

DOI: 10.5846/stxb201311072687

任昱, 卢琦, 吴波, 刘明虎. 不同模拟增雨下白刺比叶面积和叶干物质含量的比较. 生态学报, 2015, 35(14): 4707-4715.

Ren Y, Lu Q, Wu B, Liu M H. Specific leaf area and leaf dry matter content of *Nitraria tangutorum* in the artificially simulated precipitation. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(14): 4707-4715.

不同模拟增雨下白刺比叶面积和叶干物质含量的比较

任 昱¹, 卢 琦^{1,*}, 吴 波¹, 刘明虎²

1 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091

2 中国林业科学研究院沙漠林业实验中心, 磴口 015200

摘要:以荒漠生态系统典型植物白刺(*Nitraria tangutorum*)为研究对象,根据内蒙古磴口多年平均降水量和植物生长规律,设计两个增雨时段(生长季前期与生长季后期),每个增雨时段设置两个增雨梯度(72.5mm/a(50%)、145mm/a(100%)),对天然白刺灌丛进行增雨实验,研究了不同模拟增雨处理下 2012 年与 2013 年生长季白刺叶片的比叶面积(SLA)与叶干物质含量(LDMC)的变化。结果表明,增雨处理可以增加白刺叶片的 SLA 及 LDMC,同时期增雨 100%处理对 SLA 及 LDMC 的影响大于 50%处理,但同时期增雨的两个处理之间无显著差异;白刺叶片 SLA 在生长季前期对水分响应明显,LDMC 则在生长季后期对水分反应敏感;相同增雨处理,2012 年白刺叶片 SLA 及 LDMC 的净增加值高于 2013 年;SLA 与 LDMC 在 2012 年呈显著负相关,在 2013 年虽呈负相关,但相关性不显著。在未来降雨增加的背景下,荒漠植物白刺叶片 SLA 与 LDMC 对增雨具有较强的协调适应能力,在不同生长季节可以通过改变不同的叶片性状来适应环境变化。

关键词:模拟增雨;白刺;比叶面积;叶干物质含量

Specific leaf area and leaf dry matter content of *Nitraria tangutorum* in the artificially simulated precipitation

REN Yu¹, LU Qi^{1,*}, WU Bo¹, LIU Minghu²

1 Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 The Experimental Center for Desert Forestry, Chinese Academy of Forestry, Dengkou 015200, China

Abstract: Specific leaf area (SLA, leaf area per unit dry mass) and Leaf dry matter content (LDMC, the ratio of leaf dry mass to fresh mass) as important variables in plant ecology, scientists research leaves traits mainly by the SLA and LDMC because they are associated with many critical aspects of plant growth and survival in different environment and they are can be simple measured. In this paper, the typical plants *Nitraria tangutorum* leaves was chosen as research materials, and according to years average precipitation of Dengkou and plant growth regulation, designed the two precipitation enhancement period (May to July, August to September), each precipitation enhancement period set two rain enhancement gradients (72.5mm/year (50%), 145mm/year (100%)), conducted the artificial simulation of precipitation enhancement to natural *Nitraria tangutorum* shrubs. We examined changes of SLA and LDMC of *Nitraria tangutorum* leaves during growing season in 2012 and 2013. The results showed that the artificially simulated precipitation (B/C/D/E treatment) added SLA and LDMC of *Nitraria tangutorum* leaves, at the same simulated precipitation period, effect of SLA and LDMC in 100% treatment was greater than 50% treatment, however, there was no significant difference between tow treatments in the same simulated precipitation period; SLA response to simulated precipitation in the early stage of the growing season was obviously, on the contrary, LDMC was sensitive to simulated precipitation in the late stage of the growing season. The same

基金项目:林业公益性行业科研专项(201104077)

收稿日期:2013-11-07; 网络出版日期:2014-09-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: luqi@caf.ac.cn

treatment of two years, the net added (precipitation treatments minus contrast) of SLA and LDMC of leaves in 2012 was greater than 2013; the relationship between SLA and LDMC in 2012 was significantly negatively correlated, but in 2013 it was not significantly correlated although the relationship was negatively correlated. In the context of future in rainfall creased, SLA and LDMC of *Nitraria tangutorum* leaves had strong ability of adapt and coordination to rainfall increased and it cloud adapted to the environment by changing leaf traits in the different growing seasons.

