

2 种生物炭浸提液对 4 种杜鹃属植物种子萌发的影响

卜晓莉¹, 姬慧娟², 马文宝^{2,①}, 薛建辉^{1,3}

[1. 南京林业大学 南方现代林业协同创新中心, 江苏 南京 210037;

2. 四川省林业科学研究院 森林和湿地生态恢复与保育四川重点实验室, 四川 成都 610081;

3. 江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏 南京 210014]

Effects of two biochar extracts on seed germination of four *Rhododendron* species BU Xiaoli¹, JI Huijuan², MA Wenbao^{2,①}, XUE Jianhui^{1,3} (1. Co-Innovation Center for the Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Sichuan Academy of Forestry, Ecological Restoration and Conservation on Forest and Wetland Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610081, China; 3. Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2021, 30(1): 72-74

Abstract: Taking *Rhododendron calophytum* Franch., *R. molle* (Blume) G. Don, *R. delavayi* Franch., and *R. decorum* Franch. as research objects, effects of corncob biochar and rice husk biochar extracts with biochar water ratios of 1 : 30, 1 : 15, and 1 : 7.5 on their seed germination characteristics were compared. The results show that compared with the control (deionized water), seed germination rate and germination index of *R. calophytum*, *R. molle*, and *R. delavayi* in corncob biochar extract treatment group with biochar water ratio of 1 : 30 and three rice husk biochar extract treatment groups all increase significantly, and their germination time lag is shortened; seed germination rate of the three species in corncob biochar extract treatment groups with biochar water ratios of 1 : 15 and 1 : 7.5 decreases. In addition, seed germination rate of three species in rice husk biochar extract treatment groups with biochar water ratios of 1 : 15 and 1 : 7.5 is evidently higher than that in corncob biochar extract treatment groups with the same biochar water ratio. Overall, corncob biochar and rice husk biochar extracts can inhibit seed germination of *R. decorum*, and the higher the biochar water ratio, the stronger the inhibitory effect. In conclusion, there are differences in effects of corncob biochar and rice husk biochar extracts on seed germination of species in *Rhododendron* Linn., and there is interspecific difference in influence effect.

关键词: 杜鹃属; 玉米芯炭; 稻壳炭; 炭水比; 种子萌发

Key words: *Rhododendron* Linn.; corncob biochar; rice husk biochar; biochar water ratio; seed germination

中图分类号: S685.21 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2021)01-0072-03

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2021.01.10

生物炭为含碳量丰富的生物质在 350 °C ~ 900 °C 低氧条件下热解得到的碳质材料,具有孔隙度高、保水性好和无病原体等优点,为可再生的植物栽培基质^[1]。然而,生物炭在炭化过程中可能会形成多环芳烃或挥发性有机物等毒性化合物,对植物产生毒性效应^[2]。无土培养法可评估生物炭对植物的毒性效应^[3],适用于早期植物毒性检测^[4-5]。目前,研究者主要使用农作物和草本植物进行生物炭的植物毒性效应评估^[6-7],但不同植物的生物学特性各异,评估结果差异较大。

杜鹃属(*Rhododendron* Linn.)植物在播种育苗时需要使用大量的泥炭土,但由于过度开采,泥炭土资源正面临耗尽的危险,因此,寻找泥炭土的合适替代品迫在眉睫。为此,采用无

土培养法研究了不同炭水比玉米芯炭和稻壳炭浸提液对杜鹃属植物美容杜鹃(*R. calophytum* Franch.)、羊躑躅[*R. molle* (Blume) G. Don]、马缨杜鹃(*R. delavayi* Franch.)和大白杜鹃(*R. decorum* Franch.)种子萌发特性的影响,从而评估玉米芯炭和稻壳炭对杜鹃属植物种子萌发的毒性效应。

1 材料和方法

1.1 材料

于 2019 年 4 月至 6 月分别在 4 种杜鹃属植物的自然种群中选择生长健壮且无病虫害的壮年母株 20 株,做好标记;于

收稿日期: 2020-07-07

基金项目: 四川省科技计划项目(应用基础研究)(2020YJ0470); 四川省财政专项项目(2020CZZX01); 国家重点研发计划项目(2016YFC0502605); 江苏省高校优势学科建设工程(PAPD)

作者简介: 卜晓莉(1980—),女,辽宁沈阳人,博士,副研究员,主要从事生态学研究。

①通信作者 E-mail: hw1805@aliyun.com

引用格式: 卜晓莉, 姬慧娟, 马文宝, 等. 2 种生物炭浸提液对 4 种杜鹃属植物种子萌发的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(1): 72-74.

