

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.03.020

微生物境改良对太行山干瘠山地沙地柏生长的影响

王 玥, 裴顺祥, 辛学兵*, 郭 慧, 吴 莎, 吴 迪

(中国林业科学研究院华北林业实验中心, 北京 102300)

摘要: [目的] 探究太行山干瘠山地植被恢复技术。[方法] 采用人工模拟土层厚度 15 cm 条件下, 以耐瘠薄植物沙地柏为研究对象, 结合不同微生物境改良技术, 研究不同微生物境改良措施下沙地柏生长、叶绿素含量、露点水势及生物量分配情况。[结果] 株高增长量中, 石块覆盖 (ST)、塑料地膜覆盖 (DM)、液态地膜覆盖 (YM)、菌根处理 (JG)、枯落物覆盖 (KL) 均显著高于对照 (CK), 且分别比 CK 高 385.75%、403.03%、1 330.00%、1 490.00%、1 533.00%; 冠幅增长量中, ST、DM、JG、KL 处理均显著高于 CK 处理, 且分别比 CK 处理高 185.03%、160.36%、239.80%、161.67%; 7 月 ST 处理主根长度显著高于 JG, 10 月 DM、KL 处理显著高于 JG; 不同微生物境改良处理对沙地柏叶片叶绿素含量产生影响, 且 ST、YM、JG 和 DM、KL 分别在 2016 年 7 月和 2017 年 6 月显著高于 CK; 相对于 CK 处理, 除 4 月外, 不同月份微生物境改良会增加沙地柏叶片露点水势, 且各处理间大部分不显著, 仅 7 月份 ST 处理显著低于 DM、JG、KL; 不同处理对沙地柏地上、地下生物量积累产生的影响不同, 且 JG 处理影响最显著; 不同处理对沙地柏生物量分配的影响随时间变化, 其中, 10 月 ST 处理下的地上/地下干质量比显著高于 YM、KL, 且 CK 显著高于 KL, 第二年 6 月 KL 显著高于 CK、DM, 其他月份各处理间无显著性差异。[结论] 微生物境改良技术可以在不同程度上显著提高太行山干瘠山地沙地柏株高、冠幅、叶片叶绿素含量、叶片露点水势、地上和地下生物量积累; 通过对比不同微生物境改良技术, 发现菌根处理明显优于其他微生物境改良技术; 建议在太行山土壤厚度为 15 cm 的干瘠山地开展以沙地柏为植物材料的植被恢复时, 应结合菌根处理微生物境改良技术, 可有效提高植被恢复的成效。

关键词: 太行山干瘠山地; 微生物境改良; 沙地柏; 生长

中图分类号: S278

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2020)03-0156-08

太行山是我国北方一个典型的干旱瘠薄山地, 它以石质山地为主, 主要特点是山峦起伏、沟谷纵横、降水分布不均、旱灾较多、土壤贫瘠、植被稀少^[1]。自上世纪 50 年代开始, 太行山植被恢复, 森林覆盖率由 13.1% 提高到 34.0% (<http://www.forestry.gov.cn/main/419/content-818527.html>), 为京津冀生态安全提供了有力保障, 但为了满足人民对美好生态环境的向往, 太行山森林覆盖率亟待进一步提高。国家从“六五”到“十二五”时期, 开展了一系列的太行山植被恢复技术研究, 提出了一批太行山困难立地植被恢复技术^[2-4], 但对于土层厚度

在 15 cm 以内的困难立地植被恢复技术还比较缺乏, 且太行山区当前土层厚度小于 15 cm 的干瘠山地为水土流失关键区域, 亟待攻克其植被恢复技术。

生境, 即具体生物个体和群体生活地段上的环境, 也是对生物起作用的生态因子的综合^[5]。植物微生物境改良就是对植物周围的小生境进行改良, 使生境条件更适合植物的生长、发育和繁殖。前人对生境改良在困难立地植被恢复中的应用方面开展了大量的研究, 并得出一些关键结论和实用技术。研究发现, 有机物覆盖可以改善土壤的温湿度和肥力^[6], 石块覆盖^[7]、塑料地膜^[8]、液体地膜^[9]及菌

收稿日期: 2019-12-03 修回日期: 2020-03-31

基金项目: “十二五”农村领域国家科技支撑项目 (2015BAD07B0202)

* 通讯作者: 辛学兵 (1967-), 男, 博士, 副研究员, 硕士生导师。研究方向: 生态系统结构与功能。电话: 010-69843002 Email: xinxb01@163.com

