

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201905001

吕朝燕, 高智席, 严羽, 等. 干旱-复水对两种石斛属植物叶水势的影响 [J]. 广西植物, 2021, 41(2): 177-182.

LÜ CY, GAO ZX, YAN Y, et al. Effects of drought-rewatering on leaf water potential of two *Dendrobium* plants [J]. *Guihaia*, 2021, 41(2): 177-182.



干旱-复水对两种石斛属植物叶水势的影响

吕朝燕*, 高智席, 严羽, 王利霞, 魏英, 叶丽, 卢珊珊, 张琴

(遵义师范学院 生物与农业科技学院, 贵州 遵义 563006)

摘要: 石斛属植物多附着在其他植物体或岩石上, 水分获取困难, 其特殊的水分利用策略是其生存和发展的重要保证。为弄清石斛属植物对干旱胁迫的适应能力和机制, 该文选用 3 年生金钗石斛和铁皮石斛, 通过盆栽控水进行干旱胁迫和复水处理, 探讨在不同干旱历时和干旱后复水条件下两种石斛的叶水势变化情况。结果表明: 随着干旱时间的延长, 两种石斛叶水势均呈升高趋势; 金钗石斛叶水势由充分供水时的 (-1.04 ± 0.02) MPa 增加到干旱 60 d 时的 (-0.86 ± 0.03) MPa, 铁皮石斛叶水势由 (-1.04 ± 0.02) MPa 增加到 (-0.87 ± 0.03) MPa; 两种石斛均表现出高水势延迟脱水的抗旱适应机制; 干旱结束后复水, 两种石斛的叶水势随着复水时间的增加均呈下降趋势; 复水 20 d 时, 金钗石斛和铁皮石斛叶水势分别为 (-0.96 ± 0.05) MPa 和 (-0.96 ± 0.02) MPa, 其叶水势均未恢复到干旱前充分供水时的水平; 相关分析结果显示, 两种石斛的土壤含水率和叶水势间相关关系显著 ($P < 0.05$)。由此认为, 两种石斛属植物均表现出较强的干旱胁迫耐受能力和相对较差的胁迫后恢复能力。

关键词: 金钗石斛, 铁皮石斛, 水势, 干旱胁迫, 复水

中图分类号: Q945 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2021)02-0177-06

Effects of drought-rewatering on leaf water potential of two *Dendrobium* plants

LÜ Chaoyan*, GAO Zhixi, YAN Yu, WANG Lixia, WEI Ying,
YE Li, LU Shanshan, ZHANG Qin

(School of Biological and Agricultural Technology, Zunyi Normal College, Zunyi 563006, Guizhou, China)

Abstract: *Dendrobium* plants are attached to other plants or rocks, and water is difficult to obtain. Its special water use strategy is an important guarantee for its survival and development. In order to clarify the adaptability and mechanism of *Dendrobium* plants to drought stress, three-year-old *D. nobile* and *D. officinale* were selected, and the drought stress and

收稿日期: 2019-11-15

基金项目: 贵州省高层次创新人才培养项目(遵市科合人才[2016]3号);遵义师范学院2017年学术新苗培养及创新探索培育项目(黔科合平台人才[2017年]5727-17号);贵州省教育厅自然科学基金(黔教合KY字[2015]409号);遵义师范学院博士启动基金(遵师BS[2014]17号);国家自然科学基金(30870472);贵州省教育厅创新群体重大项目(黔教合KY字[2016]047号)[Supported by Guizhou High-Level Innovative Talents Training Program ([2016]3); 2017 Academic New Seedling Cultivation and Innovation Exploration Project's Cultivation Project of Zunyi Normal College ([2017] 5727-17); Natural Science Fund of Guizhou Provincial Department of Education ([2015]409); Doctoral Initial Foundation of Zunyi Normal College ([2014]17); the National Natural Science Foundation of China (30870472); Innovation Group Major Research Program of Guizhou Provincial Department of Education ([2016] 047)].

