

高温胁迫下保水剂对黑麦草光合特性的影响

马 行, 刘 刊, 权 俊 娇, 陆 小 平, 王 波

(苏州大学 园艺系, 江苏 苏州 215123)

摘 要:以多年生黑麦草“爱神特 2 号”为试材,采用室内培养的方法,研究了在高温条件下保水剂对其光合特性的影响。结果表明:随着高温胁迫强度的增加和时间的延长,多年生黑麦草叶片的净光合速率、气孔导度、瞬时水分利用效率和光能利用效率持续下降。添加保水剂后,净光合速率、气孔导度、光能利用效率、瞬时水分利用效率均上升,蒸腾速率、胞间 CO_2 浓度下降。说明添加保水剂可以延缓高温胁迫对植物光合作用的抑制作用。

关键词:黑麦草;高温;保水剂;光合特性

中图分类号:S 543⁺.6;Q 945 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)21-0077-05

随着全球气候变暖,全球生物的生存机会及状态受到了严峻的挑战。高温对植物生长乃至生存均有诸多负面影响,是植物生长面临的重要逆境因子。而众多被高温抑制的细胞机能中,光合作用被认为是对高温胁迫特别敏感的生理过程之一,在其它高温诱导的伤害症状出现之前,光合作用已经受到高温的抑制。光合作用的研究是植物逆境生理研究的热点^[1-5]。

该试验以黑麦草“爱神特 2 号”为试材,研究了高温胁迫下保水剂对多年生黑麦草光合特性的影响,以期为提高多年生黑麦草抗热性、减少水耗提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试多年生黑麦草(*Lolium perenne* L.)品种“爱神特 2 号”种子由北京布莱特草业有限公司提供。供试保水剂“沃特”(丙烯酸式丙烯酰胺与凹凸棒土合成有机无机复合)由东营华业新材料有限公司提供。试验所用试剂均为分析纯。供试土壤取自苏州大学独墅湖校园,其基础肥力见表 1。

表 1 供试土壤的基础肥力

Table 1 The basic fertility of the tested soils

pH	土壤质地 Soil texture	有机质含量	速效磷含量	速效钾含量
		Organic matter content /g · kg ⁻¹	Available P content /mg · kg ⁻¹	Available K content /mg · kg ⁻¹
7.59	松砂土	14.42	136.5	374.8

第一作者简介:马行(1989-),男,河北邢台人,硕士研究生,研究方向为植物栽培与生理。E-mail:15501505501@163.com.

责任作者:王波(1965-),男,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为园艺植物栽培与生理。E-mail:wangb@suda.edu.cn.

收稿日期:2013-05-20

1.2 试验方法

挑选健康饱满的种子,用蒸馏水洗去表面污物,用滤纸吸干,然后用干净的纱布包好,放入 70% 的乙醇中浸泡 30 s,再用 1% 的高锰酸钾消毒,进而用蒸馏水反复冲洗干净,最后在无菌水中浸泡 24 h。在已消毒的培养皿中放置 3 张无菌滤纸,将处理后的种子均匀铺在滤纸上,催芽 48 h。先将土风干、磨碎、过筛,然后与保水剂混匀装入营养钵中,对照中不加保水剂,将饱满萌动的种子撒播于土表,再覆盖 0.5 cm 厚风干土,而后放在光照培养箱中培养,培养温度为 20℃,光周期 12 h : 12 h。播种后每日补水,待多年生黑麦草成坪后(约 60 d)进行高温胁迫,将其分别置于 30℃/20℃(昼/夜)、35℃/25℃(昼/夜)和 40℃/30℃(昼/夜)下处理 2、4、6 d,光周期 12 h : 12 h,测定各项光合指标,每处理设 3 次重复。