同年 11 月采集蒴果, 自然风干, 待蒴果裂开后收集种子。其中, 美容杜鹃和大白杜鹃种子采自四川省石棉县栗子坪乡孟获城(东经 102°21'15.37"、北纬 28°52'48.65", 海拔 2 750 m), 马缨杜鹃和羊躑躅种子采自贵州省纳雍县勺窝乡翠云山庄(东经 105°16'39.42"、北纬 26°43'05.98", 海拔 1 857 m)。

玉米芯炭和稻壳炭购自河南三利新能源有限公司, 最高热解温度为 500 ℃。

1.2 方法

1.2.1 生物炭浸提液的制备 分别称取 5、10 和 20 g 玉米芯炭和稻壳炭, 加入 150 mL 去离子水, 混匀, 150 r · min⁻¹ 25 ℃ 恒温振荡 2 h, 抽滤, 得到炭水比(*m* : *V*) 分别为 1 : 30、1 : 15 和 1 : 7.5 的玉米芯炭和稻壳炭浸提液, 作为处理液。以去离子水为对照(CK), 各组处理液的 pH 值和电导率见表 1。

1.2.2 种子萌发实验 选取饱满、无破损的种子, 均匀摆放在垫有 2 层滤纸的培养皿中, 每皿 50 粒种子, 分别加入各处理液 5.0 mL, 置于光照时间 12 h · d⁻¹、光照度 3 000 lx、昼温 20 ℃ 和夜温 10 ℃ 的培养箱中培养, 每日补充处理液 1.5 mL。每组各 3 个重复。以胚根突破种皮作为种子萌发的标准, 每日统计发芽种子数, 记录实验开始到第 1 粒种子萌发持续的天数(即萌发时滞)、实验开始到萌发种子数最多日持续的天数(即萌发高峰期)以及第 1 粒种子萌发到最后 1 粒种子萌发持续的天数(即萌发持续时间)。实验共持续 38 d, 根据统计结果计算种子的萌发率、萌发指数和萌发势, 其中, 萌发率 = (萌发种子总数/供试种子总数) × 100%, 萌发指数为萌发期内每

表 1 不同炭水比玉米芯炭和稻壳炭浸提液的 pH 值和电导率 ($\bar{X} \pm SD$)

Table 1 pH value and electric conductivity of corncob biochar and rice husk biochar extracts with different biochar water ratios ($\bar{X} \pm SD$)

| 处理 编号 ¹⁾ Code ¹⁾ | Treatment 炭水比 Biochar water ratio | pH 值 pH value | 电导率/(dS · m ⁻¹) Electric conductivity |
|--|---|------------------|--|
| CK | | 7.52±0.16 | 0.30±0.04 |
| CB1 | 1 : 30 | 8.64±0.20 | 0.73±0.08 |
| CB2 | 1 : 15 | 8.72±0.26 | 1.08±0.11 |
| CB3 | 1 : 7.5 | 8.86±0.28 | 1.26±0.16 |
| RB1 | 1 : 30 | 8.40±0.29 | 0.32±0.06 |
| RB2 | 1 : 15 | 8.55±0.25 | 0.50±0.06 |
| RB3 | 1 : 7.5 | 8.61±0.27 | 0.85±0.10 |

¹⁾ CK: 对照(去离子水) The control (deionized water); CB: 玉米芯炭 Corn cob biochar; RB: 稻壳炭 Rice husk biochar.

日萌发种子数与萌发天数比值的总和, 萌发势 = (最高日萌发种子数/供试种子总数) × 100%。

1.3 统计分析

采用 SPSS 13.0 软件对数据进行统计分析、双因素方差分析(two-way ANOVA)和差异显著性分析(LSD 法)。

2 结果和分析

实验结果(表 2)表明: 与 CK 组(去离子水, 对照)相比, CB1 组(炭水比 1 : 30 玉米芯炭浸提液)美容杜鹃、羊躑躅和

表 2 不同炭水比玉米芯炭和稻壳炭浸提液对 4 种杜鹃属植物种子萌发的影响 ($\bar{X} \pm SD$)