作者简介: 吕朝燕(1985-), 博士, 副教授, 研究方向为植物资源利用、种子生态学、草地生态学等, (E-mail) lvcy@zync.edu.cn。

*通信作者

rewatering treatment were carried out by potted water control, and leaf water potential changes of the two *Dendrobium* species were studied under different drought durations and rewatering conditions. The results were as follows: With the prolongation of drought time, the leaf water potential of the two *Dendrobium* species were increased; The leaf water potential of *D. nobile* increased from (-1.04 ± 0.02) MPa at the time of full water supply to (-0.86 ± 0.03) MPa at 60 d of drought, and the leaf water potential of *D. officinale* increased from (-1.04 ± 0.02) MPa to (-0.87 ± 0.03) MPa; The two *Dendrobium* species showed the drought-tolerant adaptation mechanism of high-water potential delayed dehydration; Rewatering after the end of drought, the leaf water potential of the two *Dendrobium* species showed a downward trend with the increase of rewatering time; After rewatering for 20 d, the leaf water potentials of *D. nobile* and *D. officinale* were (-0.96 ± 0.05) MPa and (-0.96 ± 0.02) MPa, respectively, and did not return to the level of sufficient water supply before drought; Correlation analysis showed significant correlation between soil moisture content and leaf water potential ($P < 0.05$). In summary, both *Dendrobium* plants showed strong drought stress tolerance ability and relatively poor post-stress recovery ability.

Key words: *Dendrobium nobile*, *Dendrobium officinale*, water potential, drought stress, rewatering

水势可以直接反映植物水分生理状态,受土壤、植被和大气条件等因素的综合影响,是衡量植物抗旱能力的重要生理指标之一,在土壤-植物-大气循环系统(简称 SPAC)水分运移过程中发挥极其重要的关键作用(Choné et al., 2001)。在水资源匮乏的情况下,水势常被作为判定植物水分亏缺程度的敏感指标。一般情况下,植物组织水势越低,吸水能力越强;反之,水势越高,吸水能力越弱,因此可以确定植物的受旱程度和耐受能力(黄子琛和沈渭寿, 2000)。在植物各部位的水势中,叶水势最能代表植物水分运动的能量水平,是组织水分状况的直接表现,决定着植物根系的吸水能力和林冠的蒸腾耗水速率,能反映植物在生长季节各种生理活动中受环境水分条件的制约程度(孙鸿乔, 1985)。在抗旱植物水分关系的研究中,叶水势被广泛地用作反映植物干旱耐受与适应能力的关键生理指标(Klein, 2015)。植物在干旱过程中的表现如何,是否能在干旱过后的复水过程中迅速恢复并弥补由干旱胁迫所造成的损失也成为其对逆境适应性的重要表现(陈晓远和罗远培, 2001)。

铁皮石斛(*Dendrobium officinale*)和金钗石斛(*D. nobile*)均属于兰科(Orchidaceae)石斛属(*Dendrobium*)植物。它们是植物界中集观赏和药用价值于一身的典型代表,不但花形、花姿优美,且多具滋阴清热、益胃生津、明目强身、润肺止咳

等功效(李清等, 2016)。同时,作为附生植物,常附生于海拔 500~1 800 m 林中树干或湿润岩石表面,喜半荫的环境和温暖湿润气候(陈心启等, 1999)。然而,即使生活在水分相对充足的环境,也不能避免它们要长期忍受干旱胁迫的事实(施文艳等, 2018)。由于其根系多暴露在空气中,不能像其他陆生植物那样从土壤中获取水分,它们的水分来源相对比较匮乏,经常遭受水分胁迫(李静静等, 2017)。关于这两种石斛属植物,前人在中药化学(周威等, 2018; 崔轶达等, 2019)、药理学(周威等, 2017; 张雪琴等, 2018)、栽培学(郑世刚等, 2018; 孙萍等, 2018)等方面做了大量的工作并取得了显著成果。然而,从生态学的角度研究其抗旱水分生理的研究工作却异常贫乏。本研究通过观测不同的干旱历时对两种石斛叶水势的影响及复水后的水势变化,分析金钗石斛和铁皮石斛叶水势在持续干旱胁迫下的变化规律,揭示其抗旱水分生理机制,丰富了附生石斛属植物生态学研究内容,并可为该两种石斛属植物的栽培及资源利用提供基础理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料和仪器