根^[10]等会有效减少土壤水分蒸发, 改善土壤温度、湿度、肥力, 提高植物存活率, 促进植物生长。

沙地柏 (*Sabina vulgaris* Ant), 又名臭柏、叉子圆柏等, 属柏科圆柏属, 常绿匍匐针叶灌木, 少数为直立灌木或小乔木, 是重要的针叶兼性克隆植物, 主要分布于温带大陆性干旱、半干旱区的山地和沙地区^[11-12]。沙地柏以其优良的生长繁殖特性^[11], 强大的抗旱固沙能力^[13-14], 对土壤适应性强^[15]及显著的土壤改良能力^[16-17], 成为近年来植被恢复、环境绿化的重要植物种类之一。基于此, 本研究采用人工模拟土层厚度 15 cm 条件下, 结合不同微生境改良技术, 研究微生境改良对沙地柏生长特性、叶绿素含量变化、露点水势及生物量的影响, 筛选出适宜于太行山土层厚度 15 cm 干瘠山地的植被恢复技术, 为太行山干瘠山地植被恢复提供技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 研究地概况

模拟试验地位于北京市门头沟区中国林业科学研究院华北林业实验中心 (39.97° N, 116.09° E), 该区域属于太行山低山丘陵区, 海拔 100 ~ 997 m, 为暖温带大陆半湿润季风气候, 年均气温 11.8℃, 年均降水量 623 mm, 主要集中在 6—9 月; 年均蒸发量 1 870 mm, 无霜期 216 d 左右; 土壤类型属于山地褐土, 土层普遍较薄, 石砾含量高, 具有华北石质山区典型的地形地貌、土壤和气候条件及区域代表性地带植被类型, 是华北石质山区的典型代表^[18]。

1.2 试验设计

2016 年 3 月初, 采集华北林业实验中心生长状态良好且具有同质性的 1 年生沙地柏扦插苗若干; 为模拟太行山干瘠山地环境, 采集了北京市九龙山海拔低于 450~500 m 的阳坡原状土, 并设计土层厚度为 15 cm 作为移植苗的土壤。该地土壤类型属于山地粗骨褐土, 土层较薄, 水土流失严重, 有机质含量低, 石砾含量高 (约为 30~60%), pH 为 6.85~7.70, 呈弱碱性^[19]。移植时均使用 ABT 生根粉进行沾根处理。扦插苗经过缓苗期生长后, 分别进行对照 (CK)、石块覆盖 (ST)、塑料地膜覆盖 (DM)、液态地膜覆盖 (YM)、菌根处理 (JG) 及枯落物覆盖 (KL) 共 6 种实验处理, 其中, 石块覆盖 (ST), 选取直径约 3~

5 cm 的石块, 均匀覆盖 1 层于土壤表层; 塑料地膜 (DM), 采购北京市农贸市场常见的塑料地膜, 铺在土壤表面 1 层; 液态地膜 (YM), 按照操作说明将液态地膜 (博龙禾美特) 均匀喷洒于土壤表面; 菌根处理 (JG), 接种菌根来自于中国林业科学研究院林木菌根研发中心, 先将菌根制剂倒入容器内, 再加入 1~2 倍菌剂体积的细黄土, 混合均匀, 再向其中加入清水, 边加边搅拌, 使其成为有一定粘稠度的泥浆, 然后将修剪后的苗根蘸粘泥浆后栽植。枯落物覆盖 (KL), 其枯落物主要成分组成为栓皮栎、油松混合叶子, 厚度 3 cm, 均匀铺在土壤表层。每处理 3 个重复, 每重复 30 棵扦插苗。试验于 2016 年 7 月开始测定沙地柏生长生理性指标。

1.3 测定指标

2016 年 7—10 月, 2017 年 3—9 月, 每隔 3 个月选取不同处理的 3 株扦插苗, 采用钢尺 (精确到 0.1 cm) 测定沙地柏株高、冠幅、主根长。另选不同处理的 3 株扦插苗, 采用 SPAD502 叶绿素测定仪 (日本) 测定沙地柏扦插苗叶绿素含量。

2016 年 9、12 月, 2017 年 4、7 月, 于晴天早上 9 点, 选取不同处理的 3 株扦插苗, 采用 PSYPRO 露点水势仪 (美国) 测定沙地柏露点水势。

2016 年 10 月, 2017 年 3—9 月, 每隔 3 个月选取不同处理的 3 株扦插苗, 装入塑料袋中立即带回实验室。采用电子天平分别测定地上和地下鲜质量, 后 105℃ 高温杀青 0.5 h, 80℃ 下烘干至恒质量, 采用电子天平称质量, 分别测定地上和地下干质量。

1.4 数据分析

采用 Excel (Microsoft 2016) 和 SPSS (20.0) 统计分析软件进行数据处理分析, 采用单因素方差 (One-way ANOVA) 分析法分析不同测定指标间的差异性, 采用最小显著性差异法 (LSD) 检验不同测定指标间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 微生境改良对沙地柏生长的影响

