

# AM 宿主植物金银花对 喀斯特干湿交替的光合响应<sup>①</sup>

张 静<sup>1</sup>, 宋海燕<sup>1</sup>, 赵雅洁<sup>1</sup>, 马 晔<sup>2</sup>, 李 周<sup>1</sup>, 刘锦春<sup>1</sup>

1. 三峡库区生态环境教育部重点实验室/重庆市三峡库区植物生态与资源重点实验室/  
西南大学 生命科学学院, 重庆 400715;
2. 四川省大邑中学, 成都 611330

**摘要:**以盆栽的方式, 探究了接种丛枝菌根(AM)真菌后金银花在西南岩溶地干湿交替的变水环境下光合响应的变化, 期望为喀斯特地区生态环境的恢复提供思路. 结果表明: 在适宜水分条件下, 接种 AM 真菌促进了金银花的净光合速率( $P_n$ ), 蒸腾速率( $T_r$ ), 气孔导度( $G_s$ )和气孔密度. 在短期干旱条件下, 接种 AM 真菌对  $P_n$  和  $T_r$  均没有明显影响; 然而干旱持续时间加长后,  $P_n$  有显著提高,  $G_s$  受到抑制,  $T_r$  相比未接种组反而降低, 水分利用效率( $WUE_i$ )有所上升. 在短期干湿交替下, 接种 AM 真菌后各项光合指标均没有显著提高, 反而金银花植株的  $P_n$  和  $T_r$  被抑制, 长期干湿交替的  $WUE_i$  虽然提高但是以牺牲植物的光合作用为代价. 总之, 接种真菌对适宜水分下金银花光合能力的促进最为明显, 干旱下有一定促进能力, 但是在反复的干湿交替变水下, 接种植株的光合作用没有得到显著促进.

**关键词:** AM 真菌; 喀斯特; 干湿交替; 金银花; 光合能力

**中图分类号:** Q945.79

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-5471(2018)10-0043-07

植物的光合作用是保证其生长、发育、繁殖等生命活动正常进行的基础<sup>[1]</sup>, 能够及时反映外界环境的改变. 据相关报道, 丛枝菌根(Arbuscular mycorrhiza, AM)真菌可以显著促进植物的光合能力<sup>[2-4]</sup>, 使其提升大约 20%<sup>[5]</sup>. 在胁迫环境中, AM 真菌也发挥了不同程度的促进效益. 如在水分亏缺条件下, 摩西球囊霉(*Glomus mosseae*)能够显著提高甜瓜(*Cucumis melo*)的光合能力<sup>[6]</sup>. 另外, 近几年关于 AM 真菌在湿地植物中的分布及作用也有较多研究<sup>[7]</sup>, 结果表明其可以与水生植物建立稳定的共生关系<sup>[8]</sup>, 并能促进植物在水湿胁迫下的光合作用<sup>[9]</sup>. 然而, 当前的研究多集中于 AM 真菌对植物单一耐旱或耐涝时光合能力的正向作用, 却很少关注其在干湿交替的变水环境中的作用.

西南岩溶地区是“世界上最大的喀斯特连续带”<sup>[10]</sup>. 该地区基岩裸露严重、土壤厚度较薄, 地上水很容易渗漏到地下, 从而地表植物时常处于水分短缺状态; 但是在集中降雨之后, 短时期内又形成相对较湿的多水环境. 因此在该地区容易多次出现“干湿交替”的变水生境, 限制了植物的生长和分布以及该区域植被的恢复和重建<sup>[11]</sup>. 有研究表明, 接种 AM 真菌对喀斯特干旱环境下植株的净光合速率以及水分利用效率有显著的促进效益<sup>[3]</sup>. 我们的前期研究表明, 接种 AM 真菌也能够提高喀斯特变水生境特点下金银花(*Loni-*

① 收稿日期: 2017-08-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31500399); 教育部第 49 批留学回国人员科研启动基金资助项目[教外司(2015)311 号].

作者简介: 张 静(1994-), 女, 硕士研究生, 主要从事植物生态学的研究.

通信作者: 刘锦春, 博士, 副教授.

