

土壤干旱条件下保水剂对 多年生黑麦草光合特性的影响

马行, 刘刊, 权俊娇, 陆小平, 王波^①

(苏州大学园艺系, 江苏 苏州 215123)

摘要: 以多年生黑麦草(*Lolium perenne* Linn.)为研究对象,对土壤干旱条件下(土壤含水量12.6%、10.5%、8.4%和6.3%)使用保水剂后叶片光合特性的动态变化进行了分析。结果显示:随土壤含水量的降低和胁迫时间(12 d)的延长,多年生黑麦草叶片的净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、蒸腾速率(Tr)和光能利用效率(LUE)呈逐渐下降的趋势;随土壤含水量的降低,胞间CO₂浓度(Ci)逐渐升高、瞬时水分利用效率(WUE)逐渐降低,但随胁迫时间的延长Ci和WUE则呈现不同的变化趋势;总体上,在土壤含水量不同的条件下及不同的胁迫时间各指标均有显著差异($P < 0.05$)。与未添加保水剂的各处理组相比,添加质量分数2%保水剂后多年生黑麦草叶片的Pn、Gs、WUE和LUE值均增大,而Ci和Tr值则降低,差异达显著水平($P < 0.05$)。研究表明:合理使用保水剂能提高多年生黑麦草叶片的光合能力以及土壤的保水能力,增强多年生黑麦草对干旱环境的适应性。

关键词: 多年生黑麦草; 土壤干旱; 保水剂; 光合特性

中图分类号: Q945.78; S482.99; S543+.6 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2013)04-0083-06

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2013.04.12

Effect of water retaining agent on photosynthetic characteristics of *Lolium perenne* under soil drought MA Xing, LIU Kan, QUAN Junjiao, LU Xiaoping, WANG Bo^① (Department of Horticulture, Soochow University, Suzhou 215123, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2013, 22 (4): 83-88

Abstract: Taking *Lolium perenne* Linn. as the experimental object, dynamic change of photosynthetic characteristics of leaf under soil drought (water content 12.6%, 10.5%, 8.4% and 6.3% in soil) was analyzed after using water retaining agent. The results show that with reducing of water content in soil and prolonging of stress time, all of net photosynthetic rate (Pn), stomatal conductance (Gs), transpiration rate (Tr) and light use efficiency (LUE) of *L. perenne* leaf appear gradually decreasing trend, while intercellular CO₂ concentration (Ci) increases gradually and water use efficiency (WUE) decreases gradually with reducing of water content in soil, but Ci and WUE appear different changing trends with prolonging of stress time. Generally, there are significant differences in all indexes among different conditions of water content in soil and among different stress times ($P < 0.05$). Compared with all treatment groups without water retaining agent, after adding mass-ratio 2% water retaining agent, values of Pn, Gs, WUE and LUE in *L. perenne* leaf all increase while its Ci and Tr values all decrease, and their differences reach significant level ($P < 0.05$). It is suggested that rationally applying of water retaining agent can enhance photosynthetic capable of *L. perenne* and water retention capacity of soil, and can improve adaptability of *L. perenne* to drought environment.

Key words: *Lolium perenne* Linn.; soil drought; water retaining agent; photosynthetic characteristics

收稿日期: 2013-04-12

基金项目: 苏州市科学技术局资助项目(SYN201225)

作者简介: 马行(1989—),男,河北邢台人,硕士研究生,主要从事植物生态环境与植物修复等方面的研究。

^①通信作者 E-mail: wangb@suda.edu.cn

中国是水资源短缺的国家之一,人均水资源占有量不足全球平均水平的1/4,且存在地区分布不均、降水量年内年际分配极不均匀等问题。在影响植物生长的诸多逆境中干旱居首位,且因水分亏缺而引起的作物生长和产量的损失超过其他胁迫的总和,因此,研究植物的抗旱性尤为重要^[1]。植物的光合作用极易受植物自身特性和环境条件的影响;水分是限制植物光合作用和生长的常见胁迫因子,植物的光合特性可以直接反映干旱胁迫条件下植物的生长状况。因此,在干旱条件下使用保水剂对作物的光合生理有一定的影响。

