

Study on Physiological Response of Desert Plants to Precipitation Change

Yuqi Wang*, Jianhui Zhang, Duoqing Man

The State Key Laboratory of Desertification Combating Prevention and Sandstorm Disaster of Gansu Province & Gansu Desert Control Research Institute, Wuwei Gansu
Email: wangfanglin2008@163.com

Received: Jun. 26th, 2020; accepted: Jul. 8th, 2020; published: Jul. 15th, 2020

Abstract

Most plants are able to adapt to changes in precipitation patterns by regulating the functions of their photosynthetic apparatus in order to maintain normal physiological activities and metabolic levels, so that their adaptation to the environment develops in a favorable direction, but not all plant species respond equally to changes in precipitation. However, the research on the effects of increasing precipitation on the physiological and ecological characteristics of plants and their adaptive mechanism is not enough. In order to reveal the physiological mechanism of photosynthesis of plant leaves in response to precipitation increase, the response mechanism and long-term adaptation strategy of plant to precipitation increase were further discussed from the point of view of ecophysiology, it is of great significance to evaluate the response of desert plants to precipitation change and to make rational use of plant resources.

Keywords

Desert Plant, Water Change, Physiological Response

荒漠植物对降水变化的生理响应研究探讨

王昱淇*, 张剑挥, 满多清

甘肃省治沙研究所, 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治重点实验室, 甘肃 武威
Email: wangfanglin2008@163.com

收稿日期: 2020年6月26日; 录用日期: 2020年7月8日; 发布日期: 2020年7月15日

*通讯作者。

摘要

大多数植物能够通过调节自身光合机构的功能以维持正常的生理活动和代谢水平来适应降水格局的变化,使其对环境的适应沿着有利的方向发展,但并非所有植物种都会对降水改变有相同的响应。而降水增加对植物生理生态特性的影响及其适应机制方面的研究还不够深入。本文对揭示植物叶片光合作用对降水增加响应的生理机制,进一步从生理生态角度探讨植物对降水增加的响应机制和长期的适应策略,为评估荒漠植物对降水变化的响应及合理利用植物资源进行荒漠化防治具有重要意义。

关键词

荒漠植物, 水分变化, 生理响应

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国土地沙漠化面积不断扩展,可利用土地资源丧失和生物产量下降,已成为制约国家经济发展和生态安全的重要因素。气候变化特别是降水变化在大范围内控制着沙漠化的逆转与扩展过程[1]。据 IPCC 预测,未来中高纬度地区的降水将会增加,极端降水事件发生的频率将会增多[2]; Gao 等利用全球变化区域模型研究了表明,我国的降水量平均可增加 12%,其中西北地区降水的增加量将超过 20% [3]。荒漠生态系统对降水变化表现极为敏感[4]。降水最终影响植物群落的结构组成乃至整个生态系统的碳水平平衡[5]。水分条件急剧变化引起一些植物来不及调整个体形态结构和用水策略,使生存受到威胁[6]。总之,干旱荒漠区植被对全球气候变化尤其是降水变化产生一定的反馈作用,其生理生态响应研究可加深荒漠植物应对气候变化适应策略的理解,对未来应对气候变化情景下生态建设可持续发展具有长远意义。

2. 水分变化对植物生长和生理活动影响

近年来,关于水分变化对植物生长和生理活动影响的研究受到国内外学者的高度关注并呈明显增加的趋势。主要表现在以下几方面:

2.1. 水分对植物光合作用的影响

植物叶片光合生理是植物生长最基本的过程,水分直接参与光合作用并影响其生理代谢[7]。光合能力大小是决定植物在群落中地位高低的重要因素[8]。但并非所有植物的光合能力会对降水改变有相同的响应。如降水增加对梭梭(*Haloxyylon ammodendron*)的净光合速率有显著的促进作用($P < 0.05$),而对柽柳(*Tamarix chinensis*)的影响不显著($P > 0.05$),这与植物的根系分布模式有关,柽柳由于其深根系统能吸收土壤深层的水分来补充表层水分的流失,而梭梭的根系主要分布在表层,水分状况可对其产生直接影响[9];另外,相对于灌木,草本植物的光合能力受小降水变化影响较大,因为浅根系的植物可有效吸收利用表层土壤水分,提高其光合生产能力,固定更多的 CO_2 ,最终影响生态系统的碳循环[10]。宋维民等研究发现,红砂(*Reaumuria soongorica*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)和油蒿(*Artemisia ordosica*)四种植物的净光合速率随土壤中水分的减少而降低,其中柠条降低的幅度最明显,