1.3 项目测定

每个处理选取长势一致的植株叶子,采用 Li-6400XT 型便携式光合测定系统(美国生产),直接测定植物叶片净光合速率(Pn)、气孔导度(Cond)、胞间 CO_2 浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr)、光合有效辐射(PAR),并按公式水分利用效率(WUE)=Pn/Tr,光能利用效率(LUE)=Pn/Par^[6]计算水分利用效率和光能利用效率。测定时采用光合测定系统内部光源提供连续而稳定的光照,设定内源光照强度为 1 500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。测定时间为 8:00~11:00,测定时大气 CO_2 浓度约为 400 $\mu\text{L/L}$ 。

1.4 数据分析

采用 SPSS 17.0 及 Microsoft Excel 2003 软件进行数据处理和绘图。

2 结果与分析

2.1 高温胁迫下保水剂对叶片净光合速率的影响

由图 1 可知,随高温胁迫强度的增加和时间的延长,

净光合速率均呈持续下降趋势,平均净光合速率值第6天的比第2天减小了 $2.39 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。添加保水剂后,净光合速率均有所上升,其平均值第2、4、6天分别比对照上升了 1.42 、 1.08 、 $1.08 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在 $30^\circ\text{C}/20^\circ\text{C}$ 条件下,第2、4、6天添加保水剂的净光合速率比未添加的分别上升了 1.97 、 1.48 、 $1.72 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,各处理添加保水剂的净光合速率与未添加的差异均达显著水平。

在 $35^\circ\text{C}/25^\circ\text{C}$ 条件下,第2、4、6天添加保水剂的平均净光合速率比未添加的分别上升了 1.40 、 0.99 、 $0.93 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,各处理添加保水剂的净光合速率与未添加的均达差异显著水平。在 $40^\circ\text{C}/30^\circ\text{C}$ 条件下,第2、4、6天添加保水剂的叶片平均净光合速率比未添加的分别上升了 0.87 、 0.77 、 $0.59 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,各处理添加保水剂的净光合速率与未添加的均达差异显著水平。

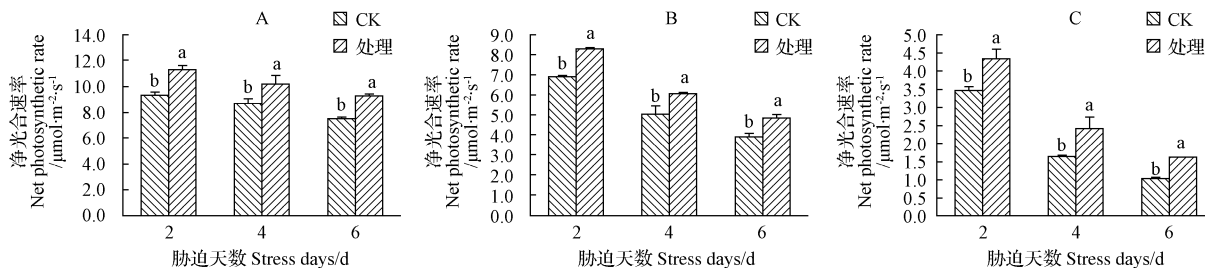


图1 高温胁迫下保水剂对净光合速率的影响

注:A、B、C分别代表 $30^\circ\text{C}/20^\circ\text{C}$ 、 $35^\circ\text{C}/25^\circ\text{C}$ 、 $40^\circ\text{C}/30^\circ\text{C}$ 处理。不同字母表示处理间差异显著水平 ($P < 0.05$)。下同。

Fig. 1 Effects of SAP on the net photosynthetic rate under high temperature stress

Note: A, B, C represent $30^\circ\text{C}/20^\circ\text{C}$, $35^\circ\text{C}/25^\circ\text{C}$, $40^\circ\text{C}/30^\circ\text{C}$ treatment, respectively. Different letters means significant difference at 0.05 level. Same the below.