禾本科(Poaceae)植物多年生黑麦草(*Lolium perenne* Linn.)原为栽培牧草,目前也广泛应用于观赏草坪,是一种重要的冷季型草坪草。目前有关盐胁迫对多年生黑麦草光合特性影响的研究较多,但对于干旱条件下其光合特性变化的研究报道较少,其中针对保水剂的相关研究更不多见。草坪草水耗问题始终是难以解决的问题之一,加之中国大部分地区水资源匮乏,因而研究干旱条件下保水剂对多年生黑麦草光合特性的影响具有一定的理论意义及应用价值。为此,作者对土壤干旱胁迫条件下使用保水剂对多年生黑麦草光合特性的影响进行了研究,以期为提高多年生黑麦草的抗旱性、改善草坪草水耗严重的问题提供实验依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试多年生黑麦草品种‘爱神特2号’由北京布莱特草业有限公司提供;使用的保水剂为“沃特”,吸水倍率达 $500\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ 以上,由东营华业新材料有限公司提供;栽培土壤取自苏州大学独墅湖校园,含有有机质 $14.42\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $136.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和速效钾 $374.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, pH 7.59,土壤为松砂土。

1.2 方法

1.2.1 播种及干旱处理方法 挑选健康饱满的多年生黑麦草种子,在无菌水中浸泡24 h;将种子均匀铺在已消毒且底部垫有3张无菌滤纸的培养皿内催芽48 h。将栽培土风干、磨碎后过10目筛,然后均匀加入质量分数2%的保水剂(对照不加保水剂),将栽培基质装入长18 cm、宽14 cm、高7 cm的营养钵内;将饱满萌动的种子撒播于土表,每盆大约播种120粒,

其上覆盖0.5 cm风干土,浇透水后置于光照培养箱中培养,昼夜培养温度分别为 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$,光照时间 $12\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

待种子萌发并生长60 d后进行干旱胁迫。将起始土壤含水量(21%)设定为最大田间持水量,停止补水使土壤含水量分别自然下降至12.6%、10.5%、8.4%和6.3%,分别为最大田间持水量的60%、50%、40%和30%,每日称重补水保持土壤含水量恒定。每处理3盆(视为3次重复)。

1.2.2 光合指标测定方法 每处理选取长势一致且叶位基本相同的叶片3片,采用LI-6400XT型便携式光合测定系统(美国LI-COR公司)测定叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r),并计算水分利用效率和光能利用效率。测定时由光合测定系统内部的红蓝光源提供持续稳定的光照并设定光照强度为 $1500\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。测定时间为白天的8:00至11:00,测定时大气 CO_2 浓度约为 $400\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。每3天测1次,共测4次。

1.3 数据处理及分析

按以下公式计算水分利用效率和光能利用效率^[2]:水分利用效率(WUE)=净光合速率/蒸腾速率;光能利用效率(LUE)=净光合速率/光合有效辐射强度(PAR)。

采用EXCEL 2003和SPSS 17.0统计分析软件进行数据处理、制表以及单因素方差分析。

2 结果和分析

2.1 对叶片净光合速率的影响

在土壤干旱条件下添加保水剂后多年生黑麦草叶片净光合速率(P_n)的变化见表1。由表1可知:随土壤干旱胁迫程度的提高和胁迫时间的延长,叶片的 P_n 呈持续下降趋势。同一干旱胁迫条件下添加保水剂后 P_n 均显著提升。差异显著性分析结果表明:在同一干旱胁迫条件下相同的胁迫时间,添加保水剂后叶片 P_n 值均高于未添加保水剂的处理组,差异显著($P<0.05$);而不论是否添加保水剂,同一胁迫时间不同干旱胁迫条件下 P_n 均有显著差异,其中,在土壤含水量12.6%的条件下叶片的 P_n 值均最大,在土壤含水量6.3%的条件下叶片的 P_n 值均最小。

2.2 对叶片气孔导度的影响

在土壤干旱条件下添加保水剂后多年生黑麦草

叶片气孔导度(G_s)的变化见表2。由表2可知:随土壤干旱胁迫程度的提高和胁迫时间的延长,叶片的 G_s 呈持续下降的趋势。同一干旱胁迫条件下添加保水剂后叶片 G_s 均显著提高。差异显著性分析结果表明:在同一干旱胁迫条件下相同的胁迫时间,添加保水剂后叶片 G_s 值均高于未添加保水剂的处理组,其