*cera hypoglanca* Miq.) 根部的生长<sup>[11]</sup>. 那么, 接种 AM 真菌对喀斯特地区变水生境下金银花的光合能力又会产生怎样的作用呢? 本研究将通过在不同水分条件下接种 AM 真菌后喀斯特适生物种金银花<sup>[12]</sup>的净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、气孔导度、气孔密度及水分利用效率变化的研究, 探索接种 AM 真菌后金银花在西南岩溶地干湿交替的变水环境下光合响应的变化, 期望为该地区生态环境的恢复提供思路.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

植物材料为野生金银花(*Lonicera hypoglanca* Miq.) 2 年生枝条, 采于重庆市喀斯特地区中梁山海石公园. 土壤为海石公园的黄色石灰土, 其中有机质质量分数为(0.273±0.06)%, 全氮质量分数为(0.283±0.00)g/kg, 全磷质量分数为(0.342±0.05)g/kg, 全钾质量分数为(0.342±4.87)g/kg, 全镁质量分数为(4.810±2.10)g/kg, 交换性钙质量分数为(5.693±1.69)g/kg. AM 真菌采用摩西球囊霉(*Glomus mosseae*), 由北京市农林科学研究院植物营养与资源研究所提供, 使用白三叶草扩繁后进行实验.

### 1.2 试验方法

试验盆栽全部放置于西南大学生态园大棚内, 分为接种组(M+)和不接种组(M-). 供试土壤在 170 °C 烘箱中干热灭菌 3~4 h, 自然降至室温后装入经过灭菌的塑料花盆(18×15 cm). 每盆先装至 10 cm 高, 接种组添加 30 g 混匀的菌剂扩繁土后加盖灭菌土, 不接种组则是添加 30 g 经高压蒸汽灭菌锅灭菌的扩繁土之后再加盖灭菌土, 每盆的总质量控制为 2.5 kg.

于 2012 年 3 月 6 日在海石公园采取长势基本相同的野生金银花枝条, 回实验室后参考较为严格的组培灭菌方法进行处理: 采用 75% 的碱化乙醇处理 20 s, 之后用 NaClO 处理 8 min. 再将灭菌枝条的底端放入 75 mg/kg 的 α-萘乙酸溶液中, 处理 40 min, 沥干后使用<sup>[13]</sup>. 在 3 月 10 日扦插, 适宜条件下培养 60 d 后实施不同浇水措施. 各水分处理组如表 1. 试验共 12 个处理, 每个处理 5 个重复. 采取称重法追踪土壤含水量, 于每天下午 4 点用天平称质量, 设土壤质量、水分在田间持水量(FMC)的 80%~90% 和 40%~50% 阶段的质量加上花盆本身质量的总质量为 W, 当总质量比相应含水量区间的 W 值小时进行浇水<sup>[14]</sup>.

表 1 接种组和不接种组(M+和 M-)的水分处理

| 水分处理      |      | 方法(5月10日开始)   | 取样时间                                 |
|-----------|------|---|--------------------------------------|
| 短期<br>处理组 | 1-CK | 保持水分为 80%~90%FMC  | 2012 年 7 月 8 日(完成 3 次干湿交替, 复水后 3 d)  |
|           | 1-D  | 保持水分为 40%~50%FMC  |                                      |
|           | 1-DW | 保持水分为 40%~50%FMC, 生长 2 周后浇水至过饱和状态, 之后水分自然散失, 当达到 40%~50%FMC 时, 保持这一水分程度 2 周后再次浇水至饱和, 重复 3 次 |                                      |
| 长期<br>处理组 | 2-CK | 保持水分为 80%~90%FMC  | 2012 年 8 月 27 日(完成 3 次干湿交替, 复水后 3 d) |
|           | 2-D  | 保持水分为 40%~50%FMC  |                                      |
|           | 2-DW | 保持水分为 40%~50%FMC, 生长 4 周后浇水至过饱和状态, 之后水分自然散失, 当达到 40%~50%FMC 时, 保持这一水分程度 4 周后再次浇水至饱和, 重复 3 次 |                                      |

### 1.3 测定方法

菌根侵染率测定: 使用台酚蓝染色, 根据单位根系侵染的长度表示侵染率<sup>[15]</sup>.

于 3 次干湿交替完成后的第 3 d, 在阳光较好的上午时分使用 Li-6400 光合仪测量植株的光合指标, 包括净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度( $C_i$ )及气孔导度( $G_s$ ). 测量时挑选植株生长部位大体一致的成熟叶子, 测量 5 次取平均值. 气孔数量采用印迹法, 气孔密度用显微镜视野内的气孔数量与相应视野面积的比值来表示. 内在水分利用效率( $WUE_i$ )为  $P_n/G_s$ <sup>[16-17]</sup>.