2.2 高温胁迫下保水剂对气孔导度的影响

由图2可知,随高温胁迫强度的增加和时间的延长,气孔导度均呈持续下降趋势,平均气孔导度第6天的比第2天减小了 $80.15 \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。添加保水剂后,气孔导度均有所上升,第2、4、6天平均分别比对照上升了 15.83 、 13.01 、 $8.35 \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在 $30^\circ\text{C}/20^\circ\text{C}$ 条件下,第2、4、6天添加保水剂的气孔导度比未添加的分别上升了 27.23 、 26.46 、 $17.37 \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,各处理添加保水剂的气孔导度与未添加的均达差

异显著水平。在 $35^\circ\text{C}/25^\circ\text{C}$ 条件下,第2、4、6天添加保水剂的气孔导度比未添加的分别上升了 17.21 、 4.26 、 $3.70 \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,其中除第4天添加保水剂的气孔导度与未添加的未达差异显著水平外,其余处理的均达差异显著水平。在 $40^\circ\text{C}/30^\circ\text{C}$ 条件下,第2、4、6天添加保水剂的气孔导度比未添加的分别上升了 3.07 、 8.32 、 $3.97 \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,各处理添加保水剂的气孔导度与未添加的均达差异显著水平。

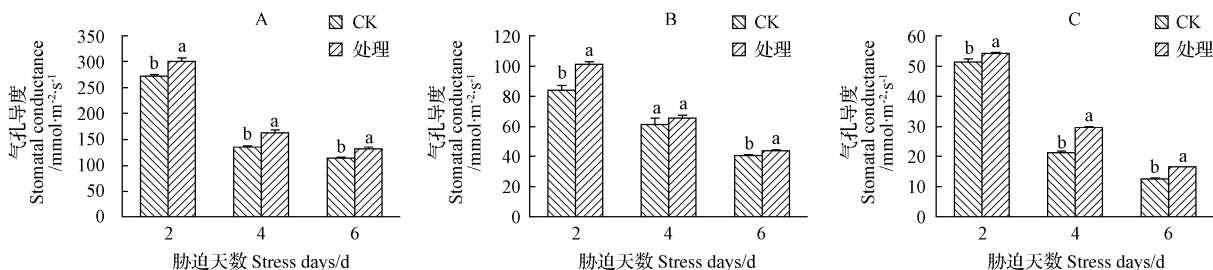


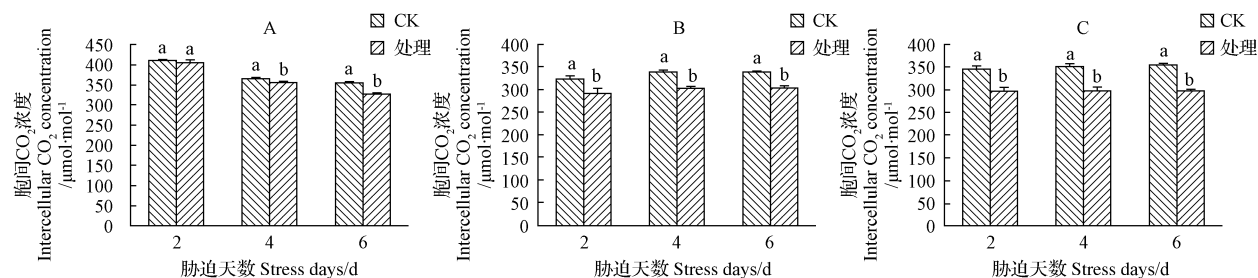
图2 高温胁迫下保水剂对气孔导度的影响

Fig. 2 Effects of SAP on the stomata conductance under high temperature stress

2.3 高温胁迫下保水剂对胞间 CO₂ 浓度的影响

由图3可知,随高温胁迫时间的延长,在 $30^\circ\text{C}/20^\circ\text{C}$ 条件下,黑麦草胞间 CO_2 浓度均呈持续下降趋势,在 $35^\circ\text{C}/25^\circ\text{C}$ 和 $40^\circ\text{C}/30^\circ\text{C}$ 条件下,胞间 CO_2 浓度均呈缓慢上升趋势。平均胞间 CO_2 浓度第6天的比第2天减小了 $10.51 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。添加保水剂后,胞间 CO_2 浓度均有所下降,第2、4、6天分别比对照平均下降了 29.32 、 33.64 、 $40.11 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。在 $30^\circ\text{C}/20^\circ\text{C}$ 条件下,第2、4、6天添加保水剂的胞间 CO_2 浓度比未添加的分别下降了 6.09 、 10.20 、