差异达显著水平($P<0.05$);除第3天未添加保水剂且土壤含水量8.4%和10.5%处理组间叶片 G_s 值差异不显著外,不论是否添加保水剂,同一胁迫时间不同干旱胁迫条件下叶片 G_s 值均有显著差异;其中,在土壤含水量12.6%的条件下叶片的 G_s 值均最大,在土壤含水量6.3%的条件下叶片的 G_s 值均最小。

表1 在土壤干旱胁迫条件下使用保水剂对多年生黑麦草叶片净光合速率(P_n)的影响($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 1 Effect of using water retaining agent (WRA) on net photosynthetic rate (P_n) of *Lolium perenne* Linn. leaf under drought stress of soil ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

土壤含水量/% Water content in soil	保水剂质量分数/% Mass-ratio of WRA	不同胁迫时间 P_n 的平均值/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$				Average value of P_n at different stress times	
		3 d	6 d	9 d	12 d		
6.3	0	0.55±0.03dB	0.20±0.05dB	-0.34±0.08dB	-0.72±0.03dB		
8.4	0	1.50±0.14cB	0.75±0.05cB	0.39±0.00cB	-0.45±0.06cB		
10.5	0	4.71±0.13bB	3.49±0.03bB	1.94±0.01bB	0.59±0.04bB		
12.6	0	8.20±0.07aB	6.04±0.12aB	4.21±0.18aB	1.59±0.01aB		
6.3	2	0.90±0.11dA	0.60±0.04dA	0.31±0.01dA	-0.45±0.11dA		
8.4	2	3.04±0.01cA	1.79±0.13cA	0.85±0.06cA	0.14±0.01cA		
10.5	2	6.40±0.01bA	4.58±0.11bA	3.49±0.07bA	1.37±0.18bA		
12.6	2	9.86±0.13aA	8.20±0.07aA	5.25±0.46aA	3.11±0.10aA		

¹⁾ 同列中不同的大写字母表示在土壤含水量一致的条件下不同保水剂处理间差异显著($P<0.05$) Different capitals in the same column mean the significant difference among different treatment groups of water retaining agent under the same water content in soil ($P<0.05$); 同列中不同的小写字母表示保水剂处理一致的各处理组间差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column mean the significant difference among different treatment groups with the same treatment of water retaining agent ($P<0.05$).

表2 在土壤干旱胁迫条件下使用保水剂对多年生黑麦草叶片气孔导度(G_s)的影响($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 2 Effect of using water retaining agent (WRA) on stomatal conductance (G_s) of *Lolium perenne* Linn. leaf under drought stress of soil ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

土壤含水量/% Water content in soil	保水剂质量分数/% Mass-ratio of WRA	不同胁迫时间 G_s 的平均值/ $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$				Average value of G_s at different stress times	
		3 d	6 d	9 d	12 d		
6.3	0	49.59±3.58dB	44.87±2.35dB	33.48±1.12dB	27.13±1.63dB		
8.4	0	75.07±2.31cB	52.77±4.40cB	46.36±2.10cB	34.75±2.19cB		
10.5	0	77.53±1.28bcB	64.32±3.25bB	54.21±0.49bB	45.04±0.66bB		
12.6	0	95.87±2.03aB	74.55±0.72aB	68.95±0.80aB	52.78±0.15aB		
6.3	2	58.25±0.31dA	50.44±3.04dA	46.41±1.30dA	34.54±3.80dA		
8.4	2	84.93±1.35cA	64.72±0.63cA	53.05±1.35cA	47.62±0.57cA		
10.5	2	100.64±0.49bA	84.57±7.09bA	75.14±5.78bA	70.01±0.48bA		
12.6	2	117.73±0.09aA	95.40±2.45aA	82.91±0.49aA	72.67±4.53aA		

¹⁾ 同列中不同的大写字母表示在土壤含水量一致的条件下不同保水剂处理间差异显著($P<0.05$) Different capitals in the same column mean the significant difference among different treatment groups of water retaining agent under the same water content in soil ($P<0.05$); 同列中不同的小写字母表示保水剂处理一致的各处理组间差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column mean the significant difference among different treatment groups with the same treatment of water retaining agent ($P<0.05$).