Table 2 Effects of corncob biochar and rice husk biochar extracts with different biochar water ratios on seed germination of four *Rhododendron* species ($\bar{X} \pm SD$)

| 处理 ¹⁾ Treatment ¹⁾ | 美容杜鹃种子萌发指标 ²⁾ Seed germination indexes of <i>R. calophyllum</i> ²⁾ | | | | | | 羊躑躅种子萌发指标 ²⁾ Seed germination indexes of <i>R. molle</i> ²⁾ | | | | | |
|---|--|-----------|------------|-----------|-----------|------------|---|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| | GR/% | GI | GV/% | GTL/d | GPP/d | GD/d | GR/% | GI | GV/% | GTL/d | GPP/d | GD/d |
| CK | 87.1±4.6b | 1.9±0.1a | 28.4±1.5b | 18.8±0.7b | 22.3±0.5a | 17.3±0.6b | 68.5±3.5ab | 1.5±0.1a | 16.3±1.4ab | 17.2±0.7a | 18.8±0.5a | 23.2±0.9a |
| CB1 | 98.4±2.1c | 2.4±0.2b | 27.3±2.2b | 15.4±0.6a | 22.4±0.4a | 14.7±0.8ab | 80.3±6.2c | 1.9±0.2b | 16.4±1.1ab | 16.3±0.6a | 17.7±0.5a | 24.2±0.9a |
| CB2 | 86.4±5.2b | 2.1±0.2ab | 28.3±1.7b | 16.3±0.6a | 22.4±0.4a | 15.3±0.5ab | 64.1±5.2a | 1.5±0.1a | 14.3±1.1a | 15.3±0.6a | 16.3±0.6a | 25.1±0.7a |
| CB3 | 75.3±5.2a | 1.9±0.1a | 23.2±1.9a | 15.4±0.5a | 21.1±0.5a | 15.4±0.6ab | 66.3±5.1a | 1.6±0.1a | 14.3±1.2a | 17.1±0.6a | 18.2±0.6a | 23.3±0.8a |
| RB1 | 98.8±2.6c | 2.3±0.2b | 28.2±1.3b | 16.4±0.5a | 21.9±0.5a | 13.4±0.5a | 74.3±4.2bc | 1.7±0.2ab | 16.1±1.1ab | 16.3±0.7a | 17.2±0.6a | 24.4±0.8a |
| RB2 | 98.0±2.9c | 2.4±0.2b | 27.1±1.6b | 15.9±0.5a | 22.4±0.6a | 16.2±0.6ab | 75.9±6.2bc | 1.8±0.2b | 16.4±1.3ab | 15.2±0.5a | 18.8±0.5a | 25.2±0.9a |
| RB3 | 97.6±3.2c | 2.3±0.2b | 26.3±2.4ab | 15.1±0.6a | 22.3±0.6a | 13.2±0.5a | 74.2±3.4bc | 1.7±0.1ab | 17.8±1.2b | 16.4±0.5a | 17.1±0.5a | 24.3±0.7a |

| 处理 ¹⁾ Treatment ¹⁾ | 马缨杜鹃种子萌发指标 ²⁾ Seed germination indexes of <i>R. delavayi</i> ²⁾ | | | | | | 大白杜鹃种子萌发指标 ²⁾ Seed germination indexes of <i>R. decorum</i> ²⁾ | | | | | |
|---|---|-----------|------------|-----------|------------|------------|--|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| | GR/% | GI | GV/% | GTL/d | GPP/d | GD/d | GR/% | GI | GV/% | GTL/d | GPP/d | GD/d |
| CK | 75.6±4.7b | 1.6±0.1a | 18.2±1.6bc | 18.2±0.6a | 20.7±0.6b | 19.4±0.9b | 86.4±7.2c | 1.9±0.1c | 18.3±1.5b | 16.3±0.5a | 23.2±0.4b | 17.4±0.6b |
| CB1 | 86.3±5.4c | 1.9±0.1b | 18.3±1.4bc | 16.3±0.7a | 18.2±0.5ab | 17.3±1.0ab | 66.3±5.7b | 1.5±0.1ab | 17.1±1.3b | 15.2±0.5a | 18.3±0.4a | 15.5±0.6ab |
| CB2 | 71.1±4.5b | 1.7±0.1ab | 16.4±0.9bc | 17.4±0.6a | 18.1±0.5ab | 14.7±0.6a | 58.4±4.6ab | 1.5±0.1ab | 17.4±1.6b | 16.4±0.6a | 18.3±0.6a | 13.1±0.5ab |
| CB3 | 59.3±4.1a | 1.6±0.1a | 14.3±1.0a | 16.3±0.6a | 17.1±0.6a | 15.4±0.7a | 56.3±4.3a | 1.3±0.1a | 14.3±1.3a | 16.4±0.5a | 21.2±0.5ab | 11.3±0.6a |
| RB1 | 88.4±6.3c | 1.9±0.1b | 20.2±1.5c | 17.3±0.5a | 17.3±0.6a | 18.4±0.9ab | 80.2±5.3c | 1.9±0.2c | 20.2±1.7b | 15.3±0.7a | 20.5±0.6ab | 17.2±0.7b |
| RB2 | 85.4±4.4c | 1.9±0.1b | 17.1±1.3b | 16.2±0.7a | 18.3±0.5ab | 17.2±0.7ab | 78.4±6.3c | 1.8±0.2c | 18.3±1.3b | 14.6±0.6a | 17.7±0.5a | 16.5±0.5ab |
| RB3 | 82.3±5.2bc | 1.8±0.1ab | 18.1±1.5bc | 16.3±0.5a | 19.4±0.6ab | 17.3±0.6ab | 63.8±5.2ab | 1.5±0.1ab | 17.1±1.1b | 15.8±0.7a | 18.3±0.5a | 17.8±0.6b |