试验材料为 3 年生金钗石斛和铁皮石斛。仪器为植物水势仪(澳大利亚 ICT 公司, PSY1)和土

壤水分测定仪(美国 Spectrum 公司, SM100)。

1.2 方法

采用盆栽方式将金钗石斛和铁皮石斛种植于遵义师范学院实验温室中,花盆的直径 24 cm、高度 26 cm,盆栽土壤是将泥炭土、树皮和水苔按照 1:1:1 的体积比均匀混合而成。放置于荫棚下,避免阳光直射,并采用统一的水管理。试验于 2018 年 7—10 月进行。首先,进行为期 1 周的充分供水处理,每日浇水,保证植物正常生长,没有受到干旱胁迫。然后,停止供水 60 d 后重新恢复充分供水,于停止供水前一天、停止供水 20、40、60 d 和复水 10、15、20 d 分别测定石斛叶片水势和土壤含水率。叶片水势的测定从 8:00 开始到 18:00 结束,每隔 1 h 测定 1 次,每次从 3 盆石斛中各选取 1 株石斛上层 3 个健康的叶片进行测定,共重复 9 次。土壤含水率的测定时间和间隔同叶片水势的测定一致,每次测定 3 盆石斛基质,每盆测定 3 个不同的位点,共重复 9 次。

1.3 数据处理

应用 SPSS 22.0 统计软件对两种石斛叶水势和土壤含水率进行相关分析,采用 Excel 2016 软件进行统计分析并作图。

2 结果与分析

2.1 叶水势随干旱时间的变化

金钗石斛和铁皮石斛叶水势均随着干旱时间的增加呈增大趋势(图 1,图 2)。充分供水时,金钗石斛和铁皮石斛叶水势均为 (-1.04 ± 0.02) MPa,均在 16:00 和 17:00 降到最低,分别为 -1.08 、 -1.07 MPa。干旱 20 d 时,金钗石斛叶水势为 (-0.97 ± 0.01) MPa,15:00 时最低,为 -0.99 MPa;铁皮石斛叶水势为 (-0.95 ± 0.02) MPa,13:00 时最低,为 -0.98 MPa。干旱 40 d 时,金钗石斛和铁皮石斛叶水势均为 (-0.97 ± 0.01) MPa,金钗石斛在 13:00 时最低,为 -0.98 MPa;铁皮石斛在 11:00 时最低,为 -0.98 MPa。干旱 60 d 时,金钗石斛叶水势为 (-0.86 ± 0.03) MPa,17:00 和 18:00 时最低,为 -0.90 MPa;铁皮石斛叶水势为 (-0.87 ± 0.03) MPa,14:00 和 15:00 时最低,为 -0.91 MPa。

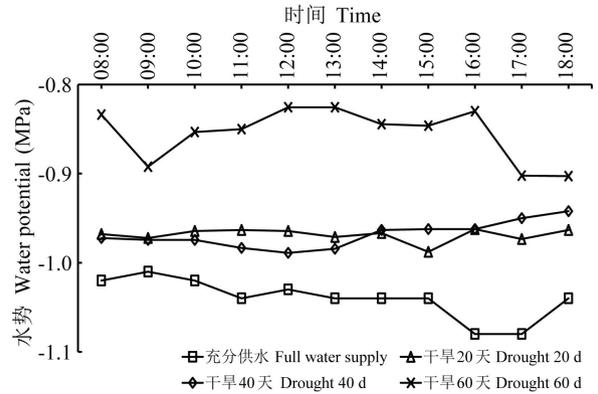


图 1 金钗石斛叶水势随干旱时间的变化
Fig. 1 Changes of *Dendrobium nobile*'s leaf water potential with drought time

