

和雨天时,以防水布阻隔自然降水。同时经常除草和防治病虫害。

1.4 叶绿素荧光参数定义与测定

1.4.1 初始荧光(F_0)是PSII反应中心全部开放时的荧光。 F_0 的减少表明天线色素的热耗散增加,而增加则表明PSII反应中心不易逆转的破坏^[10,11]。

1.4.2 最大荧光(F_m)是PSII反应中心全部关闭时的荧光。它的降低是光抑制的一个特征^[10]。

1.4.3 可变荧光(F_v)是 F_m 与 F_0 之差。它的产生反映了原初放醌(QA)的还原。在光抑制条件下的 F_v 的降低主要是由于 F_m 的降低,较少或根本不是 F_m 增加的结果^[12]。

1.4.4 PSII光化学效率(F_m/F_v)在非环境胁迫条件下变化极少,不受物种和生长条件的影响。而受到光抑制的叶片的这一参数具有明显降低^[13]。它是表

明光抑制程度的良好指标和探针^[13]。

1.5 1999年7月23日,对施水处理的每个物种随机选取5株,用植物效能计(PEA,UK)测定初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、可变荧光(F_v)和荧光效率(F_v/F_m)。

2 结果与分析

2.1 初始荧光

不同施水量和供试植物的初始荧光间差异明显。施水量和供试植物间对初始荧光有显著的交互作用(表1,图1)。其中,随着施水量的增加,初始荧光呈减小趋势。供试植物初始荧光的序次为沙柳>油蒿>蒙古岩黄芪>柠条(表2)。就不同植物而言,不同施水量对沙柳和油蒿的初始荧光有显著影响,且初始荧光随着施水量的增加呈减小趋势,而对蒙古岩黄芪和柠条,初始荧光的影响不显著(图1)。

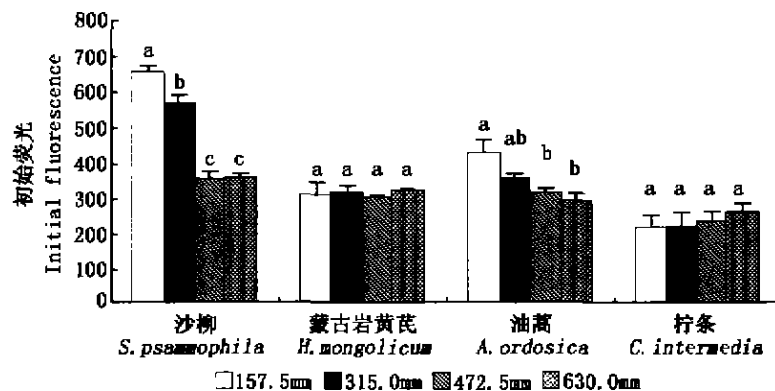


图1 施水量对供试植物初始荧光的影响(不同字母间差异显著($P < 0.05$))

Fig. 1 Effect of water supply on initial fluorescence of *S. psammophila*, *H. mongolicum*, *A. ordosica* and *C. intermedia* seedlings (significant difference with different letters ($P < 0.05$))

2.2 最大荧光

在不同施水量之间,供试植物的最大荧光差异不显著,而不同植物之间的最大荧光差异明显。施水量和供试植物间对最大荧光没有显著的交互作用(表1,图2)。四种植物最大荧光的序次为沙柳>油蒿=蒙古岩黄芪>柠条(表2)。就不同植物而言,不同施水量对沙柳和蒙古岩黄芪的最大荧光有显著影响,且最大荧光随着施水量的增加呈增大趋势,而对油蒿和柠条的最大荧光影响不显著(图2)。

2.3 可变荧光

不同施水量间和不同供试植物种间的可变荧光差异显著($P < 0.05$),而施水量和供试植物之间可

变荧光交互作用不显著(表1,图3)。随着施水量的增加,可变荧光逐渐增大。供试植物可变荧光的序次为沙柳>蒙古岩黄芪>油蒿>柠条(表2)。不同施水量对沙柳、蒙古岩黄芪和油蒿的可变荧光影响显著。可变荧光随着施水量的增加呈现减小趋势,而对柠条的可变荧光影响不显著(图3)。

2.4 PSII光化学效率

不同施水量和不同供试植物之间的PSII光化学效率差异显著($P < 0.05$),施水量和供试植物间对PSII光化学效率的交互作用显著(表1,图4)。随着施水量的增加,PSII光化学效率逐渐增大;四种植物PSII光化学效率的序次为蒙古岩黄芪=柠条

