抗病性、增加土壤总氮和硝态氮含量^[26],木霉菌灌根处理可提高植物叶片中叶绿素的主要构成元素 P、Ca、Mg、Zn 的含量^[18];木霉菌处理土壤可显著提高土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾平均含量,同时土壤中的脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性上升,从而缓解盐碱土壤对植物生长的影响^[27]。本试验仅利用在 T2 土壤处理的最佳孢子浓度(1×10^7 个/g)、土壤湿度(70%)、环境温度(30℃)条件下土壤处理对苜蓿盆栽幼苗叶绿素含量和光合参数每 7 天的影响进行了研究,而对深绿木霉 T2 土壤处理后每天的影响及对土壤中各种酶活性、有机质和元素含量、紫花苜蓿叶片中主要构成元素含量的影响和对紫花苜蓿病害的诱导抗病性等问题尚未涉及,还有待于进一步深入研究。

4 结论

本研究发现深绿木霉 T2 土壤处理后可提高紫花苜蓿叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量、净光合速率和水分利用率,降低类胡萝卜素含量、气孔导度和蒸腾速率。表明 T2 可通过提高光合色素含量、增强光合作用来促进紫花苜蓿生长,提高紫花苜蓿的产量和品质。研究结果为深绿木霉 T2 处理土壤来改善土壤微生物群落结构、提高土壤肥力提供理论依据,为 T2 土壤处理后通过影响生理生化性质来促进植物生长、增强植物抗病性以及开发 T2 微生物菌肥来代替化学肥料的使用奠定了基础。

参考文献:

- [1] 崔红慧,李洁茹,孙曼曼,等.低温胁迫对不同品种紫花苜蓿种子萌发的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2024(8):84—91.
- [2] 赵阳安,芦光新,金鑫,等.高寒地区紫花苜蓿根系吸收资源空间与土壤性质的相关性研究[J].草原与草坪,2023,43(6):155—161.
- [3] 王晓春,韩鹏,汪伟,等.紫花苜蓿与饲用燕麦混合青贮研究[J].现代畜牧科技,2024(4):74—76.
- [4] 孙启忠,柳茜,李峰,等.苜蓿的起源与传播考述[J].草业学报,2019,28(6):204—212.
- [5] 杨秀梅,何玉龙.苜蓿种植技术及在畜牧生产中应用[J].畜牧兽医科学,2022(24):129—131.
- [6] 刘栩辰.微生物菌剂调控辣椒疫病抗病性与发育的应用及机制研究[D].重庆:西南大学,2023.
- [7] 马明磊,王秋霞,马莹莹,等.木霉菌作用机制及其在药用植物上的应用研究进展和展望[J].江苏农业科学,2023,51(8):8—16.
- [8] José L B, Ramón P F, Alfredo H E. *Trichoderma* as bio-stimulant: exploiting the multiple properties of a plant beneficial fungus [J]. Scientia Horticulturae, 2015, 196: 109—123.
- [9] 沈菲.不同品牌哈茨木霉及施用方式对青菜的促生作用[D].杭州:浙江农林大学,2023.
- [10] Chen L, Yang X, Raza W, *et al.* Solid-state fermentation of agro-industrial wastes to produce bioorganic fertilizer for the biocontrol of *Fusarium* wilt of cucumber in continuously cropped soil [J]. Bioresource Technology, 2011, 102(4):3900—3910.
- [11] 窦维卉,张宁,李丹,等.木霉菌施入对生姜生长及土壤环境的影响[J].现代园艺,2024,47(3):16—19.
- [12] 张树武,徐秉良,程玲娟,等.深绿木霉对白三叶草促生作用及生理生化特性的影响[J].草业学报,2015,24(2):161—167.
- [13] 张国印,梁巧兰,魏列新,等.深绿木霉 TraT2A 对5种作物的促生作用研究[J].干旱地区农业研究,2023,41(5):256—263.
- [14] 曾玮珣,秦倩倩,刘艳红.夜间光照对银杏叶片变色期光合色素与次生代谢的影响[J].应用与环境生物学报,2024,30(4),1—14.
- [15] 李怿聪,黄凤麟,吴少彤,等.棘孢木霉对盐碱农田玉米根际土壤及叶片光合特性的影响[J].分子植物育种,2024,1—14.
- [16] 丁富功,侯泽豪,卢奕霏,等.小麦不同组织器官叶绿素测定方法的比较研究[J].东北农业科学,2022,47(5):111—115.
- [17] 许喆,任健,田英,等.外源ABA对干旱胁迫下多年生黑麦草光合特性的影响[J].草地学报,2019,27(5):1243—1249.
- [18] 朱双杰,张立付,高智谋,等.哈茨木霉 TH-1 处理土壤对辣椒生长的影响[J].安徽农业大学学报,2009,36(3):351—355.
- [19] 鲁海菊,沈云玫,陶宏征,等.内生木霉 P3.9 菌株的多功能性和其枇杷根腐病的盆栽防效[J].西北农业学报,2017,26(11):1681—1688.
- [20] Fiorini L, Guglielminetti L, Mariotti L, *et al.* *Trichoderma harzianum* T6776 modulates a complex metabolic network to stimulate tomato cv. Micor-Tom growth [J]. Plant Soil, 2016, 400:351—366.
- [21] 李冠霖,徐洋,邢鹏杰,等.木霉对不同香菇菌丝体生长阶段的致病性及生防制剂对其的抑制效果[J].分子植物育种,2019,17(19):6530—6534.
- [22] 潘晶,王磊,黄翠华,等.盐胁迫对干旱区植物能量代谢过程的影响综述[J].中国沙漠,2024,44(1):111—118.
- [23] 周晓馥,张欣玥,蔡汶好,等.哈茨木霉对黄瓜幼苗促生作用的影响[J].吉林师范大学学报(自然科学版),2020,41(3):93—99.
- [24] 刘冬杰.哈茨木霉延长沟叶结缕草绿期的生理机制[D].荆州:长江大学,2023.
- [25] 陈建妙,曹英建,瞿金旺,等.哈茨木霉对黑麦草气体交换和生长发育的影响[J].北方园艺,2023(4):53—59.
- [26] 赵欣,王怡霏,王嘉嘉,等.木霉菌对作物及土壤生态环境的影响[J].中国农业科技导报,2023,25(11):166—172.
- [27] 陈睿,崔泽远,李志,等.AM真菌对连作土壤上作物生长影响的研究进展[J].中国农学通报,2024,40(6):1—8.