采用 Three-Factor Variance Analysis, SPSS(SPSS 20.0 for Windows, SPSS Inc, Chicago, USA)和 origin 9.0 对数据进行统计分析和作图, 结果用  $\bar{x} \pm s$  表示.

## 2 结 果

### 2.1 菌根侵染率

对于所有试验组, 接种 AM 真菌后的侵染率测定均高于未接种植株, 具有统计学意义( $P < 0.05$ ), 并且不同水分处理组之间的侵染率差异无统计学意义( $P > 0.05$ ), 侵染结果符合试验设计要求<sup>[10]</sup>.

### 2.2 净光合速率( $P_n$ )

在两种对照水分条件下(1-CK 和 2-CK), 接种 AM 真菌均促进了金银花的净光合速率; 在短期(1-D)干旱下, 对净光合速率影响无统计学意义, 然而在干旱时长由 2 周延至 4 周后(2-D), 却可以明显提高净光合速率; 在短期干湿交替下(1-DW), 接种 AM 真菌降低了金银花的净光合速率, 而长期干湿交替下(2-DW)无明显作用(图 1). 进行方差分析后表明, 接种 AM 真菌对  $P_n$  影响有统计学意义( $P < 0.05$ ), 水分的减少以及干湿交替对各组植株的作用有统计学意义( $P < 0.001$ ), 3 因子之间有极明显的交互作用( $P < 0.01$ )(表 2).

### 2.3 蒸腾速率( $Tr$ )

与净光合速率一样, 在两种对照水分条件下(1-CK 和 2-CK), 接种 AM 真菌均促进了金银花的蒸腾速率; 在短期(1-D)干旱下, 对蒸腾速率影响无统计学意义, 然而在干旱时长由 2 周延至 4 周后(2-D), 对蒸腾速率产生抑制; 在短期干湿交替下(1-DW), 接种 AM 真菌抑制了金银花的蒸腾速率, 而长期干旱后再复水(2-DW)蒸腾速率变化无统计学意义(图 2). 进行方差分析后表明, AM 真菌对  $Tr$  影响有统计学意义( $P < 0.05$ ), 水分的减少以及干湿交替对各组植株的作用有统计学意义( $P < 0.001$ ), 3 个因子之间交互有统计学意义( $P < 0.01$ ), 然而 AM 真菌与水分减少、AM 真菌与两种干湿交替之间交互无统计学意义( $P > 0.05$ )(表 2).

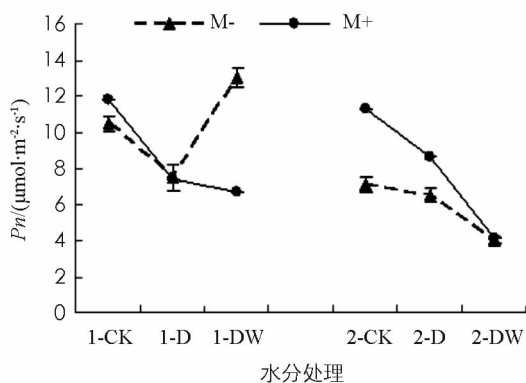


图 1 不同水分条件下接种 AM 真菌对金银花净光合速率( $P_n$ )的影响

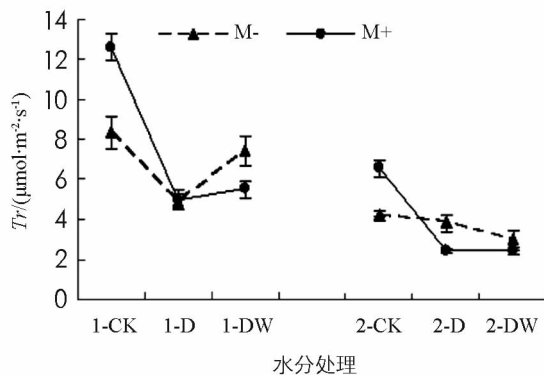


图 2 不同水分条件下接种 AM 真菌对金银花蒸腾速率( $Tr$ )的影响

### 2.4 胞间 $\text{CO}_2$ 浓度( $C_i$ )

在两种适宜水分条件(1-CK, 2-CK)以及两种干湿交替变水条件(1-DW, 2-DW)下, 接种 AM 真菌对金银花的胞间  $\text{CO}_2$  浓度均无统计学意义; 在短期干旱下(1-D), 接种 AM 真菌显著抑制了胞间  $\text{CO}_2$  浓度, 然而在干旱时长由 2 周延至 4 周后(2-D), 接种 AM 真菌仍对其有抑制作用, 但抑制作用减弱(图 3). 进行方差分析后表明, 水分的减少和干湿交替对  $C_i$  影响有统计学意义( $P < 0.001$ ), AM 真菌对其没有明显影响且 3 因子之间交互作用无统计学意义( $P > 0.05$ )(表 2).