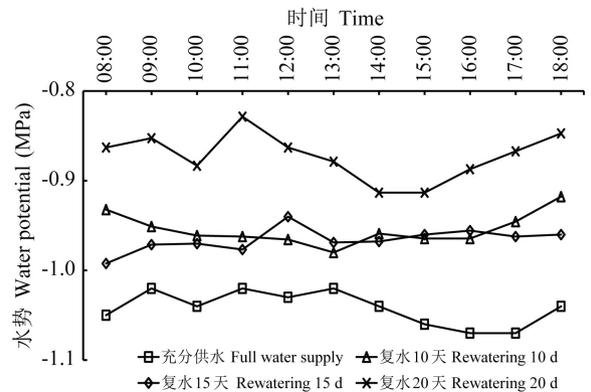


图 2 铁皮石斛叶水势随干旱时间的变化
Fig. 2 Changes of *Dendrobium officinale*'s leaf water potential with drought time

2.2 复水后叶水势的变化

金钗石斛和铁皮石斛叶水势均随着复水时间的增加基本呈减小趋势(图 3,图 4)。复水 10 d 时,金钗石斛叶水势为 (-0.85 ± 0.03) MPa,18:00 时最低,为 -0.90 MPa;铁皮石斛叶水势为 (-0.88 ± 0.02) MPa,13:00 和 14:00 时最低,为 -0.91 MPa。复水 15 d 时,金钗石斛叶水势为 (-0.88 ± 0.03) MPa,18:00 时最低,为 -0.93 MPa;铁皮石斛叶水势为 (-0.85 ± 0.03) MPa,16:00、17:00 和 18:00 时最低,为 -0.88 MPa。复水 20 d 时,金钗石斛叶水势为 (-0.96 ± 0.05) MPa,14:00 时最低,为 -1.05 MPa;铁皮石斛叶水势为 (-0.96 ± 0.02)

MPa, 9:00 时最低, 为 -1.01 MPa。复水 20 d 时, 金钗石斛和铁皮石斛叶水势均未恢复到干旱前充分供水时 (-1.04 ± 0.02) MPa 的水平。

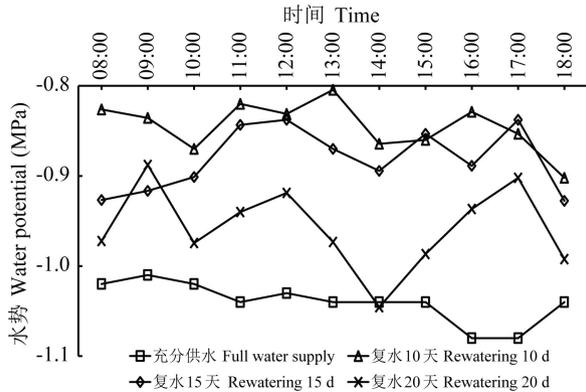


图 3 金钗石斛叶水势随复水时间的变化
Fig. 3 Changes of *Dendrobium nobile*'s leaf water potential with rewatering time

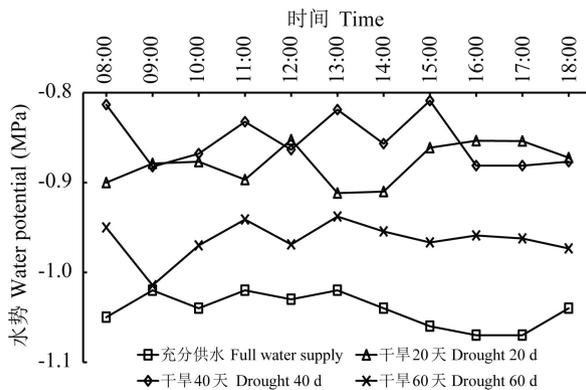


图 4 铁皮石斛叶水势随复水时间的变化
Fig. 4 Changes of *Dendrobium officinale*'s leaf water potential with rewatering time