$29.43 \mu\text{mol}/\text{mol}$,其中除第2天添加保水剂的胞间 CO_2 浓度与未添加的差异未达差异显著水平外,其余处理的均达差异显著水平。在 $35^\circ\text{C}/25^\circ\text{C}$ 条件下,第2、4、6天添加保水剂的胞间 CO_2 浓度比未添加的分别下降了 31.67 、 35.88 、 $34.67 \mu\text{mol}/\text{mol}$,各处理添加保水剂的胞间 CO_2 浓度与未添加的均达差异显著水平。在 $40^\circ\text{C}/30^\circ\text{C}$ 条件下,第2、4、6天添加保水剂的胞间 CO_2 浓度比未添加的分别下降了 50.20 、 54.83 、 $56.24 \mu\text{mol}/\text{mol}$,各处理添加保水剂的胞间 CO_2 浓度与未添加的均达差异显著水平。

图3 高温胁迫下保水剂对胞间CO₂浓度的影响Fig. 3 Effects of SAP on the intercellular CO₂ concentration under high temperature stress

2.4 高温胁迫下保水剂对蒸腾速率的影响

由图4可知,随高温胁迫时间的延长,在30℃/20℃条件下,蒸腾速率呈先上升后下降趋势。在35℃/25℃和40℃/30℃条件下,蒸腾速率均呈持续下降趋势,平均蒸腾速率第6天的比第2天减小了1.01 mmol·m⁻²·s⁻¹。添加保水剂后,蒸腾速率均有所下降,第2、4、6天分别比对照平均下降了0.46、0.27、0.21 mmol·m⁻²·s⁻¹。在30℃/20℃条件下,第2、4、6天添加保水剂的蒸腾速率比未添加的分别下降了0.11、0.20、0.33 mmol·m⁻²·s⁻¹。

s⁻¹,其中除第6天添加保水剂的蒸腾速率与未添加的未达差异显著水平外,其余处理的均达差异显著水平。在35℃/25℃条件下,第2、4、6天添加保水剂的蒸腾速率比未添加的分别下降了0.34、0.32、0.14 mmol·m⁻²·s⁻¹,各处理添加保水剂的蒸腾速率与未添加的均达差异显著水平。在40℃/30℃条件下,第2、4、6天添加保水剂的蒸腾速率比未添加的分别下降了0.94、0.29、0.15 mmol·m⁻²·s⁻¹,各处理添加保水剂的蒸腾速率与未添加的均达差异显著水平。

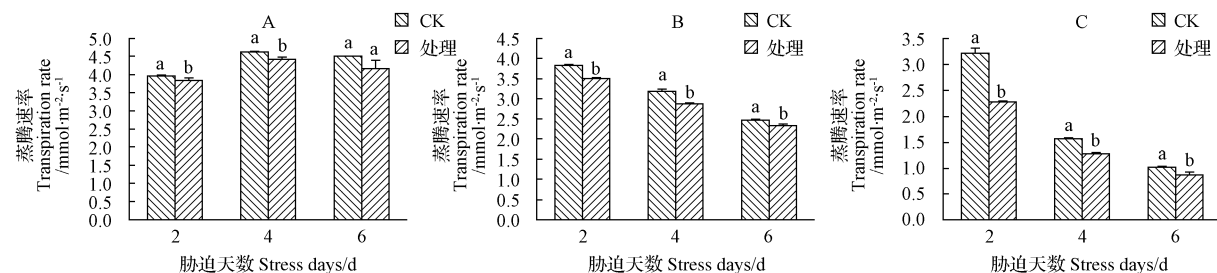


图4 高温胁迫下保水剂对蒸腾速率的影响

Fig. 4 Effects of SAP on the transpiration rate under high temperature stress

2.5 高温胁迫下保水剂对瞬时水分利用效率的影响

瞬时水分利用效率与净光合速率和蒸腾速率有关。由图5可知,随胁迫时间的延长,瞬时水分利用效率均逐步下降,平均瞬时水分利用效率第6天的比第2天下降了0.31 μmol/mm²。添加保水剂后,瞬时水分利用效率均有所上升,第2、4、6天分别比对照平均上升了0.46、0.27、0.21 μmol/mm²。在30℃/20℃条件下,第2、4、6天添加保水剂的瞬时水分利用效率比未添加的