### 2.5 气孔导度( $G_s$ )

在两种对照水分条件下(1-CK 和 2-CK), 接种 AM 真菌均促进了金银花的气孔导度; 在短期(1-D)干旱下, 气孔导度下降, 并且在干旱时长由 2 周延至 4 周后(2-D), 降低作用更加显著; 在短期以及长期干湿

交替下(1-DW 和 2-DW), 接种 AM 真菌均降低了金银花的气孔导度(图 4). 进行方差分析后表明, AM 真菌对  $G_s$  影响无统计学意义( $P > 0.05$ ), 水分的减少以及干湿交替对各组植株影响有统计学意义( $P < 0.001$ ), AM 真菌与水分减少、AM 真菌与干湿交替之间存在明显交互作用( $P < 0.001$ ), 但 3 个因子之间交互无统计学意义( $P > 0.05$ )(表 2).

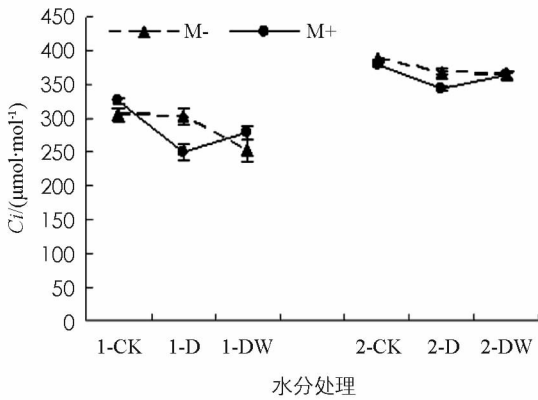


图 3 不同水分条件下接种 AM 真菌对金银花胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )的影响

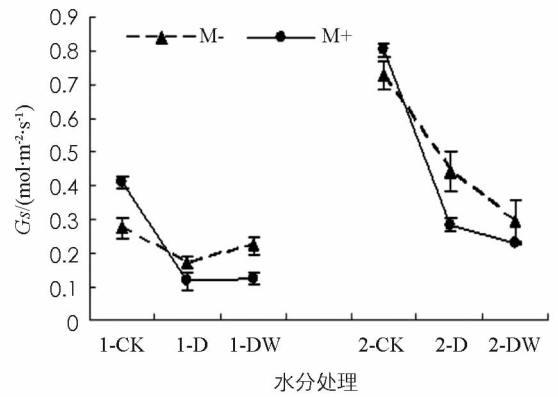


图 4 不同水分条件下接种 AM 真菌对金银花气孔导度( $G_s$ )的影响

## 2.6 气孔密度

在两种对照水分条件(1-CK 和 2-CK)以及两种干旱条件(1-D 和 2-D)下, 接种 AM 真菌均促进了金银花的气孔密度; 在短期干湿交替下(1-DW), 对气孔密度没有影响, 但是在长期干湿交替下(2-DW), 接种 AM 真菌提高了金银花的气孔密度(图 5). 进行方差分析后表明, AM 真菌和水分减少对气孔密度影响, 有统计学意义( $P < 0.001$ ), 干湿交替对气孔密度的影响同样具有统计学意义( $P < 0.05$ ), 3 个因子之间交互作用也有统计学意义( $P < 0.05$ )(表 2).