Key Words: artificial simulation of rainfall; *Nitraria tangutorum*; specific leaf area; leaf dry matter content

在全球变化背景下,水分时空动态,尤其是脉冲式降水及其它极端天气过程不确定性的增加成为未来驱动干旱、半干旱地区系统结构和功能变化的关键因子^[1]。建立在已有观测数据以及相关假设基础,未来我国干旱地区降水量均有不同程度的增加^[2-7]。全球变化是一个漫长复杂的过程,单纯围绕自然发生事件做长期跟踪研究,将很难快速、全面、深入地认识了解植物性状对未来全球变化响应及适应对策^[8]。实验模拟,特别是近自然开放式模拟为解决这一困难提供了一条便捷之路,已有研究者对干旱地区生态系统对未来降雨增加响应做了探索性研究^[9-11]。

植物生态学通过研究一些能够最大限度提供有关植物生长和适应环境的重要信息的、易于测定的植物叶片性状,了解植物对环境的生存策略^[12]。植物的叶片性状与植物的生长对策及植物利用资源的能力紧密联系,能够反应植物适应环境变化所形成的生存对策^[13]。比叶面积(SLA)就是重要的植物叶片性状之一,反映植物获取资源的能力^[14-15]。由于SLA与植物的生长和生存对策有紧密的联系,能反映植物对不同生境的适应特征,使其成为植物比较生态学研究中的叶片性状的首选指标^[16]。但是SLA的测定在实际测定中存在一定困难,针叶类的植物或无叶片的植物很难或无法测定SLA。除SLA外,叶干物质含量(LDMC)也是研究叶片性状的重要指标^[13]。LDMC是反映植物生态行为的又一叶片特征,也可以反映植物获取资源的能力,它可以表示为叶片干物质重量和叶片饱和鲜重的比值。并且,与SLA相比,LDMC具有易于测定的特点。

本文以荒漠典型植物白刺为研究对象,设置不同增雨处理,研究白刺叶片SLA与LDMC对不同增雨处理响应的差异及SLA与LDMC之间的关系,进一步揭示白刺叶片SLA与LDMC对水分变化的响应特征。

1 研究区概况

研究区位于内蒙古磴口县的中国林业科学研究院沙漠林业实验中心的第二实验场内。地理坐标为106°09′—107°10′E, 40°09′—40°55′N。研究区属于温带荒漠大陆性气候,年均温8.2℃,多年平均降水量约145mm,主要集中在6—8月份。地带性土壤发育不完全,显域性土壤为灰漠土和棕钙土,隐域性风沙土为其主要类型。

该区的地貌类型以固定沙丘为主,研究区内分布着大小不一的白刺沙包。优势物种主要有白刺、油蒿(*Artemisia ordosica* Krasch)等灌木,伴生有沙鞭(*Psammochloa villosa*)、沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)、猪毛菜(*Salsola collin*)、五星蒿(*Bassia hyssopifoli*)、狗尾草(*Setaria viridis*)等一年生和多年生草本植物。

2 实验方法

2.1 实验设计

根据该地区多年平均降水量145mm来确定人工增雨方案。本实验设计两个增雨时间及两个增雨梯度,共设置4个增雨处理,即不同月份分别对不同样地进行增雨,增雨量为当地多年平均年降雨量的50%、和100%。

对照和每个处理各4个重复,共20个实验样地。依据实验设计将样地命名为A(对照,0%)、B(5月25日—7月11日,50%)、C(5月25日—7月11日,100%)、D(7月25日—9月11日,50%)、E(7月25日—9月

11 日,100%)(表1)(本文定义 B、C 处理为生长季前期增雨;D、E 处理为生长季后期增雨)。实验样地设置及增雨处理见表 1 与表 2。增雨实验从 2012 年 5 月 25 日开始。

表 1 不同处理增加的雨量/mm

Table 1 Average supplemental precipitation every month for different treatments

增雨处理 Rain addition treatments	每次增雨量/mm The rain amount added every tim	每年增雨总量 The rain amount added every year
A	0	0
B/D	18.125	72.5
C/E	36.25	145.0

A: 对照,增雨 0%;B: 5 月 25 日—7 月 11 日,增雨 50%;C: 5 月 25 日—7 月 11 日,增雨 100%;D: 7 月 25 日—9 月 11 日,增雨 50%;E: 7 月 25 日—9 月 11 日,增雨 100%

表 2 模拟增雨时间

Table 2 Time of artificial simulation of rainfall

增雨处理 Rain addition treatments	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September
B	25 日	11 日	25 日	11 日	
C	25 日	11 日	25 日	11 日	
D			25 日	11 日	25 日
E			25 日	11 日	25 日

2.2 实验样地选择

实验样地采用随机区组排列。每个样地为一个直径 12m 的圆形,面积 113.04m²,每个样地中间有一个天然生长的白刺沙包,其半径在 3—5m 之间,高度在 1—2m 之间,各样地白刺生长状况相似。样地之间的间隔至少 5m,以减少样地之间的相互干扰。增雨时间在 6:00—10:00 之间,增雨用水取自样地附近的水井。增水设备主体为全光照喷雾装置,可以较好的应用于干旱地区稀疏植被的增水试。系统喷灌原理是利用水流反作用力推动,使设备在增水过程中实现自动旋转。由于灌木植物的年龄难以确定,因此在选择样地时尽量选择生长状况相似、大小近似的白刺沙包,各样地土壤条件、环境条件相同。样地采用随机区组排列。