2.3 叶水势与土壤含水率之间的关系

金钗石斛和铁皮石斛叶水势均随着土壤含水率的降低呈增大趋势(图 5, 图 6)。金钗石斛土壤含水率从干旱 0 d 的 ($42.36 \pm 0.65\%$) 降低至干旱 40 d 的 ($0.17 \pm 0.12\%$), 其后继续干旱, 土壤含水率无法检出。对应的金钗石斛叶水势从 (-1.04 ± 0.02) MPa 增加至 (-0.97 ± 0.01) MPa。同时, 铁皮石斛土壤含水率从干旱 0 d 的 ($36.31 \pm 1.64\%$) 降低至干旱 40 d 的 ($0.22 \pm 0.17\%$), 其后继续干旱,

土壤含水率无法检出。对应的铁皮石斛叶水势从 (-1.04 ± 0.02) MPa 增加至 (-0.97 ± 0.01) MPa。相关分析表明, 金钗石斛和铁皮石斛叶水势和土壤含水率之间的相关关系显著 ($P < 0.05$)。

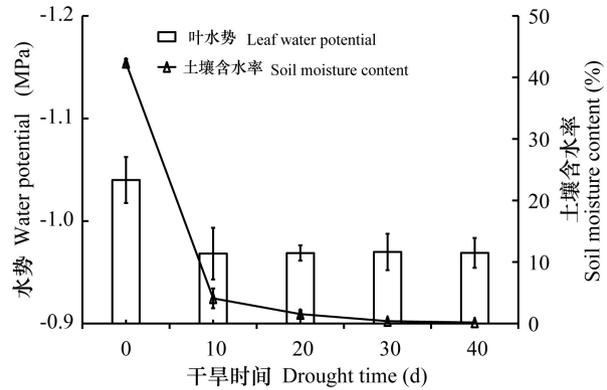


图 5 金钗石斛叶水势和土壤含水率随干旱时间的变化
Fig. 5 Changes of leaf water potential and soil water content of *Dendrobium nobile* with drought time

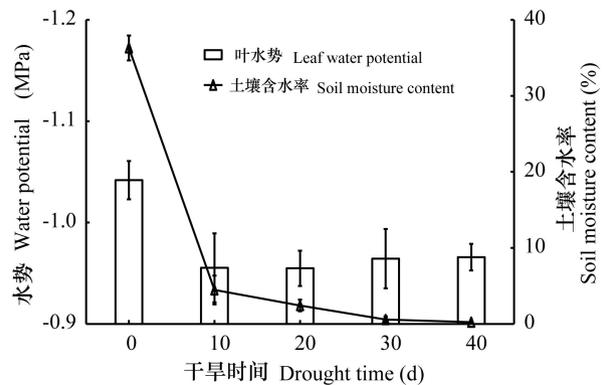


图 6 铁皮石斛叶水势和土壤含水率随干旱时间的变化
Fig. 6 Changes of leaf water potential and soil water content of *Dendrobium officinale* with drought time

3 讨论与结论

水势直接影响植物的代谢、生长发育及抗逆性, 是植物重要的水分生理参数之一(柏新富等, 2012)。植物生命活动受到植物水分状况广泛而深刻的影响, 当环境水分条件不能满足植物正常生命活动的需要时, 植物的生长发育就会受到伤害。Kramer(1985)认为叶水势是植物水分状况的