2.3 对叶片胞间 CO_2 浓度的影响

在土壤干旱条件下添加保水剂后多年生黑麦草叶片胞间 CO_2 浓度(C_i)的变化见表3。由表3可知:随干旱胁迫时间的延长,在土壤含水量12.6%的条件下叶片的 C_i 值呈逐渐下降的趋势,在土壤含水量10.5%的条件下 C_i 呈先降后升的趋势,而在土壤含

水量8.4%和6.3%的条件下 C_i 呈持续上升的趋势。同一干旱胁迫条件下添加保水剂后叶片 C_i 均显著降低。差异显著性分析结果表明:在同一干旱胁迫条件下相同的胁迫时间,添加保水剂后叶片 C_i 值均低于未添加保水剂的处理组,差异显著($P<0.05$)。不论是否添加保水剂,同一胁迫时间随土壤含水量的增加

叶片的 C_i 均逐渐降低,多数处理组间均有显著差异;其中,在土壤含水量 12.6% 的条件下叶片 C_i 均最小,在土壤含水量 6.3% 的条件下叶片的 C_i 均最大。

2.4 对叶片蒸腾速率的影响

在土壤干旱条件下添加保水剂后多年生黑麦草叶片蒸腾速率(Tr)的变化见表4。由表4可知:随干旱胁迫强度的提高和胁迫时间的延长,多年生黑麦草叶片的 Tr 呈逐渐下降的趋势。同一干旱胁迫条件下

添加保水剂后叶片的 Tr 均有所下降。差异显著性分析结果表明:在同一干旱胁迫条件下相同的胁迫时间,添加保水剂后叶片 Tr 值均小于未添加保水剂的处理组,差异显著($P<0.05$)。不论是否添加保水剂,同一胁迫时间随土壤含水量的增加叶片的 Tr 值均逐渐升高,总体上各处理组间有显著差异;其中,在土壤含水量 12.6% 的条件下叶片 Tr 均最大,在土壤含水量 6.3% 的条件下叶片的 Tr 均最小。

表3 在土壤干旱胁迫条件下使用保水剂对多年生黑麦草叶片胞间 CO_2 浓度(C_i)的影响($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 3 Effect of using water retaining agent (WRA) on intercellular CO_2 concentration (C_i) of *Lolium perenne* Linn. leaf under drought stress of soil ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

土壤含水量/% Water content in soil	保水剂质量分数/% Mass-ratio of WRA	不同胁迫时间 C_i 的平均值/ $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$				Average value of C_i at different stress times			
		3 d	6 d	9 d	12 d	3 d	6 d	9 d	12 d
6.3	0	431.41±4.63aA	445.51±2.18aA	473.97±16.25abA	530.33±7.44aA				
8.4	0	427.80±1.51aA	439.23±1.62bA	484.15±5.50aA	498.72±7.00bA				
10.5	0	388.65±4.27bA	355.62±1.07cA	463.72±1.81bA	471.90±9.21cA				
12.6	0	364.13±1.64cA	336.48±2.36dA	320.19±1.23cA	303.14±5.04dA				
6.3	2	408.29±6.12aB	427.67±5.46aB	443.75±0.25aB	504.25±5.85aB				
8.4	2	343.24±4.13cA	426.19±3.62aB	462.90±9.66cA	487.24±7.52cA				
10.5	2	340.29±3.43bB	315.80±2.09bB	382.88±10.18cB	396.05±3.52cB				
12.6	2	341.99±1.18bB	306.70±2.35cB	296.89±7.55dB	275.81±7.39dB				

¹⁾ 同列中不同的大写字母表示在土壤含水量一致的条件下不同保水剂处理间差异显著($P<0.05$) Different capitals in the same column mean the significant difference among different treatment groups of water retaining agent under the same water content in soil ($P<0.05$); 同列中不同的小写字母表示保水剂处理一致的各处理组间差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column mean the significant difference among different treatment groups with the same treatment of water retaining agent ($P<0.05$).