2.3 土壤含水量

用土钻在每个实验样地内白刺沙包顶部取土,取样深度分为 0—10cm、10—30cm、30—50cm。装入自封袋,封口。带回实验室 105℃烘箱内烘干 24h,称重。最终取平均值作为土壤含水量,文中土壤含水量为生长季各层平均含水量。

2.4 SLA 和 LDMC 的测定方法

取样时间为 6 月 10 日、6 月 18 日、7 月 10 日、7 月 18 日、8 月 10 日、8 月 18 日、9 月 10 日、9 月 18 日。在每个样地内白刺植株上摘取 50 个完全伸展、没有病虫害的叶片,放入自封袋内后封口。回到室内,将叶片放入水中储藏 24h。取出后迅速用吸水纸粘去叶片表面的水分,在百万分之一的电子天平上称重(饱和鲜重)。

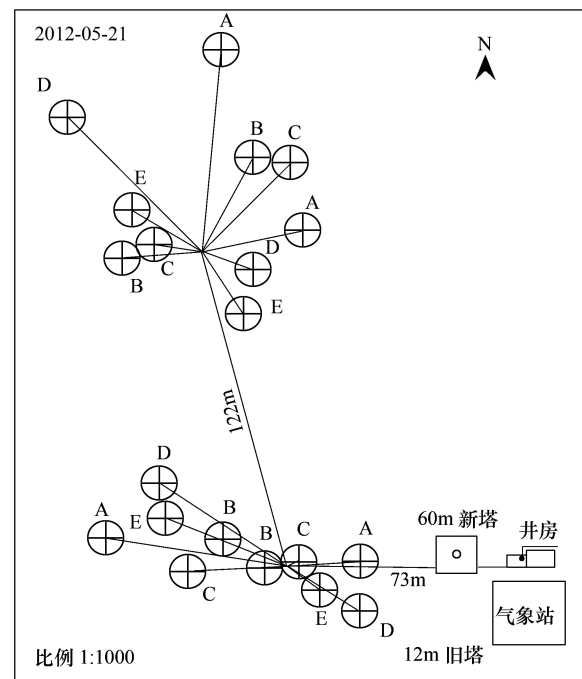


图 1 样地布设图

Fig.1 Distribution map of sample plots

将叶片放入扫描仪,用 ipwin32 软件计算叶面积;最后将叶片放入 75℃ 烘箱内烘干 48h 后取出称重(干重)。SLA 和 LDMC 计算公式如下^[16]:

$$SLA = \frac{\text{叶片面积}(\text{cm}^2)}{\text{叶片干重}(\text{g})}$$

$$LDMC = \frac{\text{叶片干重}(\text{g})}{\text{叶片饱和鲜重}(\text{g})}$$

2.5 数据分析

采用 EXCEL 及 SPSS16.0 软件对数据进行统计分析。采用最小显著差异法(LSD)比较白刺叶片 SLA 和 LDMC 对同增雨处理响应的差异。

3 结果与分析

3.1 实验样地天然降雨量与土壤含水量

实验样地天然降雨量数据来源于中国林业科学研究院沙漠林业实验中心第二实验场气象南站,由于增雨实验只在白刺生长季进行,因此只对生长季内的天然降雨量进行统计(表 3)。实验样地天然降雨量主要集中在 6—7 月份,2012 年 6—7 月降雨量占植物生长季降雨量的 81.2%;2013 年 6—7 月降雨量占生长季降雨量的 79.5%。2012 年生长季降雨量总量为 211.6mm,超过实验设计的多年平均降雨量 66.6mm;2013 年生长季天然降雨量低于多年平均降雨量 71.5mm,西北干旱地区降雨量的波动性及不确定性可能是导致两年降雨量存在的差异的原因。本文白刺叶片 SLA 及 LDMC 是在以上天然降雨背景条件下进行测定的。

表 3 实验样地 2012 年与 2013 年天然降雨量/mm

Table 3 The natural rainfall of plots in 2012 and 2013

年份 Year	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September	总量 Total
2012	14.9	48.3	123.5	6.7	18.2	211.6
2013	7.9	30.7	27.7		7.2	73.5

在已有的研究中,以 0—50 cm 土体作为指示根层来研究根表关系有一定代表性^[17],本文将 0—50cm 土体分为三层进行分析(表 4)。2012 年与 2013 年不同增雨处理下各层土壤含水量都高于对照,同时,同一处理土壤含水量随取土深度的增加而增加。