对不同微生境改良下的沙地柏株高和冠幅进行单因素方差分析和多重比较, 图 1 表明: 株高增长量中, ST、DM、YM、JG、KL 处理均显著高于

CK, 且分别比CK高385.75%、403.03%、1330.00%、1490.00%、1533.00%, 故ST、DM、YM、JG、KL均对沙地柏株高生长有显著影响, 而各处理间并无显著差异。冠幅增长量中, ST、DM、JG、KL处理均显著高于CK处理, 且分别比CK处理高185.03%、160.36%、239.80%、161.67%, YM与各处理及对照间无显著差异; 故ST、DM、JG、KL这四种处理对沙地柏冠幅增长有显著影响, 且各处理间增长量无显著差异。

对不同微生境改良下的沙地柏主根长进行单因素方差分析和多重比较, 图2表明: 不同微生境改良处理对沙地柏主根长度产生影响, 且影响程度随时间的变化而变化, 具体表现为: 2017年3、6、9月各处理间无显著差异。2016年7月ST处理下的沙地柏主根长显著高于JG处理, 且比JG高345.28%, JG处理最短; 2016年10月DM、KL处理显著高于JG处理, 且比JG高108.58%、100%, JG处理仍最短。

2.2 微生境改良对沙地柏叶绿素含量的影响

对不同微生境改良下的沙地柏叶绿素含量进行单因素方差分析和多重比较, 图3表明: 不同微生境改良处理对沙地柏叶片的叶绿素含量产生影响, 且影响程度随时间变化而变化, 具体表现为, 2016年10月、2017年3、9月各处理间无显著差异; 2016年7月, YM、ST处理显著高于CK、DM处理, 且分别比CK、DM处理高65.09%、49.79%和62.50%、47.44%; JG显著高于CK, 且比CK高44.14%。2017年6月, DM、KL处理显著高于CK、ST处理, 且分别比CK、ST处理高93.01%、219.68%和144.90%、305.62%; 同时, YM、JG处理下的沙地柏叶片叶绿素含量分别显著高于ST处理175.93%、187.50%。

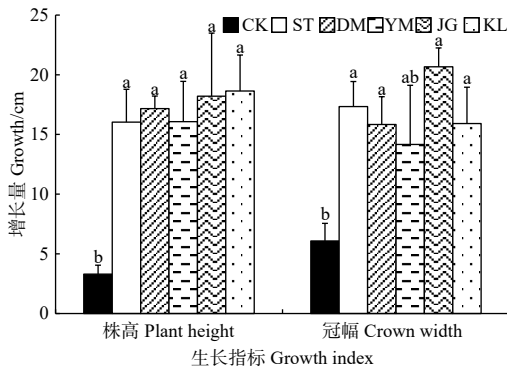


图1 微生境改良对沙地柏株高和冠幅增长量影响

Fig. 1 Effect of microhabitat improvement on plant height and crown growth of *S. vulgaris*

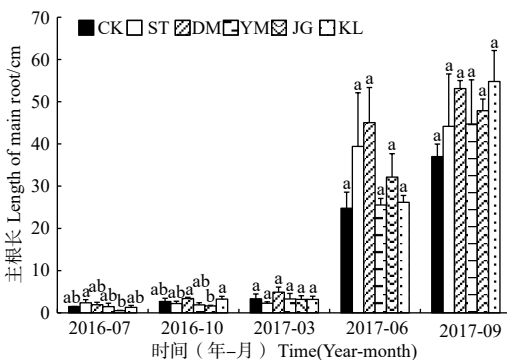


图2 微生境改良对沙地柏主根长影响

Fig. 2 Effect of microhabitat improvement on main root length of *S. vulgaris*

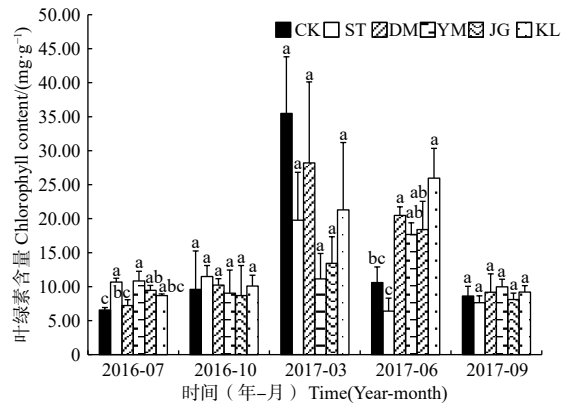


图3 微生境改良对沙地柏叶片叶绿素含量影响

Fig. 3 Effect of microhabitat improvement on chlorophyll content of *S. vulgaris*