最佳度量指标,当植物叶水势低到干扰植物正常的代谢功能时,即发生水分胁迫。一般认为,当叶水势低于 -1 MPa 时,叶片光合作用、蛋白质合成和细胞生长等生理生化过程均受抑制,且会影响 ABA 和溶质积累 (Taiz & Eduardo, 2009)。金钗石斛和铁皮石斛叶水势在充分供水时为 $(-1.04 \pm 0.02)\text{ MPa}$,在未受到干旱胁迫时已然处于相对较低水平,一定程度上表现出两种石斛为了适应附生环境所具有的独特生理机制 (岳海涛等, 2017)。同时,当植物面临水分胁迫时,植物通常会通过降低自身的水势来从土壤中获取更多的水分,并且,植物对水分胁迫的响应方式各异,水势下降的幅度和速率也不尽相同 (曾凡江等, 2002)。金钗石斛和铁皮石斛叶水势均随干旱时间的延长和土壤含水率的降低,呈增大趋势,这与虎尾草 (付晓玥等, 2012)、冠芒草 (付晓玥等, 2012)、金露梅 (刘颖等, 2016)、刺槐 (李继文等, 2009) 等大多数植物通过降低叶片水势来增加水分吸收所表现出的低水势忍耐脱水的抗旱适应机制不同,更倾向于猪毛菜和雾冰藜 (付晓玥等, 2012) 等肉质叶植物,采用高水势来适应干旱环境,表现为高水势延迟脱水的抗旱适应机制。这既体现了两种石斛属植物水分生理的特殊性,也反映出不同地区不同生活型植物适应机制的多样性。

同时,评价植物对干旱的适应能力,不仅要考虑其在干旱过程中的表现,而且还要考虑其在干旱结束复水后能否迅速恢复并修复损伤 (Xu et al., 2010)。植物是否能在经受干旱过后的复水过程中迅速恢复并弥补因干旱胁迫所造成的损失是其逆境适应性的重要表现 (陈晓远和罗远培, 2001)。两种石斛属植物叶水势均随着复水时间的延长而逐渐降低,这与王丁等 (2010) 研究发现干旱胁迫解除之后 6 种喀斯特主要造林树种苗木叶片水势均逐渐增高的结果不一致,这在一定程度上体现了附生石斛属植物水分生理的特殊性。植物对干旱缺水有一定的适应范围,在该范围内的缺水,往往在复水后,可产生水分利用和生长上的补偿效应 (厉广辉等, 2014)。王丁等 (2010) 在对 6 种喀斯特主要造林树种苗木叶片水势的研究中发现了干旱胁迫解除后叶片水势的超补偿现

象。庞云龙等 (2008)、李继文等 (2009) 在对元宝枫、刺槐等苗木水分生理特性的研究中也发现了同样的超补偿现象。但是,截止复水 20 d,两种石斛属植物的水势均未恢复到干旱胁迫前充分供水时的水平,也未观察到水势补偿效应,可见,两种石斛属植物遭受长时间干旱胁迫后的恢复能力相对较差。目前,关于补偿效应的研究大都集中在农作物上,附生植物方面的研究异常匮乏,仍有待于进一步开展系统、深入的研究。

参考文献:

- BAI XF, BU QM, TAN YQ, et al., 2012. Comparison and analysis of four methods used in measuring the plant water potential [J]. *Sci Silv Sin*, 48(12): 128-133. [柏新富, 卜庆梅, 谭永芹, 等, 2012. 植物 4 种水势测定方法的比较及可靠性分析 [J]. *林业科学*, 48(12): 128-133.]
- CHEN XQ, JI ZH, LUO YB, 1999. Chinese wild orchid plant color illustration [M]. Beijing: Science Press. [陈心启, 吉占和, 罗毅波, 1999. 中国野生兰科植物彩色图鉴 [M]. 北京: 科学出版社.]
- CHEN XY, LUO YP, 2001. The influence of fluctuated soil moisture on growth dynamic of winter wheat [J]. *Sci Agric Sin*, 34(4): 403-409. [陈晓远, 罗远培, 2001. 土壤水分变动对冬小麦生长动态的影响 [J]. *中国农业科学*, 34(4): 403-409.]
- CHONÉ X, LEEUWEN CV, DUBOURDIEU D, et al., 2001. Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status [J]. *Ann Bot*, 87(4): 477-483.
- CUI YD, LU YL, ZHAO YM, et al., 2019. Isolation and identification of chemical constituents from *Dendrobium officinale* Kimura et Migo [J]. *J Shenyang Pharm Univ*, 36(1): 7-11. [崔铁达, 路宜蕾, 赵益铭, 等, 2019. 铁皮石斛化学成分的分离与鉴定 [J]. *沈阳药科大学学报*, 36(1): 7-11.]
- FU XY, YAN JC, LIANG CZ, et al., 2012. Water potentials of annual plants response to simulated rainfall in arid and semiarid regions [J]. *J Inn Mngolia Univ (Nat Sci Ed)*, 43(2): 52-59. [付晓玥, 闫建成, 梁存柱, 等, 2012. 干旱与半干旱区一年生植物水势对模拟降水变化的响应 [J]. *内蒙古大学学报 (自然科学版)*, 43(2): 52-59.]
- HUANG ZC, SHEN WS, 2000. Water relationship and drought tolerance of plants in arid areas [M]. Beijing: China Environmental Science Press. [黄子琛, 沈渭寿, 2000. 干旱区植物的水分关系与耐旱性 [M]. 北京: 中国环境科学出版社.]
- KLEIN T, 2015. The variability of stomatal sensitivity to leaf water potential across tree species indicates a continuum