表4 在土壤干旱胁迫条件下使用保水剂对多年生黑麦草叶片蒸腾速率(Tr)的影响($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 4 Effect of using water retaining agent (WRA) on transpiration rate (Tr) of *Lolium perenne* Linn. leaf under drought stress of soil ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

土壤含水量/% Water content in soil	保水剂质量分数/% Mass-ratio of WRA	不同胁迫时间 Tr 的平均值/ $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$				Average value of Tr at different stress times			
		3 d	6 d	9 d	12 d	3 d	6 d	9 d	12 d
6.3	0	1.25±0.04dA	0.97±0.06dA	0.86±0.01dA	0.74±0.02dA				
8.4	0	1.85±0.05cA	1.48±0.14cA	1.16±0.13cA	1.03±0.01cA				
10.5	0	2.24±0.01bA	1.70±0.03bA	1.23±0.06bcA	1.13±0.13bcA				
12.6	0	2.76±0.03aA	2.03±0.03aA	1.54±0.02aA	1.47±0.00aA				
6.3	2	1.05±0.00dB	0.92±0.04dA	0.69±0.01dB	0.64±0.05dB				
8.4	2	1.58±0.16cB	1.25±0.01cB	0.99±0.07cB	0.88±0.02cA				
10.5	2	2.07±0.02bB	1.31±0.01bB	1.17±0.00bA	1.00±0.01bB				
12.6	2	2.66±0.00aB	1.96±0.05aB	1.39±0.01aB	1.29±0.02aB				

¹⁾ 同列中不同的大写字母表示在土壤含水量一致的条件下不同保水剂处理间差异显著($P<0.05$) Different capitals in the same column mean the significant difference among different treatment groups of water retaining agent under the same water content in soil ($P<0.05$); 同列中不同的小写字母表示保水剂处理一致的各处理组间差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column mean the significant difference among different treatment groups with the same treatment of water retaining agent ($P<0.05$).

2.5 对叶片瞬时水分利用效率的影响

在土壤干旱条件下添加保水剂后多年生黑麦草叶片瞬时水分利用效率(WUE)的变化见表5。由表5可知:随干旱胁迫时间的延长,在土壤含水量 6.3% 和

8.4% 的条件下,叶片的 WUE 呈持续下降趋势;在土壤含水量 10.5% 和 12.6% 的条件下,WUE 呈先上升后持续下降的趋势。添加保水剂后各处理组叶片的 WUE 均有所提高。差异显著性分析结果表明:在同

一干旱胁迫条件下相同的胁迫时间,添加保水剂后叶片 WUE 均大于未添加保水剂处理组,差异显著 ($P < 0.05$)。不论是否添加保水剂,同一胁迫时间随土壤含水量的增加叶片的 WUE 均逐渐升高,各处理组间

均有显著差异;其中,在土壤含水量 12.6% 的条件下叶片 WUE 均最大,在土壤含水量 6.3% 的条件下叶片的 WUE 均最小。

表5 在土壤干旱胁迫条件下使用保水剂对多年生黑麦草叶片瞬时水分利用效率 (WUE) 的影响 ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

Table 5 Effect of using water retaining agent (WRA) on water use efficiency (WUE) of *Lolium perenne* Linn. leaf under drought stress of soil ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

土壤含水量/% Water content in soil	保水剂质量分数/% Mass-ratio of WRA	不同胁迫时间 WUE 的平均值/ $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ Average value of WUE at different stress times			
		3 d	6 d	9 d	12 d
6.3	0	0.44±0.04dB	0.21±0.06dB	-0.40±0.10dB	-0.98±0.07dB
8.4	0	0.81±0.09cB	0.51±0.08cB	0.34±0.04cB	-0.44±0.06cB
10.5	0	2.10±0.06bB	2.06±0.05bB	1.58±0.09bB	0.53±0.03bB
12.6	0	2.97±0.01aB	2.97±0.05aB	2.74±0.09aB	1.08±0.00aB
6.3	2	0.86±0.10dA	0.65±0.06dA	0.45±0.01dA	-0.70±0.16dA
8.4	2	1.94±0.21cA	1.43±0.09cA	0.86±0.12cA	0.17±0.01cA
10.5	2	3.09±0.02bA	3.49±0.08bA	2.99±0.06bA	1.37±0.18bA
12.6	2	3.70±0.05aA	4.18±0.14aA	3.78±0.30aA	2.41±0.12aA

¹⁾ 同列中不同的大写字母表示在土壤含水量一致的条件下不同保水剂处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different capitals in the same column mean the significant difference among different treatment groups of water retaining agent under the same water content in soil ($P < 0.05$); 同列中不同的小写字母表示保水剂处理一致的各处理组间差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column mean the significant difference among different treatment groups with the same treatment of water retaining agent ($P < 0.05$).