2.3 微生境改良对沙地柏露水势的影响

对不同微生境改良下的沙地柏露水势进行单因素方差分析和多重比较, 图4表明: 不同微生境改良处理对沙地柏叶片露水势产生影响, 且影响程度随时间变化而变化, 具体表现为, 2017年4月各处理间沙地柏露水势无显著差异; 2016年9月CK处理下的沙地柏露水势均显著低于其他处理, 且分别比ST、DM、YM、JG、KL处理低73.03%、59.55%、66.85%、53.93%、80.89%; 2016年12月CK处理下的沙地柏露水势均显著低于DM、YM、JG处理, 且分别比DM、YM、JG处理低71.22%、67.45%、75.94%; 2017年7月CK处理下的沙地柏露水势均显著低于DM、YM、JG、KL处理, 且分别比DM、YM、JG、KL处理低60.35%、57.39%、82.84%、

92.89%; ST处理下的沙地柏露点水势显著低于DM、JG、KL处理, 且分别比DM、JG、KL处理下的低59.39%、82.42%、92.72%。

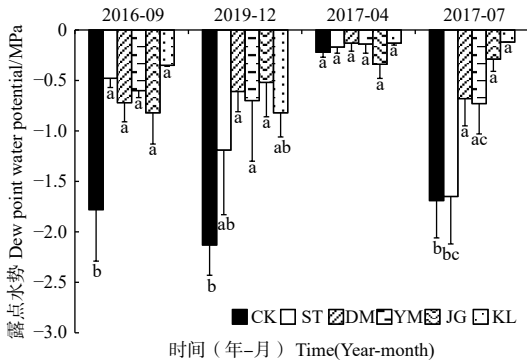


图4 微生境改良对沙地柏露点水势影响

Fig. 4 Effect of microhabitat improvement on dew point water potential of *S. vulgaris*

2.4 微生境改良对沙地柏生物量分配的影响

对不同微生境改良下的沙地柏干质量和鲜质量增量进行了单因素方差分析和多重比较, 表1表明: 不同微生境改良对沙地柏干、鲜质量增量分别有不同影响, 且JG处理增量最显著。具体表现

为, JG处理下的沙地柏地上干、鲜质量增量均显著高于CK、YM处理, 分别比CK、YM处理高115.36%、110.12%、147.40%、144.78%; JG处理下的沙地柏地下干、鲜质量的增加量均显著高于CK、ST、DM、YM处理, 且分别高126.38%、125.62%、149.77%、174.42%、122.59%、136.00%、158.25%、137.90%。

对不同微生境改良下的沙地柏地上干质量与地下干质量比值进行单因素方差分析和多重比较, 表2表明: 不同微生境改良处理对沙地柏地上干质量和地下干质量分配产生影响, 且影响程度随时间变化而变化。具体表现为, 2017年3、9月各处理间沙地柏地上干质量与地下干质量比值无显著性差异; 2016年10月ST处理的地上/地下比显著高于YM、KL处理, 且分别比YM、KL处理高40.90%、56.42%; 同时, CK处理显著高于KL处理, 且比KL处理高46.33%。2017年6月, KL处理下的沙地柏地上干质量与地下干质量比值显著高于CK、DM处理, 且分别比CK、DM处理高45.42%、48.56%。

表1 微生境改良对沙地柏生物量增量影响

Table 1 Effects of microhabitat improvement on biomass growth of *S. vulgaris*

处理 Treatments	地上干质量增量/g Increase in the quality of dry matter on the ground	地下干质量增量/g Increase in the quality of underground dry matter	地上鲜质量增量/g Increase in the quality of fresh matter on the ground	地下鲜质量增量/g Increase in the quality of underground fresh matter
CK	14.13±3.67b	2.35±1.19b	34.60±8.79b	5.23±2.49b
ST	15.80±5.43ab	2.13±0.57b	36.92±12.97ab	4.30±1.24b
DM	21.83±2.65ab	2.39±0.12b	52.60±7.35ab	5.00±0.30b
YM	12.30±0.15b	2.06±0.39b	29.70±0.73b	4.96±0.85b
JG	30.43±9.59a	5.32±1.11a	72.70±23.69a	11.80±2.40a
KL	26.03±0.12ab	3.37±0.67ab	65.50±1.90ab	7.53±1.49ab

注: 表中数据为矫正均值±标准误, 不同字母表示0.05水平上差异显著(下同)。

Notes: The data in the table is corrected mean ± standard error, different letters indicate significant difference at 0.05 level. (The same below).