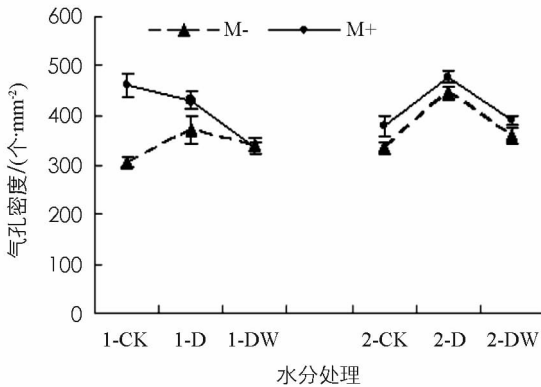


图 5 不同水分条件下接种 AM 真菌对金银花气孔密度的影响

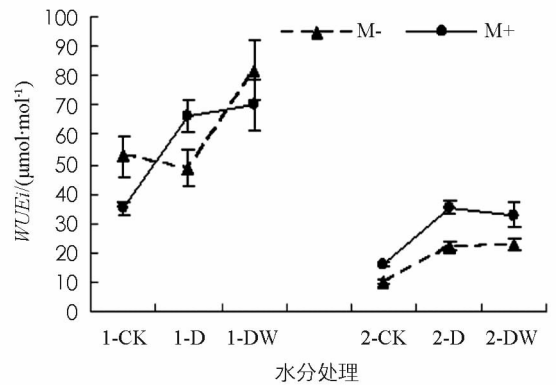


图 6 不同水分条件下接种 AM 真菌对金银花内在水分利用效率( $WUE_i$ )的影响

## 2.7 水分利用效率( $WUE_i$ )

在对照水分处理(1-DK)下, 接种 AM 真菌降低了金银花植株的内在水分利用效率, 而在另一对照水分(2-DK)条件下, 对其有促进作用; 在两种干旱处理下(1-D 和 2-D), 接种 AM 真菌均提高了金银花的内在水分利用效率; 在短期干湿交替下(1-DW), 接种真菌降低了内在水分利用效率, 但是在长期干湿交替下(2-DW), 对其有促进作用(图 6). 进行方差分析后表明, 菌根对  $WUE_i$  作用无统计学意义( $P > 0.05$ ), 而水分减少和干湿交替对  $WUE_i$  影响有统计学意义( $P < 0.001$ ), 因子两两之间具有交互, 但是 3 个因子之间交互无统计学意义( $P > 0.05$ )(表 2).

表 2 不同水分条件下接种 AM 真菌对金银花光合作用影响的 3 因素方差分析结果 ( $F$  值和  $Sig$  值)

|              | 净光合速率<br>$P_n$ | 蒸腾速率<br>$T_r$ | 胞间 $CO_2$ 浓度<br>$C_i$ | 气孔导度<br>$G_s$ | 气孔密度      | 内在水分利用<br>效率 $WUE_i$ |
|--------------|----------------|---------------|-----------------------|---------------|-----------|----------------------|
| 水分处理         | 21.597***      | 30.064***     | 30.062***             | 69.891***     | 20.198*** | 24.462***            |
| 菌根           | 4.021*         | 4.896*        | 1.664ns               | 0.352ns       | 28.072*** | 0.429ns              |
| 处理时间         | 51.667***      | 207.133***    | 389.471***            | 117.161***    | 5.277*    | 207.711***           |
| 水分 * 菌根      | 41.095***      | 83.163***     | 8.051***              | 13.543***     | 7.009**   | 7.026**              |
| 水分 * 时间      | 34.463***      | 2.080ns       | 9.316***              | 37.784***     | 6.798**   | 8.191***             |
| 菌根 * 时间      | 59.319***      | 0.625ns       | 1.980ns               | 0.025ns       | 3.536ns   | 4.577*               |
| 水分 * 菌根 * 时间 | 7.346**        | 13.121***     | 1.677ns               | 0.878ns       | 4.385*    | 2.620ns              |

注: \* 表示  $P < 0.05$ , \*\* 表示  $P < 0.01$ , \*\*\* 表示  $P < 0.001$ , 差异有统计学意义; ns 表示  $P > 0.05$ , 差异无统计学意义。

### 3 讨 论

在对照水分条件下, 接种 AM 真菌后, 金银花的气孔导度和气孔密度增大, 蒸腾速率升高, 从而净光合速率显著提高. 表明接种 AM 真菌会促进金银花根部的生长、根表面积和体积的增大, 增强根对养分的吸收能力<sup>[18]</sup>, 从而促进地上部分的生长, 光合作用得到加强, 这与多数研究结果一致<sup>[17-18]</sup>.