表 4 实验样地 2012 年与 2013 年土壤含水量/%

Table 4 The soil moisture content of plots in 2012 and 2013

增雨处理 Rain addition treatments	2012			2013		
	0—10cm	10—30cm	30—50cm	0—10cm	10—30cm	30—50cm
A	0.42	0.48	0.55	0.30	0.47	0.52
B	0.45	0.88	1.91	0.31	0.74	1.78
C	0.46	0.73	1.89	0.33	0.69	1.89
D	0.58	0.93	1.79	0.49	0.89	1.73
E	0.64	0.99	1.86	0.47	0.96	1.39

3.2 不同增雨处理下白刺叶片 SLA 比较

图 2 和图 3 分别为 2012 年与 2013 年白刺叶片 SLA 变化情况,可以看出,2012 年与 2013 年,无论生长季前期增雨还是生长季后期增雨,100%增雨处理下白刺叶片 SLA 都高于 50%处理。2012 年,各增雨处理白刺叶片 SLA 与对照差异显著($P < 0.05$);除 7 月 18 日,同时期增雨的两个处理之间差异不显著。SLA 峰值出现在 7 月 18 日,由于 7 月中旬是植物生长最旺盛的时期,光合能力也处于较高水平,在有水分补充的情况下,叶

片通过扩大 SLA 以提高光合能力,进行物质积累,反映了荒漠植物的生存策略。同时,峰值出现的原因与 7 月份天然降水量充足也有一定关系,因此水分可能是影响荒漠植物 SLA 一个比较敏感的因子。

2013 年,整个生长季,除 9 月外,只有 100% (C、E) 处理与对照差异显著 ($P < 0.05$), 50% 处理 (B、D) 与对照未达到显著水平 ($P > 0.05$), 表明 100% 处理可以显著增加白刺叶片 SLA, 生长季末期, 水分对 SLA 的影响很小。SLA 峰值也出现在 7 月 18 日, 但受天然降雨的影响较小。