- between isohydric and anisohydric behaviours [J]. *Funct Ecol*, 28(6): 1313–1320.
- KRAMER PJ, 1985. *Water relation of plants* [M]. New York: Academic Press.
- LI GH, WAN YS, LIU FZ, et al., 2014. Photosynthetic characteristics in different peanut cultivars under conditions of drought and re-watering at seedling stage [J]. *Chin J Plant Ecol*, 38(7): 729–739. [厉广辉, 万勇善, 刘凤珍, 等, 2014. 苗期干旱及复水条件下不同花生品种的光合特性 [J]. *植物生态学报*, 38(7): 729–739.]
- LI JJ, MENG QW, SONG XQ, 2017. Epiphytic characteristics of *Oxystophyllum changjiangense* (Orchidaceae) in Bawangling National Nature Reserve, Hainan, China [J]. *J Trop Biol*, 8(1): 86–91. [李静静, 孟千万, 宋希强, 2017. 海南霸王岭国家自然保护区拟石斛的附生特性 [J]. *热带生物学报*, 8(1): 86–91.]
- LI JW, WANG JX, ZHANG ML, et al., 2009. Effect of drought and rewater on leaf water potential of *Robinia pseudoacacia* [J]. *J NW For Univ*, 24(3): 33–36. [李继文, 王进鑫, 张慕黎, 等, 2009. 干旱及复水对刺槐叶水势的影响 [J]. *西北林学院学报*, 24(3): 33–36.]
- LI Q, LI B, GUO SX, 2016. Advance in molecular biology of *Dendrobium* (Orchidaceae) [J]. *China J Chin Mat Med*, 41(15): 2753–2761. [李清, 李标, 郭顺星, 2016. 兰科石斛属植物分子生物学研究进展 [J]. *中国中药杂志*, 41(15): 2753–2761.]
- LIU Y, HE KL, XU T, et al., 2016. Impact of water stress on leaf water potential, photosynthetic parameters and water use efficiency of *Potentilla fruticosa* [J]. *Sci Soil Water Conserv*, 14(1): 106–113. [刘颖, 贺康宁, 徐特, 等, 2016. 水分胁迫对金露梅叶片水势、光合特性和水分利用效率的影响 [J]. *中国水土保持科学*, 14(1): 106–113.]
- PANG YL, WANG JX, TIAN L, 2008. Effect of water stress and rewatering on the physiological characteristics of *Acer truncatum* seedlings [J]. *J NW Sci-Technol Univ Agric For (Nat Sci Ed)*, 36(6): 92–96. [庞云龙, 王进鑫, 田丽, 2008. 水分胁迫及复水对元宝枫幼树生理特性的影响 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 36(6): 92–96.]
- SHI WY, LONG GQ, YANG SC, et al., 2018. Advance in researches on eco-physiological adaptability of epiphytes [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 26(1): 92–106. [施文艳, 龙光强, 杨生超, 等, 2018. 附生植物生理生态适应性研究进展 [J]. *热带亚热带植物学报*, 26(1): 92–106.]
- SUN HQ, 1985. Water potential problem [J]. *Plant Physiol Comm*, 21(3): 48–53. [孙鸿乔, 1985. 水势问题 [J]. *植物生理学通讯*, 21(3): 48–53.]