>油蒿>沙柳(表 2)。不同施水量对沙柳、蒙古岩黄芪、油蒿和柠条的 PSII 光化学效率有显著影响。沙柳、蒙古岩黄芪和油蒿的 PSII 光化学效率随着施水

量增加而显著增加,其中施水量 630.0 mm 和 472.5 mm,柠条的 PSII 光化学效率显著大于 315.0 mm 和 157.5 mm(图 4)。

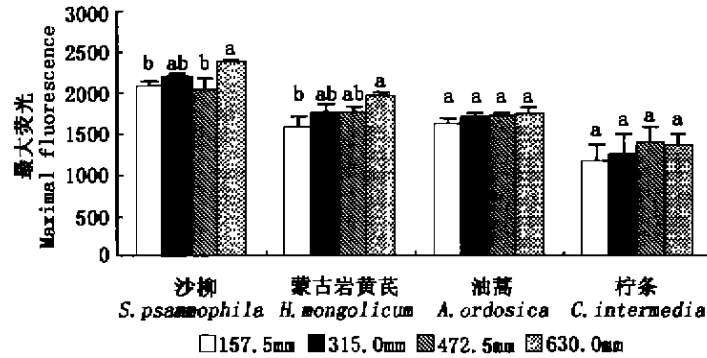


图 2 施水量对供试植物最大荧光的影响(不同字母间差异显著(P<0.05))

Fig. 2 Effect of different water supply on maximal fluorescence of *S. psammophila*, *H. mongolicum*, *A. ordosica* and *C. intermedia* seedlings (Significant difference with different letters (P<0.05))

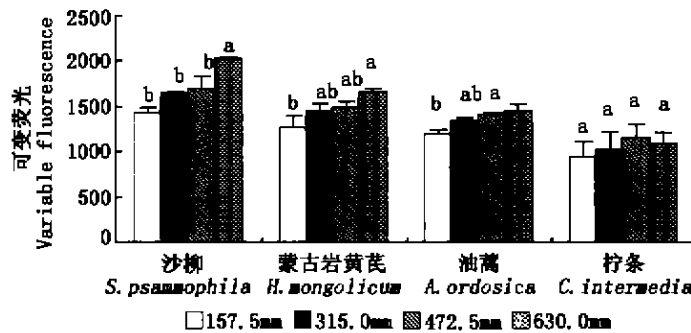


图 3 施水量对供试植物可变荧光的影响(不同字母间差异显著(P<0.05))

Fig. 3 Effect of water supply on variable fluorescence of *S. psammophila*, *H. mongolicum*, *A. ordosica* and *C. intermedia* seedlings (significant difference with different letters (P<0.05))

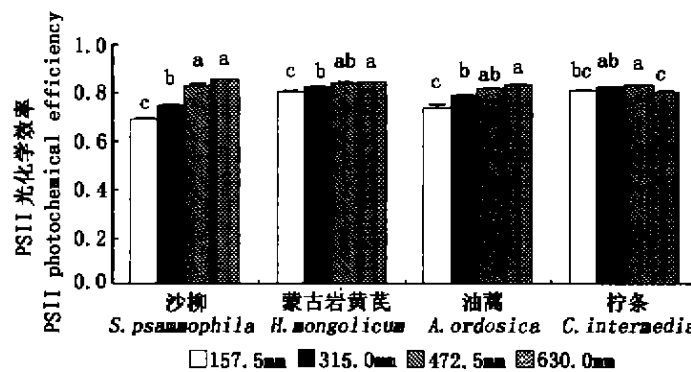


图 4 施水量对供试植物 PSII 光化学效率的影响(不同字母间差异显著(P<0.05))

Fig. 4 Effect of water supply on variable fluorescence of *S. psammophila*, *H. mongolicum*, *A. ordosica* and *C. intermedia* seedlings (significant difference with different letters (P<0.05))

表1 施水量和供试植物荧光参数 F-值检验

Table 1 F-values of two-way ANOVA of the effects of water supply and plant species on fluorescence efficiency of the seedlings

| 荧光参数 Fluorescence variable | 施水量 Water supply | 物种 Species | 施水量·物种 Water supply \ Species |
|--|---------------------|---------------|----------------------------------|
| 初始荧光 Initial fluorescence | 14.7*** | 64.9*** | 8.1*** |
| 最大荧光 Maximal fluorescence | 2.4 ^{NS} | 31.3*** | 0.4 ^{NS} |
| 可变荧光 Variable fluorescence | 7.1*** | 23.6*** | 0.6 ^{NS} |
| PSII 光化学效率 PSII photochemical efficiency | 81.9*** | 36.9*** | 18.5*** |