¹⁾ CK: 对照(去离子水) The control (deionized water); CB1, CB2, CB3: 玉米芯炭浸提液, 炭水比分别为 1 : 30、1 : 15 和 1 : 7.5 Corn cob biochar extracts with biochar water ratio of 1 : 30, 1 : 15, and 1 : 7.5, respectively; RB1, RB2, RB3: 稻壳炭浸提液, 炭水比分别为 1 : 30、1 : 15 和 1 : 7.5 Rice husk biochar extracts with biochar water ratio of 1 : 30, 1 : 15, and 1 : 7.5, respectively.

²⁾ GR: 萌发率 Germination rate; GI: 萌发指数 Germination index; GV: 萌发势 Germination vigor; GTL: 萌发时滞 Germination time lag; GPP: 萌发高峰期 Germination peak period; GD: 萌发持续时间 Germination duration. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant ($P < 0.05$) difference.

马缨杜鹃种子的萌发率分别显著升高 13.0%、17.2%和14.2%，萌发指数分别显著升高 26.3%、26.7%和 18.8%；而 CB2 组（炭水比 1：15 玉米芯炭浸提液）和 CB3 组（炭水比 1：7.5 玉米芯炭浸提液）3 种植物种子的萌发率降低。玉米芯炭浸提液处理组美容杜鹃种子的萌发时滞缩短 2.5~3.4 d，萌发持续时间缩短 1.9~2.6 d；羊蹄躅种子的萌发时滞缩短 0.1~1.9 d，萌发高峰期提前 0.6~2.5 d，萌发持续时间增加 0.1~1.9 d；马缨杜鹃种子的萌发时滞缩短 0.8~1.9 d，萌发高峰期提前 2.5~3.6 d，萌发持续时间缩短 2.1~4.7 d。与 CK 组相比，玉米芯炭浸提液处理组大白杜鹃种子的萌发率降低 23.3%~34.8%，萌发指数降低 21.1%~31.6%，萌发势降低 4.9%~21.9%。

与 CK 组相比，稻壳炭浸提液处理组美容杜鹃种子的萌发率显著升高 12.1%~13.4%，萌发指数显著升高 21.0%~26.3%，萌发势降低 0.7%~7.4%，萌发时滞缩短 2.4~3.7 d，萌发持续时间缩短 1.1~4.1 d；羊蹄躅种子的萌发率升高 8.3%~10.8%，萌发指数升高 13.3%~20.0%，萌发时滞缩短 0.8~2.0 d，萌发高峰期提前 0.0~1.7 d，萌发持续时间增加 1.0~2.0 d；马缨杜鹃种子萌发率升高 8.9%~16.9%，萌发指数升高 12.5%~18.7%，萌发时滞缩短 0.9~2.0 d，萌发高峰期提前 1.3~3.4 d，萌发持续时间缩短 1.0~2.2 d。与 CK 组相比，稻壳炭浸提液处理组大白杜鹃种子的萌发指标总体均受到抑制，RB3 组（炭水比 1：7.5 稻壳炭浸提液）大白杜鹃种子的萌发率降低 26.2%，萌发指数降低 21.0%，萌发势降低 6.6%。