分别上升了0.11、0.20、0.33 μmol/mm²,添加保水剂后的瞬时水分利用效率与未添加时的均达差异显著水平。在35℃/25℃条件下,在第2、4、6天添加保水剂的瞬时水分利用效率比未添加的分别上升了0.34、0.32、0.14 μmol/mm²,添加保水剂后的瞬时水分利用效率与未添加时的均达差异显著水平。在40℃/30℃条件下,第2、4、6天添加保水剂的瞬时水分利用效率比未添加的分别上升了0.94、0.29、0.15 μmol/mm²,添加保水剂后

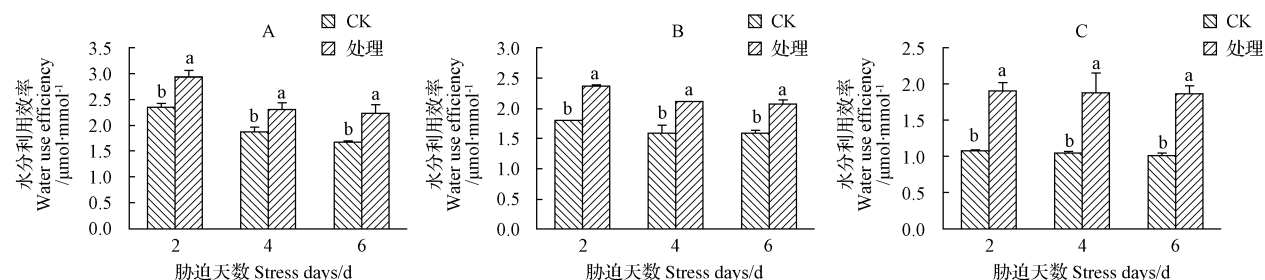


图5 高温胁迫下保水剂对瞬时水分利用效率的影响

Fig. 5 Effects of SAP on the water use efficiency under high temperature

的瞬时水分利用效率与未添加时的均达差异显著水平。

2.6 高温胁迫下保水剂对光能利用效率的影响

叶片光能利用效率与光照强度和净光合速率有关。由图6可知,随高温胁迫强度的增加和胁迫时间的延长,光能利用效率均呈持续下降趋势,平均光能利用效率第6天的比第2天减小了1.60 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ 。添加保水剂后,光能利用效率均有所上升,第2、4、6天分别比对照平均上升了0.94、0.72、0.72 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ 。在30℃/20℃条件下,第2、4、6天添加保水剂的光能利用效率

比未添加的分别上升了1.31、0.99、1.15 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$,各处理添加保水剂的光能利用效率与未添加的均达差异显著水平。在35℃/25℃条件下,第2、4、6天添加保水剂的光能利用效率比未添加的分别上升了0.93、0.66、0.62 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$,各处理添加保水剂的光能利用效率与未添加的均达差异显著水平。在40℃/30℃条件下,第2、4、6天添加保水剂的光能利用效率比未添加的分别上升了0.58、0.51、0.39 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$,各处理添加保水剂的光能利用效率与未添加的均达差异显著水平。