说明柠条抗旱能力更强[11]。白刺(*Nitraria tangutorum*)光合能力对降水增加表现出积极的响应,降水增加使其叶片进行物质积累和生理代谢的持续能力增强,对光合产物的累积和转化能力提高[12]。由此可见,不同植物的光合能力对不同水分环境表现出不同的适应。研究不同水分条件下植物光合能力和水分利用效率的高低,可以确定植物同时维持较高光合速率和水分利用效率的适宜土壤水分范围,不仅能满足荒漠植物正常的生长需要,而且还能最大限度地利用干旱区的水分资源。

2.2. 水分对植物荧光特性的影响

水分变化通过改变叶绿体的光化学和生物化学活性等影响植株的光合能力,将叶片的光合生理特性与叶绿素荧光特性综合分析能更好地理解荒漠植物对降水改变的响应机制和适应策略。叶绿素荧光参数能快速、准确地指示植物光合作用对外界环境条件的响应特征[13]。研究表明干旱胁迫能够导致 Fv/Fm 发生明显变化,PSII 反应中心活性减弱,实际光合效率(Φ PSII)和最大光化学效率(Fv/Fm)降低,PS II 潜在热耗散能力(qN)下降,最终造成光合速率降低、蒸腾速率减弱及气孔关闭[14]。植物在复水后,荧光效率上升,因为增水有效缓解强光或高温对植物叶片的抑制作用,使植物对环境条件表现出较强的适应能力[15][16]。总之,叶绿素荧光反映了植物光合机构的运转状况,荧光参数的变化,可以从机理上揭示植物光合能力随水分条件变化的行为。

2.3. 水分对植物叶片性状的影响

叶片结构性状表征的是植物叶片的生物化学特征,能直接或间接影响植物的生理生态功能。关于水分变化对叶片性状影响的研究主要集中在叶氮含量(Nmass)和比叶面积(SLA)两方面。其中,Nmass 的变化会影响叶片中 RuBP 羧化酶进而影响植物对碳的同化[17];Nmass 增加可提高叶肉细胞内的渗透压,加强植物对自身内水分的保护,提高植物的水分利用效率及对于干旱胁迫的适应能力[9]。比叶面积(SLA)表征的是植物捕获光能的能力[9]。在干旱、半干旱地区,植物为了适应水分亏缺,通常具有较厚的表皮和组织密度[18]。研究表明,SLA 的变化与叶片叶干物质含量、叶片含氮量、净光合速率及叶片大小等性状密切相关,共同体现植物的适应对策;单位面积 Nmass 与 SLA 呈负相关,而与 Nmass 正相关;单位面积叶氮含量的增加在提高植物光合固碳能力和水分利用效率方面发挥着较大作用。因此,SLA 较高的植物通常具有较高的光合速率和生长速率,这是因为具有较高比叶面积的植物,其单位重量叶片的捕光面积以及叶氮含量都较高[19]。

2.4. 水分对植物叶片稳定碳同位素组成的影响

植物叶片稳定碳同位素组成($\delta^{13}\text{C}$)反映了同化速率和气孔导度之间的平衡,它受降水量影响较大,与降水量呈负相关关系,这种相关关系在干旱地区比在湿润地区表现更为明显[20]。研究表明,植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 随干旱胁迫的加剧而升高,随降水增加而降低,降水量每增加 1 mm, $\delta^{13}\text{C}$ 含量降低 0.01‰~0.015‰ [21]。此外, $\delta^{13}\text{C}$ 与 SLA 和 Nmass 有很好的相关性,降水主要通过对 SLA 和 Nmass 的影响间接促使 $\delta^{13}\text{C}$ 发生变化。因为 Nmass 的增加直接影响叶片中的 RuBP 酶、叶绿素及其它与光合作用有关的化合物的含量,植物光合能力的提高使叶片内部 CO_2 浓度降低,从而对 ^{13}C 的分馏减弱,使叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值升高。比叶面积降低,导致叶片厚度增加,从而增大了大气 CO_2 进入叶肉细胞的距离,最终导致 ^{13}C 的分馏下降,叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值升高[22]。总之,植物碳同位素比值的变化反映了环境因子通过叶片气孔对光合作用的调节程度,为研究植物在不同生境下的代谢调节、生理及对环境变化的适应机理提供了很好的技术途径。