表2 微生境改良对沙地柏生物量分配比值影响

Table 2 Effects of microhabitat improvement on biomass allocation ratio of *S. vulgaris*

处理 Treatments	地上/地下(干)Ground dry matter weight divided by underground dry matter weight			
	2016-10	2017-03	2017-06	2017-09
CK	3.19±0.09ac	2.19±0.34a	2.84±0.01b	5.47±1.17a
ST	3.41±0.51a	2.03±0.32a	3.12±0.11ab	5.97±0.70a
DM	2.89±0.44ab	2.99±0.27a	2.78±0.32b	7.02±0.94a
YM	2.42±0.06bc	2.29±0.16a	3.11±0.59ab	5.05±0.71a
JG	2.71±0.18ab	2.35±0.14a	3.49±0.68ab	5.01±0.69a
KL	2.18±0.25b	2.31±0.57a	4.13±0.13a	6.79±0.94a

3 讨论

3.1 微生境改良对沙地柏生长影响

植物的生长、发育、繁殖都与其所在的生境紧密相关。株高、冠幅、根系等参数可以反映生境条件变化对植株变化的影响程度。覆盖保墒措施(石块覆盖、塑料地膜覆盖、枯落物覆盖)能有效减少土壤水分蒸发、蓄水保土、增加土壤温湿度、养分等, 对土壤改良和促进植被生长有重要影响^[20-21]。除此之外, 菌根处理技术能增加植物对氮等营养元素的吸收而促进植物生长^[22], 对土壤结构的改善和

退化系统的修复有很有效的作用。本研究中, ST、DM、YM、JG、KL 处理的沙地柏株高增量均显著高于 CK 处理, 且 ST、DM、JG、KL 处理的沙地柏冠幅增加量显著高于 CK 处理下的, 说明了 ST、DM、YM、JG、KL 这 5 种微生境改良处理能明显促进的沙地柏株高的增长, 而 ST、DM、JG、KL 处理能明显促进沙地柏冠幅的增长, 与前人研究结果相同。

植物根系直接影响植物的潜在吸水能力^[12]。何维明研究认为, 沙地柏根系对水分的敏感度高于其茎叶, 且水分利用率越高沙地柏植株对根系部分的资源投资量越多^[23], 即水分利用率越高沙地柏的根系长度会随之增长。本研究发现, 2016 年 7、10 月 JG 处理的沙地柏主根长分别显著低于 ST 和 DM、KL, 这可能是在生长前期, ST、DM、KL 处理主要侧重于保持土壤水分, 使主根长随水分利用效率的增高而增加; 而 JG 侧重于“养护”植株根系, 通过增强根系对水分和营养的吸收能力保证植物生长^[24], 因而, 主根长度无明显增长。其他处理的沙地柏在没有菌根“养护”的情况下不得不再为了更多的吸收水分而增加其主根的长度, 这也是植物对干旱贫瘠土壤环境一种适应性生长的表现^[25]。

3.2 微生境改良对沙地柏叶绿素含量影响

叶绿素是植物含有特化的可以吸收光能的一种绿色色素^[26], 沙地柏叶绿素含量与其光合能力和生长状况密切相关, 是评价其光合能力强弱、营养生理状况和衰老程度的重要指标^[27]。李玉灵等研究得出, 5—7 月沙地柏在水分胁迫环境下叶绿素含量随胁迫程度增大而减小^[28]。本研究中, CK 处理下的沙地柏叶绿素含量在生长季显然比其他处理下的低, 这可能是因为相比于其他微环境改良处理, 自然状态下干瘠土壤水土流失严重, 在其上生长的沙地柏受水分胁迫较严重, 导致叶绿素含量显著低于其他处理。此外, 植物的叶绿素含量受植物自身和其生境共同影响^[29]。有研究表明, DM 处理保水作用在沙地柏生长季有利于植物生长和根部吸水, 光合作用增强, 叶绿素含量显著上升^[30]。本研究发现, 2017 年 6 月 DM 处理下的叶绿素含量显著高于 CK、ST。此外本研究还发现, KL 处理也会显著增加沙地柏叶绿素含量, 这可能是因为枯落物覆盖会增加土壤养分^[31], 直接影响植物吸收养分, 进而影响叶绿素合成。ST 处理在前期对沙地柏叶绿

素含量有提高作用, 但第二年 3 月之后含量下降, 这可能是因为前期石块覆盖对土壤的保水控温有很好的作用, 有利于沙地柏叶绿素的合成, 但是单一石块覆盖对后期土壤养分的提高并无有利作用^[21]。

3.3 微生境改良对沙地柏露点水势影响

植物露点水势与土壤含水量有关, 土壤水分充足, 植物露点水势变化较平缓, 随着土壤干旱胁迫的进一步发展, 植物露点水势会急剧下降, 以便形成植物水势和土壤水势较大的水势梯度, 这样有利于植物从土壤中吸收水分, 这也是植物适应干旱胁迫的表现^[32]。沙地柏自身的束缚水与自由水值高, 其叶片水势较其他不耐旱的植物低, 气孔密度大且调节能力强, 使之蒸腾速率低, 因而, 有很强的抗旱性和耐瘠薄能力^[13, 33]。本研究中, 2016 年 9、12 月其他微生境改良处理下的沙地柏露点水势均高于 CK 处理下的沙地柏露点水势, 这可能是相较于 CK 处理, ST、DM、YM、JG、KL 处理均能从不同程度上减少土壤水分蒸发, 提高了干瘠土壤的含水量, 使其露点水势显著高于生长于干瘠土壤的沙地柏。