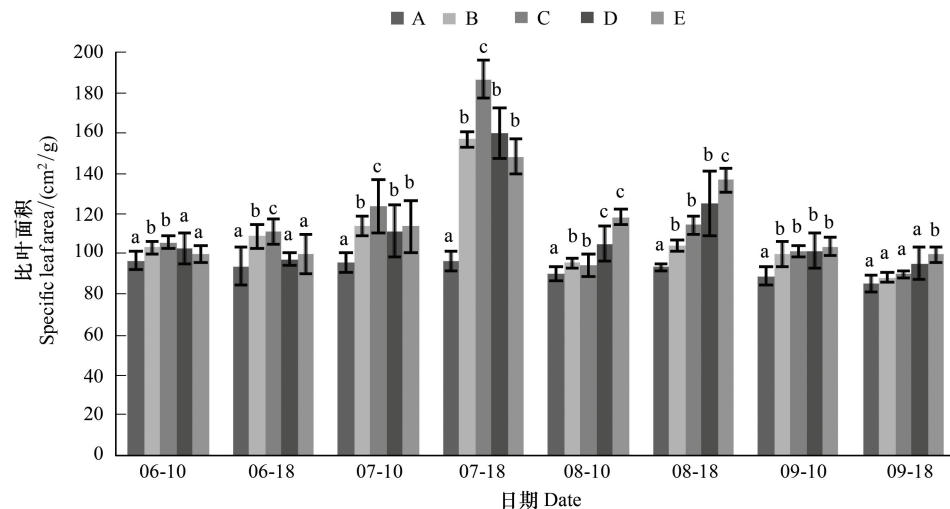


图 2 2012 年生长季 SLA 变化

Fig.2 changes of SLA during growing season in 2012

不同小写字母代表相同时间不同增雨处理之间的差异

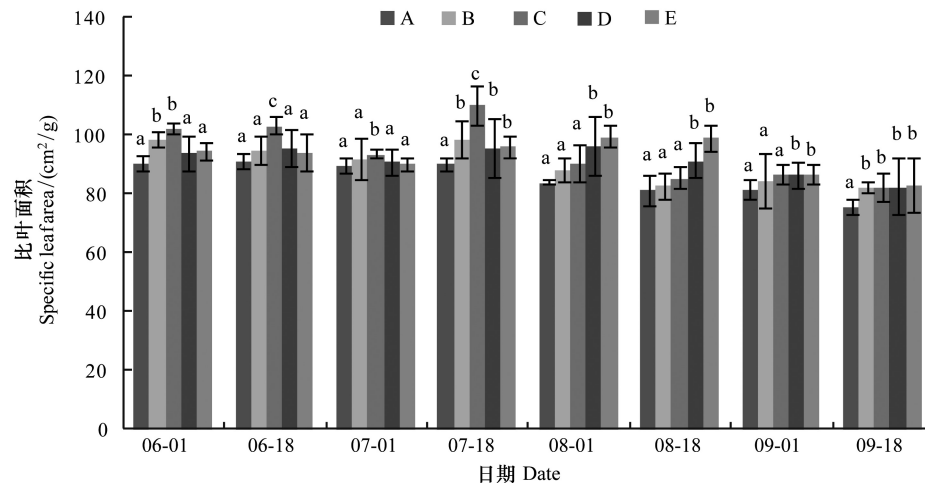


图 3 2013 年生长季 SLA 变化

Fig.3 changes of SLA during growing season in 2013

表 5 为 2012 年与 2013 年各增雨处理的净增加值 (各增雨处理-对照), 可以看出, 2012 年与 2013 年 100% 处理 SLA 净增加值都高于 50% 处理, 除 9 月外, 无论生长季前期增雨还是生长季后期增雨, 各月增雨后第 7 天 (18 日) 白刺叶片 SLA 都高于增雨前第 1 天 (10 日)。2012 年, 相同增雨梯度, 不同增雨时期的白刺叶片 SLA 净增加值 (平均值) B 处理 ($25.43 \text{ cm}^2/\text{g}$) 比 D 处理 ($17.25 \text{ cm}^2/\text{g}$) 增加 37.4%, C 处理 ($36.58 \text{ cm}^2/\text{g}$) 比 E 处理 ($22.95 \text{ cm}^2/\text{g}$) 增加 59.4%; 2013 年, B 处理 ($13.24 \text{ cm}^2/\text{g}$) 比 D 处理 ($9.64 \text{ cm}^2/\text{g}$) 增加 37.3%, C 处理 ($16.88 \text{ cm}^2/\text{g}$) 比 E 处理 ($12.25 \text{ cm}^2/\text{g}$) 增加 37.8%。就生长季节而言, 白刺叶片 SLA 对生长季前期增雨的响应更加明显; 就年际变化而言, 相同增雨处理 2012 年 SLA 净增加值高于 2013 年。

表 5 2012 年与 2013 年增雨处理 SLA 净增加值/(cm^2/g)

Table 5 The net added of SLA in rainfall treatment in 2012 and 2013

时间 Time	2012				2013			
	B	C	D	E	B	C	D	E
06-10	6.44±1.76	8.92±1.44	5.93±1.39	3.23±0.58	10.11±2.61	15.53±2.07	3.31±1.68	3.99±1.92
06-18	14.83±3.48	17.11±3.40	3.55±1.44	6.29±2.08	12.45±2.71	17.77±2.84	4.19±1.22	2.78±1.91
07-10	18.19±1.12	28.02±1.46	15.57±1.14	17.99±1.28	12.14±2.09	13.92±1.43	1.10±0.26	0.53±0.86
07-18	62.25±7.15	92.26±4.26	65.39±7.76	53.72±3.57	18.26±4.30	20.30±4.75	5.63±1.24	6.09±1.86
08-10	5.29±1.29	4.22±1.66	14.87±2.08	28.18±1.01	4.54±1.07	6.60±1.23	7.79±1.86	11.77±1.77
08-18	10.64±1.30	21.03±2.94	31.57±3.52	43.60±4.34	1.41±0.45	4.12±1.19	10.11±2.73	15.53±3.65
09-10	11.24±1.89	12.39±1.80	12.67±1.09	14.70±0.09	3.04±1.35	5.15±1.13	13.86±3.73	14.68±3.18
09-18	2.97±1.46	4.41±2.41	9.87±1.78	14.33±1.15	6.43±2.04	6.52±2.55	6.78±1.59	7.01±1.21

3.3 不同增雨处理下白刺叶片 LDMC 比较

2012 年与 2013 年,无论生长季前期增雨还是生长季后期增雨,各增雨处理下白刺叶片 LDMC 都显著高于对照 ($P<0.05$),LDMC 对 100% 增雨处理的响应高于 50% 处理(图 4,图 5),表明白刺叶片 LDMC 变化对 100% 增雨处理更敏感。生长及前期与生长季后期,同时期增雨的各处理之间 LDMC 无显著差异 ($P>0.05$),说明相同生长阶段,白刺叶片 LDMC 在 100% 增雨处理与 50% 增雨处理间未达到显著差异的水平。