2.5. 水分对植物生长和生物量分配的影响

植物的生长特征是在其外部形态上有效利用环境资源的综合表现[23]。水分条件对光合产物分配的影响

响包括对光合产物运输的影响和对源、汇关系变化的影响。水分变化可显著影响植物的生物量分配,在有限的供水条件下,植物优先生长地下部分;供水不足时,地上部分生长受到抑制,如干旱胁迫时羊草(*Leymus chinensis*)对地下部分根的分配以及根冠比增加,说明它通过增加光合产物向根部的分配提高抗旱能力[24];而杉木(*Cunninghamia lanceolata*)在水分胁迫时也将更多的光合产物向细根部分转移,增加地下生物量[25]。荒漠植物可以将自己的同化器官调整到最佳密度以适应水分条件的改变,如梭梭和沙拐枣(*Calligonum arborescens*)叶片退化,受光面积缩小,水分散失减少,由同化枝进行光合作用,光合能力显著增强,从而以抵御炎热和干旱环境[26]。此外,植物还通过减小叶面积、增加叶绿素含量和比叶重,甚至使叶片提早枯萎脱落来适应土壤干旱,如降水增加时,植物叶片和枝条的生长速度显著增加,以便在群落中能够捕获更多的光能和吸收更多的 CO₂,提高自身的光合固碳能力[27]。由此可见,植物一方面通过调节根茎比率来适应水分有效性的变化;另一方面通过调节茎叶的大小及落叶等来降低自身水分散失,这些表现都是植物为适应环境变化提高自身竞争效率的方式,也是为有效利用环境资源所采取的适应策略。

3. 展望

综上所述,国内外学者对植物生长和生理活动、植物对环境的适应策略与水分变化之间关系的研究表明,大多数植物能够通过调节自身光合机构的功能以维持正常的生理活动和代谢水平来适应降水格局的变化,使其对环境的适应沿着有利的方向发展,但并非所有植物种都会对降水改变有相同的响应。因此,基于全球气候变化层面上系统分析降水增加对植物生理生态特性的影响及其适应机制方面的研究还不够深入。本文对于揭示植物叶片光合作用对降水增加响应的生理机制,并进一步从生理生态角度探讨植物对降水增加的响应机制和长期的适应策略,为评估荒漠植物对降水变化的响应及合理利用植物资源进行荒漠化防治具有重要意义。

基金项目

国家自然科学基金(31760709; 41761051); 甘肃省青年科技基金(18JR3RA019); 甘肃省科技计划(2017kj024)资助。

参考文献

- [1] 赵宗慈, 高学杰, 汤懋苍. 气候变化预测[M]//丁一汇. 中国西部环境变化的预测. 北京: 科学出版社, 2002: 16-46.
- [2] IPCC (2013) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, New York, 5-17.
- [3] Gao, X.J., Zhao, Z.C., Ding, Y.H., et al. (2001) Climate Change Due to Greenhouse Effects in China as Simulated by Regional Climate Model. *Advance in Atmosphere Science*, **18**, 1224-1230. <https://doi.org/10.1007/s00376-001-0036-y>
- [4] Huxman, T.E. (2004) Response of Net Ecosystem Gas Exchange to a Semi-Arid Grassland: The Role of Native versus Non-Native Grasses and Soil Texture. *Oecologia*, **141**, 295-305. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1389-y>
- [5] Ogle, K. and Reynolds, J.F. (2004) Plant Responses to Precipitation in Desert Ecosystems: Integrating Functional Types, Pulses, Thresholds, and Delays. *Oecologia*, **141**, 282-294. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1507-5>
- [6] Zhang, J.X., Wu, B., Zhu, Y.J., et al. (2013) Responses of *Nitraria tangutorum* to Water and Photosynthetic Physiology in Rain Enrichment Scenario. *Acta Ecologica Sinica*, **33**, 172-177. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2013.03.008>
- [7] Xu, H. and Li, Y. (2006) Water-Use Strategy of Three Central Asian Desert Shrubs and Their Responses to Rain Pulse Events. *Plant and Soil*, **285**, 5-17. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-5108-9>
- [8] 苏培玺, 张立新, 杜明武. 胡杨不同叶形光合特性、水分利用效率及其对加富 CO₂ 的响应[J]. 植物生态学报, 2003, 27(1): 34-40.
- [9] Reich, P.B., Uhl, C., Walters, M.B., et al. (1991) Leaf Lifespan as a Determinant of Leaf Structure and Function