比较而言，CB1 组和 RB1 组（炭水比 1：30 稻壳炭浸提液）美容杜鹃和马缨杜鹃种子的萌发率和萌发指数均显著高于 CK 组，2 组羊蹄躅种子的萌发率和萌发指数略高于 CK 组，且 3 种植物种子的萌发率和萌发指数在 2 组间差异不显著；RB2 组（炭水比 1：15 稻壳炭浸提液）和 RB3 组 3 种植物种子的萌发率分别显著高于 CB2 组和 CB3 组，且 CB2 组和 CB3 组 3 种植物种子的萌发指标均受到抑制，而 RB2 组和 RB3 组 3 种植物种子的萌发指标均被促进。对大白杜鹃而言，3 个玉米芯炭浸提液处理组的种子萌发均受到明显抑制，RB3 组的种子萌发也受到显著抑制，而 RB1 组和 RB2 组种子萌发受到的抑制程度不显著。

3 讨论和结论

本研究结果表明：炭水比 1：30 玉米芯炭和稻壳炭浸提液均能够明显提高美容杜鹃、羊蹄躅和马缨杜鹃种子的萌发率和萌发指数，同时，缩短萌发时滞，萌发高峰期提前，说明低浓度的玉米芯炭和稻壳炭浸提液能够有效促进这 3 种植物的种子萌发。然而，炭水比 1：15 和 1：7.5 玉米芯炭浸提液对这 3 种植物的种子萌发却有抑制作用，且炭水比 1：7.5 玉米芯炭浸提液的抑制作用更明显，说明高浓度的玉米芯炭浸提液

液对 3 种植物的种子萌发具有抑制效应，推测这可能与其具有较高的 pH 值和电导率有关^[8]。另外，不同浓度玉米芯炭浸提液以及炭水比 1：7.5 稻壳炭浸提液均显著降低了大白杜鹃种子的萌发率和萌发指数，表明大白杜鹃种子对玉米芯炭和稻壳炭浸提液更为敏感。

综上所述，玉米芯炭和稻壳炭对杜鹃属植物种子萌发的影响存在差异且影响效应存在种间差异。其中，玉米芯炭对美容杜鹃、羊蹄躅和马缨杜鹃的种子萌发具有“毒物兴奋效应”（即低浓度促进、高浓度抑制）^[9]，而稻壳炭浸提液可促进这 3 种植物的种子萌发；玉米芯炭和稻壳炭浸提液均可抑制大白杜鹃的种子萌发，且炭水比越高，抑制作用越强。本研究仅对不同浓度生物炭浸提液对 4 种高山杜鹃种子萌发状况进行了研究，关于泥炭土和生物炭混合的实际效果尚不清楚，需要开展后续实验进行进一步研究。

参考文献：

- [1] VAUGHN S F, KENAR J A, THOMPSON A R, et al. Comparison of biochars derived from wood pellets and pelletized wheat straw as replacements for peat in potting substrates[J]. *Industrial Crops and Products*, 2013, 51: 437-443.
- [2] FABBRIO D, ADAMIANO A, TORRI C. GC-MS determination of polycyclic aromatic hydrocarbons evolved from pyrolysis of biomass [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2010, 397: 309-317.
- [3] SOLAIMAN Z M, MURPHY D V, ABBOTT L K. Biochars influence seed germination and early growth of seedlings[J]. *Plant and Soil*, 2012, 353: 273-287.
- [4] 李 阳, 黄 梅, 沈 飞, 等. 生物炭早期植物毒性评估培养方法研究[J]. *生态毒理学报*, 2016, 11(4): 168-175.
- [5] 王 晋, 庄舜尧, 曹志洪, 等. 不同生物炭浸提液对水稻发芽及幼苗发育的影响[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(30): 50-55.
- [6] GASCÓ G, CELY P, PAZ-FERREIRO J, et al. Relation between biochar properties and effects on seed germination and plant development[J]. *Biological Agriculture and Horticulture*, 2016, 32(4): 237-247.
- [7] YAO L, NAETH M A, MOLLARD F P O. Ecological role of pyrolysis by-products in seed germination of grass species [J]. *Ecological Engineering*, 2017, 108: 78-82.
- [8] BUSTAMANTE M A, MORAL R, PAREDES C, et al. Agrochemical characterisation of the solid by-products and residues from the winery and distillery industry [J]. *Waste Management*, 2008, 28: 372-380.
- [9] GRABER E R, HAREL Y M, KOLTON M, et al. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media[J]. *Plant and Soil*, 2010, 337: 481-496.

（责任编辑：佟金凤）