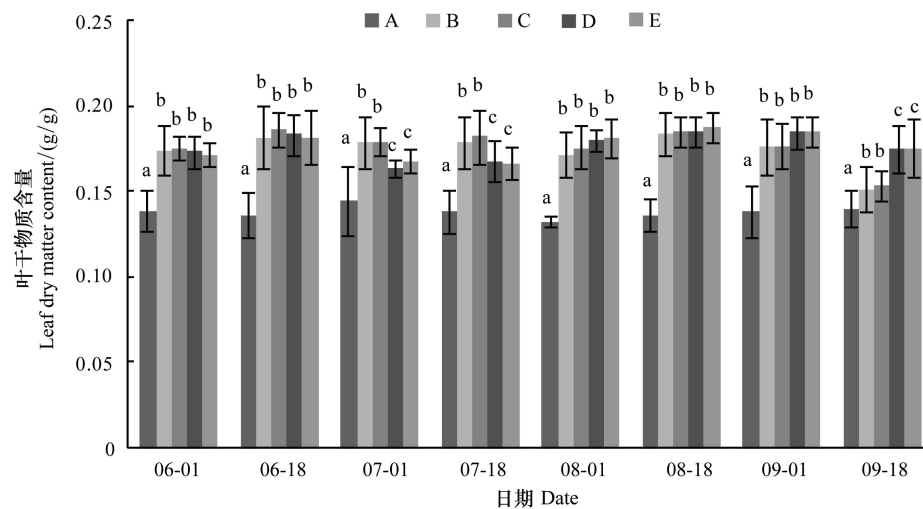


图 4 2012 年生长季 LDMC 变化

Fig.4 changes of LDMC during growing season in 2012

2012 年与 2013 年,生长季前期与生长季后期增雨,100% 增雨处理白刺叶片 LDMC 净增加值都高于 50% 增雨处理(表 6),增雨后 LDMC 净增加值高于增雨前。2012 年,相同增雨梯度,不同增雨时期的白刺叶片 LDMC 净增加值(平均值)B 处理(0.038g/g)比 D 处理(0.048g/g)减小 20.8%,C 处理(0.041g/g)比 E 处理(0.051g/g)减小 19.6%;2013 年,B 处理(0.025g/g)比 D 处理(0.046g/g)减小 45.7%,C 处理(0.026g/g)比 E 减小(0.050g/g)减小 48%。就生长季节而言,白刺叶片 LDMC 对生长季后期增雨的响应更加明显;就年际变化而言,相同增雨处理 2012 年 LDMC 净增加值高于 2013 年。

3.4 白刺叶片 SLA 与 LDMC 之间的关系

为探讨 SLA 与 LDMC 之间的关系,对 2012 年与 2013 年所有增雨处理白刺叶片 SLA 和 LDMC 进行 Pearson 相关性分析(表 7)。可知,2012 年与 2013 年白刺叶片 SLA 与 LDMC 在 2012 年呈显著的负相关关系,在 2013 年虽然呈负相关关系,但相关性不显著。

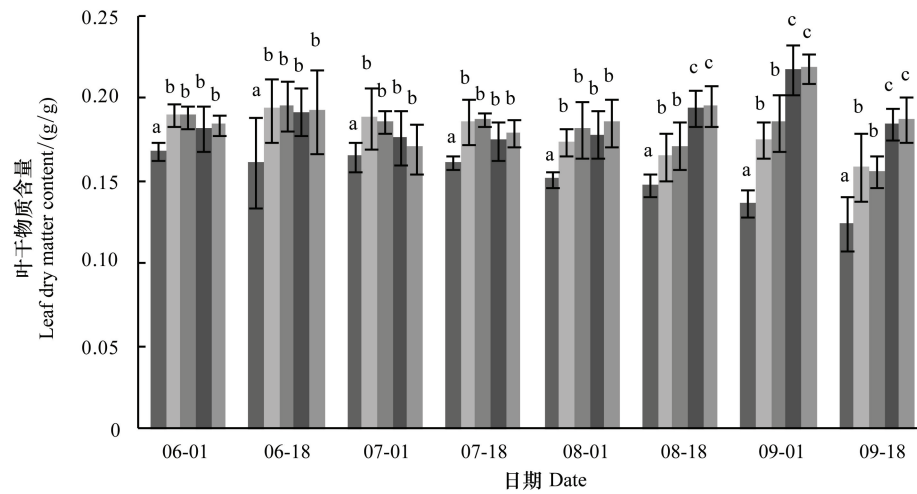


图 5 2013 年生长季 LDMC 变化

Fig.5 changes of LDMC during growing season in2013

表 6 2012 年与 2013 年增雨处理 LDMC 净增加值/(g/g)