在水分胁迫下, 植物的光合作用会受到抑制<sup>[19]</sup>, 而接种 AM 真菌通常可以缓解这一抑制作用, 使植株净光合速率以及蒸腾速率在一定范围内有所提高<sup>[20]</sup>. 然而, 在本研究经过短期干旱处理后, 接种 AM 真菌并没有促进金银花的净光合速率. 有报道指出, 水分条件会影响菌根生长<sup>[21]</sup>. 因此, 在较短干旱时间内, AM 真菌可能会倾向于适应性生长, 对宿主植物的作用无统计学意义. 随着干旱时间的延长, 接种 AM 真菌却显著提高了金银花植株的净光合速率, 说明经过适应性生长的 AM 真菌已正常发挥其缓解干旱胁迫的功能. 同时, 本研究发现, 长期干旱下, 金银花的胞间  $CO_2$  浓度低于未接种组, 说明此时光合速率的提高并不完全是气孔因素的作用, 可能是接种 AM 真菌使植物叶肉细胞的羧化能力增强<sup>[22]</sup>, 从而金银花的干旱胁迫得到缓解.

2 周干旱后复水(即 1-DW), 没有接种 AM 的金银花气孔导度增大, 从而净光合速率比干旱情况下显著增加, 即较短时间干旱后进行复水对植株的光合会有适当的补偿. 接种菌根的金银花在短期干旱后复水, 其净光合速率较干旱情况下显著下降, 可能是干旱期限过短, 复水后导致水分过多, 土壤通气性差, AM 真菌作为一种好气真菌, 其生长和发育会受到限制<sup>[23]</sup>, 不能提高宿主植物汲取养分的能力, 而 AM 真菌恢复生长又需要从植物中获得养分, 几次交替下, 宿主植物的养分被消耗而又不能及时从土壤中得到, 从而光合生长受到抑制. 因此, 短期干湿交替下的最终结果是接种 AM 真菌不能促进金银花的光合作用. 长期干旱后复水(即 2-DW), 接种和未接种菌根的金银花净光合速率与干旱相比均显著下降, 说明植物经历较长时间干旱后再进行复水, 其光合作用并没有得到提高. 植物在经历干旱后的复水对其光合作用的补偿效益与干旱的时间长短有关, 随着干旱的延长, 植物生长受到的抑制就会越大, 复水的补偿效益很难完全抵制这一抑制作用<sup>[24]</sup>. 同时, AM 真菌也失去了其促进作用. 因此, 长期干湿交替下, AM 真菌也不能明显促进金银花的光合能力.

水分利用效率反应了植物碳同化与水分消耗之间的关系, 是衡量胁迫条件下植物光合能力一个很好的指标<sup>[25]</sup>. 在对照水分处理下, 接种菌根并无促进金银花的内在水分利用效率, 这与陈军文等<sup>[26]</sup>对巴西橡胶树的研究结果一致. 不管在短时间还是长时间干旱下, 接种菌根金银花的内在水分利用效率明显比未接种高, 这也表明干旱条件下金银花的水分利用效率可以通过接种 AM 真菌得到补偿. 可能是由于 AM 真菌促进了植株根部的导水率<sup>[27]</sup>, 宿主植物能更有效地吸收水分<sup>[28]</sup>. 在短时间干旱后进行复水(1-DW), 接种 AM 真菌并不能显著促进植物的内在水分利用效率, 这同样是由于干旱持续时间较短, 复水后导致水分过多使得菌根的生长受到抑制<sup>[29]</sup>. 但长时间干旱后进行复水(2-DW), 内在水分利用效率有明显的上升, 说明在长时间的干湿交替变水环境下, 接种 AM 真菌对植物的内在水分利用效率还是有一定促进作用的, 但要以牺牲其光合作用为代价.

综上所述,接种菌根可以通过增加叶片的气孔数量、促进叶片的气孔调节,以及减小蒸腾使植株在干旱胁迫环境下的光合作用得到提升。但在干湿交替条件下,尽管接种真菌能够一定程度地提高长期干湿交替下的水分利用效率,但并不能提高其光合能力。这与短期复水时造成水分过饱和或者长期干旱后植株受到严重伤害从而复水后菌根无法发挥其功能作用有关。