3.4 微生境改良对沙地柏生物量分配影响

植物生物量配置格局的改变和反馈对植物的生态适应策略、群落功能特征和繁殖更新模式有很大作用, 有重要的生态学和进化意义^[34]。研究认为, 覆盖保墒措施和菌根处理技术能减少土壤水分蒸发、蓄水保土, 从而减轻干旱胁迫, 促进植物生长。在本研究中, JG 处理对沙地柏的生物量积累有显著增加作用, 这是因为 JG 处理是利用菌根真菌侵染植物营养根从而形成的菌根共生体来促进宿主植物根系生长和改变根际微生态, 增强植物对 N、P、K 等元素和水分的吸收利用, 促进植物的生长^[35-38], 从而减轻干瘠土壤干旱和缺肥的胁迫; 同时, JG 处理能够显著降低土壤 pH, 提高土壤有机质含量, 改善根际土壤质量, 改善退化土地状况^[39]。YM 处理对于生物量累积比 CK 处理的低, 可能是因为前期液态地膜覆盖下的沙地柏茎叶生长状态好于对照组, 蒸发量大, 而在后期受降水影响, 液态地膜逐渐分解, 减少水分蒸发量效果逐渐减弱, 而使得后期液态地膜覆盖下的沙地柏水分蒸发量大于对照组, 降低了沙地柏体内水分含量以及土壤水分含量, 从而减弱沙地柏光合作用, 影响生物量累积。

植物地下部分和地上部分生物量之比是光合产物在植株个体器官分配的重要体现^[40], 研究表明, 当植物处于养分受限胁迫状态时, 植物往往会增加地下根系的光合产物分配; 而当来自于地上的光照、温度等生境因素对植物生长起到限制作用时, 植物则倾向于将生物量分配到植株地上器官的生长^[41]。本研究中, 不同微生境改良可以缓解由于时间变化使生境条件的变化带来的地上地下生物量分配变化趋势, 如 2017 年 3 月的 KL、DM 处理, 比值不因低温干旱下降反而由于保墒处理上升; 在雨水较充沛的时期, KL 处理对干瘠土壤的水土保持效果较好, 土壤含水率较高, 促使沙地柏光合作用产物大幅度向地上器官的分配。根据表 2, JG 处理下的干质量比值达到一个最优平衡分配值, 这充分说明菌根处理对干瘠土壤沙地柏生物量积累的促进作用, 与童琳等研究的结果基本相同^[42]。

不同微生境改良对太行山干瘠山地沙地柏生长造成不同影响, 而石块覆盖的比例, 塑料地膜和液态地膜处理的最适时间, 菌根的浸染率与枯落物的覆盖厚度对沙地柏生长的影响还需进一步探究, 这几种微生境改良在实地进行植被恢复时的经济成本也需进一步探究。

4 小结

(1) 石块覆盖 (ST)、塑料地膜覆盖 (DM)、菌根处理 (JG)、枯落物覆盖 (KL) 显著影响沙地柏株高和冠幅生长; 液态地膜覆盖 (YM) 仅影响沙地柏株高生长; 沙地柏主根生长前期, ST、DM、KL 处理的主根长度显著高于 JG 处理; 在沙地柏 2016 年生长季 7 月, ST、YM、JG 显著影响沙地柏叶绿素含量, 2017 年 6 月 DM、KL 显著影响叶绿素含量, 同时 ST 处理叶绿素含量显著降低; 微生境改良技术均能在 2016 年 9、12 月、2017 年 7 月以不同程度显著提高干瘠山地沙地柏露点水势, DM、JG、KL 表现优异, ST 处理后期显著降低; JG 处理显著促进沙地柏生物量积累, 且使地上地下生物量分配平衡。

(2) 通过对比不同微生境改良技术, 本研究发现, 菌根处理明显优于其他微生境改良技术。建议在太行山土壤厚度为 15 cm 的干瘠山地开展以沙地柏为植物材料的植被恢复时, 应结合菌根处理微生境改良技术, 可有效提高植被恢复的成效。

参考文献:

- [1] 中国林业科学研究院林业研究所. 太行山适地适树与评价 [C]. 北京: 中国林业出版社, 1993.
- [2] 张明如, 翟明普, 王学勇. 太行山低山丘陵区植被恢复构建的生态对策和途径 [J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(2): 75-81.
- [3] 曾歆花, 张万军, 等. 河北太行山低山丘陵区植被恢复过程中物种多样性与土壤养分变化 [J]. 生态学杂志, 2013, 32(4): 852-858.
- [4] 程 达, 刘海翔, 王 锦, 等. 太行山片麻岩区 4 种立地类型物种多样性及植被恢复技术研究 [J]. 河北林果研究, 2016(3): 217-224.
- [5] 李俊清, 牛树奎, 刘艳红. 森林生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [6] 潘开文, 何 静, 吴 宁. 森林凋落物对林地微生境的影响 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(1): 153-158.
- [7] 包维楷, 陈庆恒, 陈克明. 岷江上游干旱河谷植被恢复环境优化调控技术研究 [J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 542-544.
- [8] Karp K. Influence of foliar fertilization on the yield of arctic bramble (*Rubus arcticus* L.) in plantations with plastic mulch [J]. *Agronomy*, 2000: 52-55.
- [9] 赵爱琴, 李子忠, 龚元石. 生物降解地膜对玉米生长的影响及其田间降解状况 [J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(2): 74-78.
- [10] 王 瑾, 毕银丽, 邓穆彪, 等. 丛枝菌根对采煤沉陷区紫穗槐生长及土壤改良的影响 [J]. 科技导报, 2014, 32(11): 26-32.
- [11] 张国盛, 董 智, 王林和. 臭柏生物生态学特性及生长繁殖研究综述 [J]. 内蒙古林学院学报, 1997(2): 69-75.
- [12] 何维明. 不同生境中沙地柏根面积分布特征 [J]. 林业科学, 2000, 36(5): 17-21.
- [13] 苏世平, 席艳芸, 张继平, 等. 沙地柏抗旱性的研究 [J]. 防护林科技, 2008(4): 3-5.
- [14] 温国胜, 张明如, 张国盛, 等. 干旱条件下臭柏的生理生态对策 [J]. 生态学报, 2006, 26(12): 4059-4065.
- [15] 刘怀德, 冯京华. 沙地柏繁殖与 ABT 生根粉 [J]. 植物杂志, 1994(1): 31-32.
- [16] 郭爱莲, 朱志诚. 臭柏林表土层微生物区系组成研究 [J]. 西北大学学报: 自然科学版, 1992, 22(4): 445-450.
- [17] 红 雨, 王林和. 臭柏群落演替过程中土壤环境的变 [J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(11): 155-159.
- [18] 杜满义, 封焕英, 张连金, 等. 华北石质山区不同植被恢复类型土壤碳、氮特征 [J]. 生态学杂志, 2018, 37(6): 1849-1855.
- [19] 兰再平. 北京九龙山地区的植被及其对生境类型的指示意义 [J]. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 13(3): 64-75.
- [20] 王斌瑞, 罗彩霞, 王克勤. 国内外土壤蓄水保墒技术研究动态 [J]. 世界林业研究, 1997(2): 37-43.
- [21] 贺艳萍, 李新平, 郭晋平. 覆盖保墒技术的研究进展 [J]. 山西林业科技, 2008(1): 39-41, 44.
- [22] 王桂君, Ohsowoski B, Klironomos J, 等. 菌根菌剂及土壤改良剂对退化生态系统的修复潜能分析 [J]. 生态经济 (中文版), 2014, 30(7): 179-184.
- [23] 何维明. 水分因素对沙地柏实生苗水分和生长特征的影响 [J]. 植物生态学报, 2001, 25(1): 11-16.