Table 6 The net added of LDMC in rainfall treatment in 2012 and 2013

时间 Time	2012				2013			
	B	C	D	E	B	C	D	E
06-10	0.035±0.002	0.036±0.002	0.034±0.002	0.032±0.001	0.022±0.002	0.021±0.002	0.014±0.001	0.016±0.001
06-18	0.045±0.002	0.049±0.003	0.047±0.003	0.046±0.002	0.032±0.002	0.035±0.002	0.031±0.002	0.031±0.002
07-10	0.033±0.001	0.034±0.001	0.018±0.002	0.022±0.001	0.021±0.002	0.023±0.002	0.012±0.001	0.006±0.001
07-18	0.040±0.003	0.044±0.003	0.029±0.001	0.028±0.001	0.025±0.002	0.026±0.002	0.013±0.001	0.017±0.001
08-10	0.039±0.001	0.043±0.001	0.048±0.002	0.049±0.002	0.022±0.002	0.030±0.001	0.027±0.001	0.035±0.002
08-18	0.048±0.002	0.049±0.002	0.049±0.002	0.051±0.002	0.018±0.003	0.024±0.001	0.040±0.001	0.042±0.001
09-10	0.038±0.001	0.038 ±0.001	0.046±0.003	0.047±0.003	0.038±0.003	0.049±0.001	0.058±0.001	0.059±0.001
09-18	0.011±0.001	0.013±0.001	0.049±0.003	0.056±0.003	0.035±0.003	0.032±0.002	0.060±0.001	0.063±0.001

表 7 2012 年与 2013 年 SLA 及 LDMC 相关分析

Table 7 Pearson correlation of SLA and LDMC in 2012 and 2013

年份 Year	Pearson Correlation	n	年份 Year	Pearson Correlation	n
2012	-0.307 *	159	2013	-0.039	160

* 显著相关 0.05; n:样品数

4 讨论与结论

荒漠是典型的以水分为驱动因素的生态系统,土壤含水量作为荒漠植物水分的主要来源,是影响荒漠植物生长的一个重要因子,土壤含水量的变化可以直接影响叶片性状的变化。增雨处理后各层土壤含水量增加,为植物生长提供了一定的保障,也是影响叶片性状(SLA、LDMC)变化的重要因素。

2012 年与 2013 年,各增雨处理可以显著增加白刺叶片 SLA 与 LDMC,同时期增雨的两个处理之间无显著差异;不同生长时期增雨,100%增雨处理对白刺叶片 SLA 与 LDMC 的影响都较 50%增雨处理大。在水分补充的条件下,白刺通过扩大 SLA 来获得更大的光合面积进行光合作用,2012 年与 2013 年,SLA 峰值都出现在 7 月 18 日,与荒漠植物光合能力在 7 月中旬达到较高水平相一致。就生长季节而言,白刺叶片 SLA 对生长季前期增雨响应更明显,LDMC 在生长季后期对水分的响应更加明显。相同增雨处理 2012 年 SLA 与 LDMC 净增加值均高于 2013 年,导致这个结果的原因可能与 2012 年天然降雨量较高有关。

与以前的研究结果相比,白刺叶片 SLA 值(对照)在 $100\text{cm}^2/\text{g}$ 左右,大小处于中下的位置^[17]。植物在自然界的分布与植物适应环境的能力密切相关,植物的叶片对环境的反应更为敏感^[18-20]。SLA 低的植物能很好的适应贫瘠和干旱的环境,而荒漠生境土壤贫瘠,水分短缺,可供植物利用的资源相对较少,荒漠植物 SLA 值相对较低是植物适应贫瘠环境的结果,这一结果与预想的结果基本一致。SLA 与 LDMC 可以反映植物获取资源的能力,增雨增加白刺叶片 SLA 与 LDMC,可以提高白刺提高获取资源的能力,保持较高的生产力,促进植物生长,以更好地适应资源丰富环境。

增雨处理后,白刺叶片 SLA 在 2012 年 7 月 18 日出现快速增加,而同一天白刺叶片 LDMC 却没有出现同样的结果,根据这一结果可以推断,植物的 SLA 对水分条件的反应比 LDMC 更敏感,这可能与植物表型可塑性有关^[16]。Ryser^[21]的研究也发现,部分植物的 LDMC 对氮的供给和竞争没有反应。究竟是什么原因引起对照与各增雨处理之间白刺叶片 SAL 和 LDMC 的差异?研究表明,植物的 SLA 和 LDMC 的大小主要取决于叶片组织密度和叶片厚度。虽然有报道说植物叶片厚度对 SLA 的影响大于对 LDMC 的影响,但是,具体是叶片厚度还是叶片组织密度导致各处理间 SLA 和 LDMC 的差异,还需要做进一步的研究。关于植物 SLA 和 LDMC 之间的关系,主要结论是植物的 SLA 和 LDMC 之间呈负相关,本文研究结果基本符合这一结论,但是白刺叶片 SLA 和 LDMC 在 2012 年呈显著负相关关系,在 2013 年却无显著的负相关性,产生这样结果的原因可能是由于 2012 年在人工增雨的基础上天然降雨增加显著增加了白刺叶片的 SLA,植物优先选择扩大 SLA 来获取资源,而 LDMC 的增加程度不及 SLA。在较为干旱的 2013 年,荒漠植物同时增加 SLA 与 LDMC 来获取资源,促进植物生长,反映了植物适应环境变化的策略。鉴于 SLA 与 LDMC 存在年际间的差异性,有必要开展时间尺度上该领域的研究。综上所述,荒漠植物白刺叶片 SLA 与 LDMC 对增雨具有较强的协调适应能力,可以通过改变不同的叶片性状来适应环境的变化。