2.6 对叶片光能利用效率的影响

在土壤干旱条件下添加保水剂后多年生黑麦草叶片光能利用效率 (LUE) 的变化见表 6。由表 6 可知:随干旱胁迫强度的提高和胁迫时间的延长,叶片的 LUE 呈持续下降的趋势。添加保水剂后各处理组叶片的 LUE 均有所上升。差异显著性分析结果表明:在同一干旱胁迫条件下相同的胁迫时间,添加保

水剂后叶片的 LUE 均大于未添加保水剂处理组,差异显著 ($P < 0.05$)。不论是否添加保水剂,同一胁迫时间随土壤含水量的增加叶片的 LUE 均逐渐升高,各处理组间有显著差异;其中,在土壤含水量 12.6% 的条件下叶片的 LUE 均最大,在土壤含水量 6.3% 的条件下叶片的 LUE 均最小。

表6 在土壤干旱胁迫条件下使用保水剂对多年生黑麦草叶片光能利用效率 (LUE) 的影响 ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

Table 6 Effect of using water retaining agent (WRA) on light use efficiency (LUE) of *Lolium perenne* Linn. leaf under drought stress of soil ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

土壤含水量/% Water content in soil	保水剂质量分数/% Mass-ratio of WRA	不同胁迫时间 LUE 的平均值/ $\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ Average value of LUE at different stress times			
		3 d	6 d	9 d	12 d
6.3	0	0.37±0.02dB	0.13±0.03dB	-0.23±0.06dB	-0.49±0.02dB
8.4	0	1.01±0.10cB	0.50±0.04cB	0.26±0.00cB	-0.31±0.04cB
10.5	0	3.16±0.09bB	2.34±0.02bB	1.30±0.01bB	0.40±0.02bB
12.6	0	5.50±0.05aB	4.06±0.08aB	2.83±0.12aB	1.07±0.00aB
6.3	2	0.60±0.08dA	0.40±0.03dA	0.21±0.00dA	-0.30±0.07dA
8.4	2	2.03±0.01cA	1.19±0.09cA	0.57±0.04cA	0.10±0.00cA
10.5	2	4.62±0.61bA	3.52±0.08bA	2.33±0.05bA	0.91±0.12bA
12.6	2	6.58±0.08aA	5.47±0.05aA	3.50±0.30aA	2.08±0.07aA

¹⁾ 同列中不同的大写字母表示在土壤含水量一致的条件下不同保水剂处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different capitals in the same column mean the significant difference among different treatment groups of water retaining agent under the same water content in soil ($P < 0.05$); 同列中不同的小写字母表示保水剂处理一致的各处理组间差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column mean the significant difference among different treatment groups with the same treatment of water retaining agent ($P < 0.05$).

3 讨论和结论

光合作用的强弱反映了植物固定 CO_2 能力的大小,表现为有机物的积累。本研究结果表明:干旱胁迫可导致多年生黑麦草叶片净光合速率(Pn)下降,且随干旱胁迫强度的增加和胁迫时间的延长 Pn 持续下降,这与李在军等^[3]的研究结果一致。光能利用效率由 Pn 和光照强度所决定,因此在光照强度恒定的条件下多年生黑麦草叶片光能利用效率的变化趋势与 Pn 的变化趋势一致,均呈不断下降的趋势;添加保水剂后其光能利用效率有一定程度的提升,说明保水剂能够在一定程度上提高多年生黑麦草叶片的光合能力,使其能适应干旱胁迫环境,延缓干旱胁迫对多年生黑麦草光合作用的抑制。在干旱胁迫条件下,以水分为主的环境因子对植物光合作用的影响常大于其自身生理因子的影响,因此保水剂可能是通过调控土壤水分进而影响植物的光合生理过程^[4]。

实验结果表明:在土壤含水量 12.6% 的条件下,多年生黑麦草叶片 Pn 下降,同时伴随着气孔导度(Gs)和胞间 CO_2 浓度(Ci)的降低,说明 Gs 的降低限制了 CO_2 的进入,属于光合气孔限制;在土壤含水量 10.5% 的条件下,叶片的 Ci 先降低后升高,表现为光合气孔限制向非气孔限制过渡;在土壤含水量 8.4% 和 6.3% 的条件,随 Pn 的下降 Ci 持续升高,属于光合非气孔限制。这一现象与其他研究者对其他植物的研究结果一致^[5-6]。