- SUN P, LIN XR, BAO H, et al., 2018. Ecological high-value three-dimensional cultivation technique of grape-overhead strawberry-*Dendrobium* [J]. *N Hortic*, 409(10): 207–210. [孙萍, 林贤锐, 鲍慧, 等, 2018. 葡萄-高架草莓-铁皮石斛生态高值型立体栽培技术 [J]. *北方园艺*, 409(10): 207–210.]
- TAIZ L, EDUARDO Z; SONG CP, WANG XL (translated, 2009). *Plant physiology* [M]. Beijing: Science Press. [Taiz L, Eduardo Z; 宋纯鹏, 王学路(译), 2009. *植物生理学* [M]. 北京: 科学出版社.]
- WANG D, YAO J, YANG X, et al., 2010. Changes of leaf water potential and water absorption potential capacities of six kinds of seedlings in karst mount area under different drought stress intensities; Taking six forestation seedlings in karst mountainous region for example [J]. *Acta Ecol. Sin.*, 31(8): 2216–2226. [王丁, 姚健, 杨雪, 等, 2010. 干旱胁迫条件下6种喀斯特主要造林树种苗木叶片水势及吸水潜能变化 [J]. *生态学报*, 31(8): 2216–2226.]
- XU Z, ZHOU G, SHIMIZU H, 2010. Plant response to drought and rewatering [J]. *Plant Signaling & Behavior*, 5(6): 649–654.
- YUE HT, SUN DC, XU JP, et al., 2017. Water adaptive strategies of *Dendrobium* plant based on correlation analyses among leaf traits [J]. *J W Chin For Sci*, 46(4): 113–120. [岳海涛, 孙大成, 许俊萍, 等, 2017. 基于叶片性状间相关性分析的石斛属植物的水分适应策略 [J]. *西部林业科学*, 46(4): 113–120.]
- ZENG FJ, ZHANG XM, LI XM, et al., 2002. A review on the water physiological characteristics of *Tamarix* and its prospect [J]. *Chin J Appl Ecol*, 13(5): 611–614. [曾凡江, 张希明, 李小明, 2002. 柽柳的水分生理特性研究进展 [J]. *应用生态学报*, 13(5): 611–614.]
- ZHANG XQ, ZHAO TM, LIU J, et al., 2018. Advances in chemical compounds and pharmacological effects of *Dendrobii Caulis* [J]. *Chin Trad Herb Drugs*, 49(13): 3174–3182. [张雪琴, 赵庭梅, 刘静, 等, 2018. 石斛化学成分及药理作用研究进展 [J]. *中草药*, 49(13): 3174–3182.]
- ZHENG SG, YAN S, HU YD, et al., 2018. Introduction and imitative wild cultivation of *Dendrobium nobile* in north of Sichuan [J]. *J Sichuan Univ (Nat Sci Ed)*, 55(3): 649–654. [郑世刚, 颜寿, 胡亚东, 等, 2018. 川北金钗石斛引种及仿野生栽培试验 [J]. *四川大学学报(自然科学版)*, 55(3): 649–654.]
- ZHOU W, SHEN XC, ZENG QF, et al., 2018. Fluorenone constituents in *Dendrobium nobile* [J]. *J Chin Mat*, 41(8): 1887–1889. [周威, 沈祥春, 曾庆芳, 等, 2018. 金钗石斛的茆酮类成分研究 [J]. *中药材*, 41(8): 1887–1889.]
- ZHOU W, XIA J, SUN WB, et al., 2017. Current research status of chemical constituents and pharmacological effects of *Dendrobium nobile* [J]. *Chin J New Drug*, 26(22): 73–80. [周威, 夏杰, 孙文博, 等, 2017. 金钗石斛的化学成分和药理作用研究现状 [J]. *中国新药杂志*, 26(22): 73–80.]