显著水平 Significant levels, *** $P < 0.01$, ^{NS} $P > 0.05$

表2 施水量和供试植物荧光参数 Duncan 检验

Table 2 Duncan test of two-way ANOVA on fluorescence variables of the seedlings for the four plant species and four water supply

| | | 荧光参数 Fluorescence variable | | | |
|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---|
| | | 初始荧光 Initial fluorescence | 最大荧光 Maximal fluorescence | 可变荧光 Variable fluorescence | PSII 光化学效率 PSII photochemical efficiency |
| 植物种类 Plant species | 沙柳 <i>S. psammophila</i> | 483.2 ^a | 2163.8 ^a | 1680.6 ^a | 0.7740 ^c |
| | 蒙古岩黄芪 <i>H. mongolicum</i> | 307.8 ^c | 1759.7 ^b | 1451.9 ^b | 0.8242 ^a |
| | 油蒿 <i>A. ordostica</i> | 345.4 ^b | 1683.1 ^b | 1337.7 ^b | 0.7944 ^b |
| | 柠条 <i>C. intermedia</i> | 229.3 ^c | 1277.9 ^c | 1048.6 ^c | 0.8187 ^a |
| 施水量(mm) Water supply (mm) | 157.5 | 403.1 ^a | 1599.5 ^b | 1196.4 ^c | 0.7572 ^c |
| | 315.0 | 362.3 ^b | 1720.2 ^{ab} | 1357.9 ^b | 0.7951 ^b |
| | 472.5 | 296.4 ^c | 1719.4 ^{ab} | 1423.0 ^{ab} | 0.8269 ^a |
| | 630.0 | 303.9 ^c | 1845.4 ^a | 1541.5 ^a | 0.8320 ^a |

注:不同字母间差异显著($P < 0.05$)

Annotation: Significant difference with different letters ($P < 0.05$)

3 结论与讨论

3.1 Two-ANOVA 分析结果表明,不同施水量显著影响着毛乌素沙区供试植物的初始荧光、可变荧光和 PSII 光化学效率,而对最大荧光的影响不显著。Duncan 多重比较检验结果表明,随着施水量的减少,供试植物的初始荧光逐渐增大,而最大荧光、可变荧光和 PSII 光化学效率则逐渐减小。结果表明,在毛乌素沙区,在现有降水情况下,供试植物受到一定的干旱胁迫和光抑制现象,而增加降水量就能大大缓解植物的干旱胁迫,提高 PSII 反应中心的电子传递和转换效率,进而有利于提高植物供试的光合能力。相反如降水量减少,则更加加剧干旱胁迫,光抑制现象严重。这是因为雨量充足时,植物初始荧光较小,表明 PSII 反应中心所受到的不易逆转的破坏较小,同时,最大荧光、可变荧光和 PSII 光化学效率较高,PSII 光化学效率为 0.8269~0.8320,与很多 C3 和 C4 植物的 F_v/F_m 相似^[13]。而当水分较

少时,供试植物初始荧光逐渐增大,最大荧光、可变荧光和 PSII 光化学效率却逐渐减少,其光化学效率为 0.7572~0.7951,都显著低于 0.8269~0.8320, PSII 光化学效率只有受到环境胁迫时才会显著降低^[13]。PSII 的显著减小表明毛乌素沙区优势植物受到显著的光抑制。其它植物在受到干旱时也表现出以上类似结果^[14,15]。

3.2 供试植物的初始荧光、最大荧光、可变荧光和 PSII 光化学效率差异显著。初始荧光的顺序为:沙柳>油蒿>蒙古岩黄芪>柠条;最大荧光和可变荧光的顺序均为:沙柳>蒙古岩黄芪>油蒿>柠条; PSII 光化学效率的顺序为:柠条>蒙古岩黄芪>油蒿>沙柳。上述结果表明,在毛乌素沙区,柠条 PSII 反应中心的光量子电子传递和转换效率较高,其次是蒙古岩黄芪和油蒿,沙柳最差。