植物对水分的消耗一部分为自身的蒸腾作用,另一部分则为无效蒸发损耗。施用保水剂能够提高土壤含水量、减少土壤无效蒸发^[7]。蒸腾作用是水分从活植物体表面(主要是叶片)以水蒸气状态散失到大气中的过程,其强弱可用蒸腾速率(Tr)来表征; Tr 不仅受外界环境条件的影响,还受植物自身生理过程(特别是 Gs)的调节和控制。而保水剂则可通过影响土壤水分状况调控植物的 Tr 。本研究结果表明:随干旱胁迫强度的增加和胁迫时间的延长,多年生黑麦草叶片的 Tr 均呈持续下降趋势,这一现象与李艳秋等^[8]和黄承建等^[9]的研究结果一致。但添加保水剂后叶片的 Tr 降低,这是植物适应干旱的重要机制之一^[10-11],有利于维持其体内水分平衡。

瞬时水分利用效率(WUE)是重要的生理指标之

一,表征植物对逆境的适应性^[12],且与植物的生存、生长和分布密切相关,并由 Pn 和 Tr 所决定,因而,研究植物的 WUE 及相关生理指标的变化规律对节水抗旱具有重要意义。本研究结果显示:在轻度干旱胁迫条件下,多年生黑麦草叶片的 WUE 呈先上升后逐渐下降趋势,这可能反映了其对干旱的一种适应性;在重度干旱胁迫条件下,WUE 持续下降,但在添加保水剂后 WUE 有所上升,使多年生黑麦草对水分的有效利用增加、无效蒸发减少。说明使用适量的保水剂能够一定程度提高多年生黑麦草的保水能力,使其抗旱性提高。保水剂可能通过改善土壤水分环境调节植物叶片的水分状况,从而影响植物的光合作用过程。

参考文献:

- [1] 何开跃,李晓储,黄利斌,等. 干旱胁迫对木兰科 5 树种生理生化指标的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2004, 13(4): 20-23.
- [2] CHEN K, HU G Q, KEUTGEN N, et al. Effects of NaCl salinity and CO_2 enrichment on pepino (*Solanum muricatum* Ait.): II. Leaf photosynthetic properties and gas exchange[J]. Scientia Horticulturae, 1999, 81(1): 43-56.
- [3] 李在军,冷平生,丛者福. 黄连木对干旱胁迫的生理响应[J]. 植物资源与环境学报, 2006, 15(3): 47-50.
- [4] 张德奇,廖允成,贾志宽,等. 旱地谷子集水保水技术的生理生态效应[J]. 作物学报, 2006, 32(5): 738-742.
- [5] 余玲,王彦荣, GARNETT T, 等. 紫花苜蓿不同品种对干旱胁迫的生理响应[J]. 草业学报, 2006, 15(3): 75-85.
- [6] 云建英,杨甲定,赵哈林. 干旱和高温对植物光合作用的影响机制研究进展[J]. 西北植物学报, 2006, 26(3): 0641-0648.
- [7] 赵西宁,黄占斌,何方. 复水前后冬小麦光合生理特征对保水剂用量的响应[J]. 农业机械学报, 2011, 42(7): 116-123.
- [8] 李艳秋,尹伟伦,夏新莉. 干旱胁迫下四种冷季型草坪草的生理反应[J]. 草地学报, 2007, 15(2): 164-167.
- [9] 黄承建,赵思毅,王龙昌,等. 干旱胁迫对苧麻光合特性和产量的影响[J]. 中国麻业科学, 2012, 34(6): 273-277.
- [10] 吕金印,山仓,高俊凤. 非充分灌溉及其生理基础[J]. 西北植物学报, 2002, 22(6): 1512-1517.
- [11] LIU F L, ANDERSEN M N, JACOBSEN S E, et al. Stomatal control and water use efficiency of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] during progressive soil drying [J]. Environmental and Experimental Botany, 2005, 54(1): 33-40.
- [12] RAY I M, TOWNSEND M S, MUNCY C M. Heritabilities and interrelationships of water-use efficiency and agronomic traits in irrigated alfalfa[J]. Crop Science, 1999, 39(4): 1088-1092.

(责任编辑:惠红)