- [24] Gholamhoseini M, Ghalavand A, Dolatabadian A, *et al.* Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress[J]. *Agricultural Water Management*, 2013, 117: 106-114.
- [25] Sieverding E. Influence of Soil Water Regimes on VA Mycorrhiza IV. Effect on Root Growth and Water Relations of Sorghum Bicolor[J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2008, 157 (1) : 36-42.
- [26] 宋纯鹏, 王学路, 等译. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [27] Noomen M F, Smith K L, Colls J J, *et al.* Hyperspectral indices for detecting changes in canopy reflectance as a result of underground natural gas leakage[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, 29(20): 5987-6008.
- [28] Li Y L, Zhu F, Wang J G, *et al.* Seasonal changes of photosynthetic characteristics and pigment composition of *Sabina vulgaris* Ant. under water stress[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(8): 4346-4352.
- [29] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012.
- [30] 张巨琼, 蒯海明, 林楠. 覆盖对枸杞硬枝扦插苗生长势及叶绿素含量的影响[J]. *中药材*, 2011, 34(7): 7-10.
- [31] 郭鑫, 卢立娜, 贺晓辉, 等. 毛乌素沙地人工固沙灌木林凋落物分解及改良土壤的研究[J]. *林业资源管理*, 2014(5): 74-78.
- [32] 李吉跃, 张建国. 北方主要造林树种耐旱机理及其分类模型的研究(I)--苗木叶水势与土壤含水量的关系及分类[J]. *北京林业大学学报*, 1993(3): 1-11.
- [33] 赵娜, 古松, 刘龙会, 等. 沙地柏(*Sabina vulgaris* Antoine)的研究进展[J]. *内蒙古农业大学学报:自然科学版*, 2010, 31(1): 311-318.
- [34] 宋清华. 高寒退化草地西北针茅生物量分配和根系功能性状的环境适应性[D]. 甘肃兰州: 西北师范大学, 2016.
- [35] 马坤, 杨建军, 李璐, 等. 接种丛枝菌根真菌后干旱胁迫对木棉根区土壤和体内养分的影响[J]. *中南林业科技大学学报*, 2017, 37(11): 90-95.
- [36] 弓明钦, 陈应龙, 仲崇禄. 菌根研究及其应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1997.
- [37] Graham J H, Linderman R G, Menge J A. Development of external hyphae by different isolates of mycorrhizal *Glomus* spp. in relation to root colonization and growth of troyer citrange[J]. *New Phytologist*, 1982, 91(2): 183-189.
- [38] Heidari M, Karami V. Effects of different mycorrhiza species on grain yield, nutrient uptake and oil content of sunflower under water stress[J]. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 2014, 13(1): 9-13.
- [39] 张艳, 王冬梅, 王国, 等. 丛枝菌根真菌对植被恢复的作用[J]. *湖南农业科学*, 2010(24): 36-37, 39.
- [40] 耿浩林, 王玉辉, 王凤玉, 等. 恢复状态下羊草(*Leymusch inensis*)草原植被根冠比动态及影响因素[J]. *生态学报*, 2008, 28(10): 4629-4634.
- [41] Bloom AJ, Chapin FS, Mooney HA. Resource limitation in plants-an economic analogy[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1985, 16: 363-392.
- [42] 童琳, 唐旭利, 张静, 等. 菌根真菌侵染对植物生物量累积的影响[J]. *生态环境学报*, 2014, 23(9): 1520-1525.

Effects of Microhabitat Improvement on the Growth of *Sabina vulgaris* in the Arid and Barren Mountainous Area of Taihang Mountains

WANG Yue, PEI Shun-xiang, XIN Xue-bing, GUO Hui, WU Sha, WU Di

(Experimental Centre of Forestry in North China, Chinese Academy of Forestry, Beijing 102300, China)

Abstract: [Objective] To explore the vegetation restoration technology in the arid mountainous area of Taihang Mountains. [Method] On the plot with artificially simulated soil layer of 15 cm in thickness, the growth, chlorophyll content, dew point water potential and biomass allocation of *Sabina vulgaris*, a barren tolerant plant, were studied in combination with different microhabitat improvement measures, i.e. stone mulching (ST), plastic film mulching (DM), liquid film mulching (YM), mycorrhizal fungi treatment (JG), litterfall mulching (KL) and the control (CK). [Result] The increment of tree height were 385.75%, 403.03%, 1 330.00%, 1 490.00%, and 1 533.00% higher than the CK under ST, DM, YM, JG, and KL respectively. The increment of crown growth under ST, DM, JG, and KL were 185.03%, 160.36%, 239.80%, and 161.67% higher than the CK. The length of main root under ST treated in July was longer than JG, and under DM and KL in October was longer than JG. Different microhabitat improvement treatments affected the chlorophyll content in *S. vulgaris* leaves, and the effect of DM, KL, YM, and ST treated in June and July were significantly higher than the CK. Compared with the CK, microhabitat improvement measures would increase the dew point water potential of *S. vulgaris* leaves all the year round except April, and no significant difference was found in effects among various treatments. But it was observed that the effect of ST treated in July was significantly lower than DM, JG, and KL. Various treatments differed in the effect on the accumulation of aboveground and underground biomass of *S. vulgaris*, among which the JG had the most significant impact. The effects of various treatments on the biomass distribution of *S. vulgaris* varied with time. Among them, the dry weight ratio of aboveground and underground biomass under ST in October was significantly higher than under YM and KL, and the CK was significantly higher than KL. In June of next year, the dry weight ratio of aboveground and underground biomass under KL was significantly higher than CK and DM, while no significant difference was found among treatments in other months. [Conclusion] Microhabitat improvement measures can significantly increase the height, canopy width, leaf chlorophyll content, leaf dew point water potential, and aboveground and underground biomass of *S. vulgaris* in the dry and barren mountainous area of the Taihang Mountains. By comparing various microhabitat improvement measures, it is found that the effect of mycorrhizal fungi treatment is significantly better than the others. It is suggested the mycorrhizal fungi treatment should be adopted when carrying out vegetation restoration using *S. vulgaris* in arid mountains with a soil thickness of 15 cm in the Taihang Mountains.

Keywords: drought and barren land in Taihang Mountains; microhabitat improvement; *Sabina vulgaris*; growth

(责任编辑: 张 研)