Amazonian Tree Species. *Oecologia*, **86**, 16-24. <https://doi.org/10.1007/BF00317383>

- [10] Schwinning, S., Davis, K., Richardson, L., *et al.* (2002) Deuterium Enriched Irrigation Indicates Different Forms of Rain Use in Shrub/Grass Species of the Colorado Plateau. *Oecologia*, **130**, 345-355. <https://doi.org/10.1007/s00442-001-0817-0>
- [11] 宋维民, 周海燕, 贾荣亮. 土壤逐渐干旱对 4 种荒漠植物光合作用和海藻糖含量的影响[J]. 中国沙漠, 2008, 28(3): 449-454.
- [12] 何季. 荒漠植物白刺对模拟增雨的生理生态响应及适应策略[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国林业科学研究院, 2015.
- [13] 常宗强, 冯起, 司建华, 等. 阿拉善雅布赖风沙区不同水分条件下白刺叶片的水分生理特征[J]. 冰川冻土, 2010, 32(5): 1015-1021.
- [14] 蒙乾财, 张晓飞, 刘晓, 等. 陕北黄土高原辽东栎林分布区北部边界形成的光合作用机制[J]. 应用生态学报, 2011, 22(6): 1409-1415.
- [15] Souza, B.D. (2010) Water Relations and Chlorophyll Fluorescence Responses of Two Leguminous Trees from Different Watering Regimes. *Acta Physiologiae Plantarum*, **32**, 235-244. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0394-0>
- [16] 肖春旺. 施水量对毛乌素沙地 4 种优势植物叶绿素荧光的影响[J]. 草地学报, 2001, 9(4): 296-301.
- [17] 张林, 罗天祥. 植物叶寿命及其相关叶性状的生态学研究进展[J]. 植物生态学报, 2004, 28(6): 844-852.
- [18] Garnier, E., Laurent, G., Bellmann, A., *et al.* (2001) Consistency of Species Ranking Based on Functional Leaf Traits. *New Phytologist*, **152**, 69-83. <https://doi.org/10.1046/j.0028-646x.2001.00239.x>
- [19] 李玉霖, 崔建垣, 苏永中. 不同沙丘生境主要植物比叶面积和叶干物质含量的比较[J]. 生态学报, 2005, 25(2): 304-311.
- [20] 陈拓, 冯虎元, 徐世建, 等. 荒漠植物叶片碳同位素组成及其水分利用效率[J]. 中国沙漠, 2002, 22(3): 288-291.
- [21] 牛书丽, 蒋高明, 高雷明, 等. 内蒙古浑善达克沙地 70 种植物的光合生理特征[J]. 植物生态学报, 2003, 27(3): 318-324.
- [22] 李明财. 藏东南高山林线不同生活型植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值及相关生理生态学特性研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国科学院青藏高原研究所, 2007.
- [23] 李秋艳, 赵文智. 5 种荒漠植物幼苗对模拟降水量变化的响应[J]. 冰川冻土, 2006, 28(3): 414-420.
- [24] 王云龙, 许振柱, 周广胜. 水分胁迫对羊草光合产物分配及其气体交换特征的影响[J]. 植物生态学报, 2004, 28(6): 803-809.
- [25] 韦莉莉, 张小泉, 侯振宏. 杉木苗木光合作用及其产物分配对水分胁迫的响应[J]. 植物生态学报, 2005, 29(3): 394-402.
- [26] 苏培玺, 严巧娣. C4 荒漠植物梭梭和沙拐枣在不同水分条件下的光合作用特征[J]. 生态学报, 2006, 26(1): 75-82.
- [27] 肖春旺, 周广胜, 赵景柱. 不同水分条件对毛乌素沙地油蒿幼苗生长和形态的影响[J]. 生态学报, 2001, 21(12): 2136-2140.