Effects of *Trichoderma atroviride* T2 treatment on photosynthesis of alfalfa

HOU Bian-bian, LIANG Qiao-lan*, WEI Lie-xin, Chen Ying-e, Rui Jing

(Biocontrol Engineering Laboratory of Crop Diseases and Pests of Gansu Province, College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: 【Objective】 To investigate the effect of *Trichoderma atroviride* T2 treatment on the photosynthesis of alfalfa. 【Method】 The soil of alfalfa potted seedlings was treated with *Trichoderma atroviride* T2 spore suspension at a concentration of 1×10^7 spores/g. The effects of T2 spore suspension on chlorophyll content and photosynthetic parameters of alfalfa seedlings were measured under conditions of 70% soil moisture and an ambient temperature of 30 °C, respectively. 【Result】 Soil treatment with T2 significantly enhanced both chlorophyll content and photosynthetic rate in alfalfa seedlings. Compared with the control, the chlorophyll content and photosynthetic parameters of alfalfa seedlings in the treated group had the greatest difference on the 7th day of T2 soil treatment. Specifically, the contents of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, net photosynthetic rate and water utilization rate were increased by 86.96%, 81.58%, 89.66%, 104.06% and 174.05%, respectively. In contrast, carotenoids, stomatal conductivity, and transpiration rate decreased by 44.74%, 32.53% and 33.93%, respectively. 【Conclusion】 Soil treatment with *T. atroviride* T2 significantly promotes the photosynthetic efficiency and water use of alfalfa, thereby enhancing its growth and development.

Key words: *Trichoderma atroviride* T2; soil colonization; alfalfa; chlorophyll content; photosynthetic parameter

(责任编辑:刘建荣)