### 参考文献:

- [1] 李庆康,马克平. 植物群落演替过程中植物生理生态学特性及其主要环境因子的变化 [J]. 植物生态学报, 2002, 26(z1): 9-19.
- [2] 张中峰,张金池,黄玉清,等. 接种丛枝菌根真菌对青冈栎幼苗生长和光合作用的影响 [J]. 广西植物, 2013, 33(3): 319-323.
- [3] 何跃军,钟章成,刘锦春,等. 石灰岩土壤基质上构树幼苗接种丛枝菌根(AM)真菌的光合特征 [J]. 植物研究, 2008, 28(4): 452-457.
- [4] AMAYA-CARPIO L, DAVIES F T, FOX T, et al. Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Organic Fertilizer Influence Photosynthesis, Root Phosphatase Activity, Nutrition, and Growth of *Ipomoea carnea*, ssp. *fistulosa* [J]. *Photosynthetica*, 2009, 47(1): 1-10.
- [5] SMITH S E, READ D. Mineral Nutrition, Toxic Element Accumulation and Water Relations of Arbuscular Mycorrhizal Plants[M]// *Mycorrhizal Symbiosis*. Cambridge: Academic Press, 2008: 145-187.
- [6] HUANG Z, ZOU Z, HE C, et al. Physiological and Photosynthetic Responses of Melon (*Cucumis melo* L. ) Seedlings to Three *Glomus* Species under Water Deficit [J]. *Plant & Soil*, 2011, 339(1-2): 391-399.
- [7] 鄢金灼,武发思,冯虎元. 湿地植物与丛枝菌根真菌(AMF)相互关系的研究进展 [J]. 西北植物学报, 2008, 28(4): 836-842.
- [8] 曹明竹,王立,马放,等. 丛枝菌根真菌对阿特拉津胁迫下芦苇生长及生理特性的影响 [J]. 安徽农业科学, 2015(17): 138-141.
- [9] DUNHAM R M, RAY A M, INOUE R S. Growth, Physiology, and Chemistry of Mycorrhizal and Nonmycorrhizal *Typha Latifolia* Seedlings [J]. *Wetlands*, 2003, 23(4): 890-896.
- [10] SWEETING M M. Reflection on the Development of Karst Geomorphology in Europe and a Comparison with Its Development in China [J]. *Z GeomorphOL*, 1993, 37(1): 127-138.
- [11] 刘锦春,马晔,陶建平,等. 丛枝菌根真菌对西南岩溶地区干旱及干湿交替下金银花根系生长的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(10): 110-116.
- [12] 易思荣,申明亮,邓才富,等. 重庆喀斯特地区金银花的生物学特性及规范化种植技术研究 [J]. 现代中药研究与实践, 2011(2): 3-5.
- [13] 文明玲,乐正碧,徐茜,等. 金银花组织培养外植体灭菌方法探索 [J]. 陕西农业科学, 2011, 57(2): 50-51.
- [14] 刘锦春,钟章成,何跃军,等. 干旱胁迫及复水对喀斯特地区柏木幼苗活性氧清除系统的影响 [J]. 应用生态学报, 2011, 22(11): 2836-2840.
- [15] PHILLIPS J M, HAYMAN D S. Improved Procedures for Clearing Roots and Staining Parasitic and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Rapid Assessment of Infection [J]. *Transactions of the British Mycological Society*, 1970, 55(1): 158, IN16-161, IN18.
- [16] 赵平,孙谷畴,曾小平,等. 两种生态型榕树的叶绿素含量、荧光特性和叶片气体交换日变化的比较研究 [J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 327-332.
- [17] PENUELAS J, FILELLA I, LLUSIA J, et al. Comparative Field Study of Spring and Summer Leaf Gas Exchange and Photobiology of the Mediterranean Trees *Quercus Ilex* and *Phillyrea Latifolia* [J]. *Journal of Experimental Botany*, 1998, 49(319): 229-238.
- [18] 赵昕,宋瑞清,阎秀峰. 接种 AM 真菌对喜树幼苗生长及光合特性的影响 [J]. 植物生态学报, 2009, 33(4): 783-790.
- [19] 李涛,杜娟,郝志鹏,等. 丛枝菌根提高宿主植物抗旱性分子机制研究进展 [J]. 生态学报, 2012, 32(22): 7169-7176.
- [20] MICHELSEN A, ROSENDAHL S. The Effect of VA Mycorrhizal Fungi, Phosphorus and Drought Stress on the Growth of *Acacia Nilotica* and *Leucaena Leucocephala* Seedlings [J]. *Plant & Soil*, 1990, 124(1): 7-13.
- [21] ZHANG H H, TANG M, YANG Y. The Response of Ectomycorrhizal (ECM) Fungi under Water Stress Induced by Polyethylene Glycol (PEG) 6000 [J]. *African Journal of Microbiology Research*, 2011, 5(4): 365-373.
- [22] FARQUHAR G D, SHARKEY T D. Stomatal Conductance and Photosynthesis [J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982, 33(1): 317-345.