致谢:中国林业科学研究院沙漠林业实验中心刘明虎处长帮助野外实验,沙林中心提供降雨数据,特此致谢。

参考文献 (References):

- [1] Schwinning S, Sala O E, Loik M E, Ehleringer T R. Thresholds, memory and seasonality: understanding pulse dynamics in arid/semi-arid ecosystems. *Oecologia*, 2004, 141(2): 191-193.
- [2] IPCC. Climate Change 2007: Impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of working group ii to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2007.
- [3] 施雅风,沈永平,胡汝骥.西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨.冰川冻土, 2002, 24(3): 219-226.
- [4] 施雅风,沈永平,李栋梁,张国威,丁永健,胡汝骥,康尔泗.中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨.第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164.
- [5] Gao X J, Zhao Z C, Ding Y H, Huang R H, Giorgi F. Climate change due to greenhouse effects in China as simulated by a regional climate model. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2001, 18(6): 1224-1230.
- [6] 王英,曹明奎,陶波,李克让.全球气候变化背景下中国降水量空间格局的变化特征.地理研究, 2006, 25(6): 1031-1040.
- [7] 翟盘茂,潘晓华.中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化.地理学报, 2003, 58(Z1): 1-10.
- [8] Zheng S X, Shanguan Z P. Stomata-density changes of the plants in the Loess Plateau of China over last century. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2457-2464.
- [9] Philip A F, Carlisle J D, Knapp A K, Blair J M, Collins S L. Altering rainfall timing and quantity in a mesic grassland ecosystem: design and performance of rainfall manipulation shelters. *Ecosystems*, 2000, 3(3): 308-319.
- [10] Weltzin J F, Loik M E, Schwinning S, Williams D G, Fay P A, Haddad B M, Harte J, Huxman T E, Knapp A K, Lin G H, Pockman W T, Shaw R M, Small E E, Smith M D, Smith S D, Tissue D T, Zak J C. Assessing the response of terrestrial ecosystems to potential changes in precipitation. *BioScience*, 2003, 53(10): 941-952.
- [11] Huxman T E, Snyder K A, Tissue D, Leffler A J, Ogle K, Pockman W T, Sandquist D R, Potts D L, Schwinning. Precipitation pulses and carbon fluxes in semi-arid and arid ecosystems. *Oecologia*, 2004, 141(2): 254-268.
- [12] Garnier E, Laurent G, Bellmann A, Debain S, Berthelie P, Ducout B, Roumet C, Navas M L. Consistency of species ranking based on functional leaf traits. *New Phytologist*, 2001, 152(1): 69-83.

- [13] Vendramini F, Dfaz S, Gurvich DE, Wilson P J, Thompson K, Hodgson J. Leaf traits as indicators of resource use strategy in floras with succulent species. *New Phytologist*, 2002, 154(1): 147-157.
- [14] Meziane D, Shipley B. Interacting determinants of specific leaf area in 22 herbaceous species: effects of irradiance and nutrient availability. *Plant, Cell&Environment*, 1999, 22(5): 447-459.
- [15] Poorter H, de Jong R. A comparison of specific leaf area, chemical composition and leaf construction COSTS of field plants from 1-5 habitats differing in productivity. *New Phytologist*, 1999, 143(1): 163-176.
- [16] 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. *生态学报*, 2005, 25(2): 304-311.
- [17] Garnier E, Shipley B, Roumet C, Laurent G. A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. *Functional Ecology*, 2001, 15(5): 688-695.
- [18] 刘苏峡, 邢博, 袁国富, 莫兴国, 林忠辉. 中国根层与表层土壤水分关系分析. *植物生态学报*, 2013, 37(1): 1-17.
- [19] Migahid M A, Elhaak M A. Ecophysiological studies on some desert plant species native to the Mediterranean area in Egypt. *Journal of Arid Environment*, 2001, 48(2): 191-203.
- [20] Shipley B, Vu T T. Dry matter content as a measure of dry matter concentration in plants and their parts. *New Phytologist*, 2002, 153(2): 359-364.
- [21] Ryser P. The importance of tissue density for growth and life span of leaves and roots: a comparison of five ecologically contrasting grasses. *Functional Ecology*, 1996, 10(6): 717-723.