3.3 不同施水量对供试植物的初始荧光、最大荧光、可变荧光和 PSII 光化学效率的影响各异。尽管不同施水量对柠条的初始荧光、最大荧光和可变荧光,以及对蒙古岩黄芪的初始荧光和油蒿的最大荧

光影响不大,但却都显著影响着供试植物的 PSII 光化学效率。其中,沙柳、蒙古岩黄芪和油蒿的 PSII 光化学效率随着施水量的减少而显著降低,而柠条在施水量 472.5 mm 时,PSII 光化学效率最大,其次是 315.0 mm,施水量 157.5 mm 和 630.0 mm 时最小。结果表明,少量施水时,沙柳、蒙古岩黄芪、油蒿和柠条受到干旱胁迫,均表现出光抑制现象。施水量 157.5 mm 时沙柳、蒙古岩黄芪、油蒿和柠条的 PSII 光化学效率分别为 0.68、0.80、0.74 和 0.81,较本实验水分最适时,分别下降了 20%、4.7%、10.8% 和 2.4%。结果表明,供试植物受到干旱胁迫的大小顺序为:沙柳>油蒿>蒙古岩黄芪>柠条。而充足施水量能够解除沙柳、蒙古岩黄芪和油蒿的水分胁迫,但却对柠条产生明显的胁迫作用,这种胁迫可能是由于过多施水造成沙地持水过量,沙地内空气流通不畅,使得其根系受到缺氧胁迫,进而限制叶片的光合生理过程,造成光抑制现象。

参考文献

- [1] Krause G H, Briantais J M, Vernotte C. Photoinduced quenching of chlorophyll fluorescence in intact chloroplasts and algae. Resolution into two components [J]. *Biochemical Biophysical Acta*, 1982, 679: 116~124
- [2] Dietz K J, Schreiber U, Heber U. The relationship between the redox state of QA and photosynthesis in leaves at various carbon dioxide, oxygen and light regimes [J]. *Planta*, 1985, 166: 219~226
- [3] Schreiber U. Detection of rapid induction kinetics with a new type of high-frequency modulated chlorophyll fluorometer [J]. *Photosynthetic Research*, 1986, 9: 262~271
- [4] Weis E, Berry J A. Quantum efficiency of photosystem II in relation to 'energy'-dependent quenching of chlorophyll fluorescence [J]. *Biochemical Biophysical Acta*, 1987, 894: 198~208
- [5] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence [J]. *Biochemical Biophysical Acta*, 1989, 990: 87~92
- [6] Schreiber U, Bilger W, Neubauer G. Chlorophyll fluorescence: New instruments for special applications. In: *Ecophysiology of photosynthesis*. (eds Schulze, E-D and Caldwell, M M.), Springer-Verlag, Berlin, 1994, 147~150
- [7] Bilger W, Schreiber U, Bock M. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. *Oecologia*, 1995, 102: 425~432
- [8] 张新时. 毛乌素沙地的生态背景及其草地建设的原则与优化模式 [J]. *植物生态学报*, 1994, 18: 1~16
- [9] 董学军, 张新时, 杨宝珍. 依据野外的蒸腾速率对几种沙地灌木水分平衡的初步依据 [J]. *植物生态学报*, 1997, 21: 208~225
- [10] Demmig B, Bjorkman O. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77K) and photon yield of O₂ evolution of leaves of higher plants [J]. *Planta*, 1987, 171: 171~184
- [11] Demmig B, Winter K, Kruger A, Czygan F C. Photoinhibition and zeaxanthin formation in intact leaves. A possible role of the xanthophyll cycle in the dissipation of excess light energy [J]. *Plant Physiology*, 1987, 84: 218~224
- [12] Krause G H. Photoinhibition of photosynthesis. An evaluation of damaging and protective mechanisms [J]. *Physiologia Plantarum*, 1988, 74: 566~574
- [13] 许大全, 张玉忠, 张荣毓. 植物光合作用的光抑制 [J]. *植物物理学通讯*, 1992, 28: 237~243
- [14] Methy M, Darnesin C, Rambal S. Drought and photosystem II activity in two mediterranean oaks [J]. *Annals of Forest Science*, 1996, 53: 255~262
- [15] Filella I, Llusi J, Piñol J, Peñuelas J. Leaf gas exchange and fluorescence of *Phillyrea latifolia*, *Pistacia lentiscus* and *Quercus ilex* saplings in severe drought and high temperature conditions [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 1998, 39: 213~220