- [23] BOHRER K E, FRIESE C F, AMON J P. Seasonal Dynamics of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Differing Wetland Habitats [J]. *Mycorrhiza*, 2004, 14(5): 329–337.
- [24] 刘锦春, 钟章成. 水分胁迫和复水对石灰岩地区柏木幼苗根系生长的影响 [J]. *生态学报*, 2009, 29(12): 6439–6445.
- [25] 刘锦春. 重庆石灰岩地区柏木幼苗对水分胁迫的生理生态适应性研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [26] CHEN J W, QIANG Z, LI X S, et al. Gas Exchange and Hydraulics in Seedlings of *Hevea Brasiliensis* During Water Stress and Recovery [J]. *Tree Physiol*, 2010, 30(7): 876–885.
- [27] BIRHANE E, STERCK F J, FETENE M, et al. Arbuscular Mycorrhizal Fungi Enhance Photosynthesis, Water Use Efficiency, and Growth of Frankincense Seedlings under Pulsed Water Availability Conditions [J]. *Oecologia*, 2012, 169(4): 895–904.
- [28] RUIZ-LOZANO J M, PORCEL R, AROCA R. Does the Enhanced Tolerance of Arbuscular Mycorrhizal Plants to Water Deficit Involve Modulation of Drought-Induced Plant Genes? [J]. *New Phytologist*, 2006, 171(4): 693.
- [29] CARVALHO L M, CORREIA P M, CACADOR I, et al. Effects of Salinity and Flooding on the Infectivity of Salt Marsh Arbuscular Mycorrhizal Fungi in *Aster Tripolium*, L [J]. *Biology & Fertility of Soils*, 2003, 38(3): 137–143.

## Effects of AM Fungi on Photosynthetic Capacity of *Lonicera Hypoglanca* under Dry and Wet Alternation in Southwest Karst Area

ZHANG Jing<sup>1</sup>, SONG Hai-yan<sup>1</sup>, ZHAO Ya-jie<sup>1</sup>,  
MA Ye<sup>2</sup>, LI Zhou<sup>1</sup>, LIU Jin-chun<sup>1</sup>

1. Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education), Chongqing Key Laboratory of Plant Ecology and Resources Research in Three Gorges Reservoir Region, School of Life Sciences, Southwest China University, Chongqing 400715, China;  
2. Danyi Middle School, Sichuan 611330, China

**Abstract:** Plants growing in the karst region of southwest China are frequently subjected to drought and repeated dry and wet alternating water habitat because of shallow soil, high rate of naked rock and frequent precipitation led by global climate. AM fungi can improve the tolerance of host plants to drought. However, it is not known whether AM fungi stimulate the tolerance of host plants to dry and wet alternation. On the other hand, photosynthesis is the basis of plant physiological processes and life activities, and is highly sensitive to changes of the external environment. Therefore, it is very necessary to explore the photosynthetic response of plants to frequent alternation of drying and wetting in vulnerable karst vegetation. In this study, we observed the effects of AM fungi on the photosynthetic capacity of *Lonicera hypoglanca* in different water treatments by indoor pot experiment. The results show that the net photosynthetic rate ( $P_n$ ), transpiration rate ( $Tr$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ) and stomatal density of *Lonicera hypoglanca* were promoted by AM fungi under normal water condition. Under the condition of short-term drought,  $P_n$  and  $Tr$  were not significantly affected by AM fungi. However, with the prolongation of drought time,  $P_n$  and water use efficiency ( $WUE_i$ ) were significantly increased, while  $G_s$  and  $Tr$  were declined. In the short-term dry and wet alternation, the photosynthetic indexes were not promoted by inoculation of AM fungi. However, in long-term dry and wet alternation,  $P_n$  and  $Tr$  were inhibited, but  $WUE_i$  was stimulated by sacrificing plants photosynthesis. In conclusion, the effects of inoculation of fungi on  $P_n$  of *Lonicera hypoglanca* under normal water supply were the most obvious. AM fungi also had a positive effect under drought conditions. However, in the face of repeated dry and wet alternation, the inoculation of fungi had no obvious effects on photosynthetic capacity of *Lonicera hypoglanca*.

**Key words:** AM fungi; karst; dry and wet alternate; *Lonicera hypoglanca*; photosynthesis

责任编辑 周仁惠