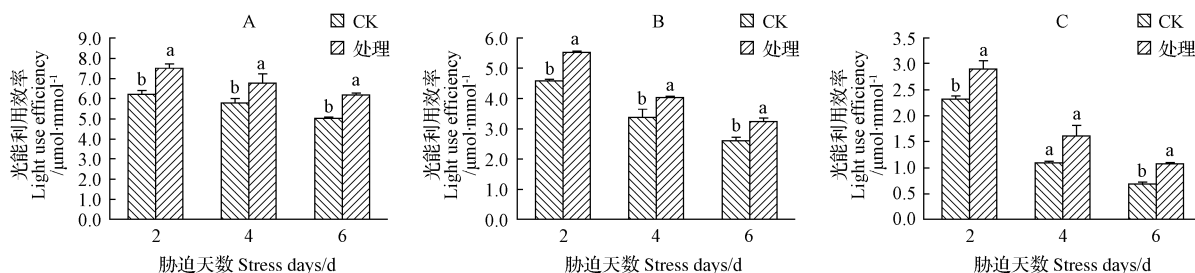


图6 高温胁迫下保水剂对光能利用效率的影响

Fig. 6 Effects of SAP on the light use efficiency under high temperature stress

3 讨论

光合作用是植物重要的代谢反应,其强弱反映了植物固定 CO_2 能力的大小,与呼吸作用相互作用,即表现为有机质的积累。温度是影响植物生命活动重要的环境因子,高温胁迫导致了净光合速率的下降。随胁迫强度的增加和时间的延长,净光合速率持续下降,这与辛学明等^[7]研究结果一致。光能利用效率由净光合速率和光照强度所决定,影响净光合速率和光照强度的因素都会影响到光能利用效率,所以光能利用效率的变化趋势也与净光合速率的变化趋势相同,呈不断下降趋势。随着高温胁迫程度的增加和时间的延长,光能利用效率均呈逐渐下降趋势。添加保水剂后,光能利用效率有一定程度的提高,说明保水剂能够一定程度的促进植物光合能力,从而更好地适应高温环境,可以延缓高温胁迫对植物光合作用的抑制。

在30℃/20℃高温胁迫条件下,随胁迫时间的延长,胞间 CO_2 浓度均持续下降,同时净光合速率和气孔导度下降,属于气孔限制。在35℃/25℃和40℃/30℃条件下,随胁迫时间的延长,胞间 CO_2 浓度有一定程度上升,同时光合速率和气孔导度下降,属于非气孔限制。

植物对水分的消耗一部分用于自身的蒸腾作用,而另一部分为无效蒸发损耗。施用保水剂能够提高土壤含水率,减少土壤无效蒸发^[8]。蒸腾作用是水分从活的植物体表面(主要是叶片)以水蒸汽状态散失到大气中的过程,蒸腾作用的强弱用蒸腾速率来表示,蒸腾速率不仅受外界环境条件的影响,还受植物本身的调节和控制,特别是受气孔导度的影响,是一种很复杂的生理过程。保水剂通过影响土壤的水分状况,来影响植物的蒸

腾速率。该研究结果表明,在高温胁迫强度较低时,蒸腾速率呈先上升后下降趋势,可能是植物通过蒸腾作用来降低高温对叶片的伤害。在高温胁迫强度较高时,随着胁迫时间的延长,蒸腾速率呈逐渐下降趋势。添加保水剂后,蒸腾速率降低。

瞬时水分利用效率是一个重要的生理指标,显示植物对逆境的适应性^[9],与植物的生存、生长和分布密切相关,研究其及相关生理指标的变化规律对节水抗旱具有重要意义。瞬时水分利用效率由净光合速率和蒸腾速率所决定,影响净光合速率和蒸腾速率的因素都会影响瞬时水分利用效率。该研究中,随高温胁迫强度的增加和时间的延长,瞬时水分利用效率呈逐渐下降趋势。添加保水剂后,瞬时水分利用效率有所提高。说明添加保水剂可以延缓高温胁迫对植物光合作用的抑制。

参考文献

- [1] 李天来,李森. 短期昼间亚高温胁迫对番茄光合作用的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 220-225.
- [2] 张淑红,张恩平,庞金安,等. NaCl胁迫对黄瓜幼苗光合特性及水分利用率的影响[J]. 中国蔬菜, 2005(1): 11-13.
- [3] 葛晋纲,蔡庆生,周兴元,等. 土壤干旱胁迫对2种不同光合类型草坪草的光合特性和水分利用率的影响[J]. 草业科学, 2005, 22(4): 103-107.
- [4] 孙宪芝. 菊花光合作用对高温胁迫的响应机理研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2008.
- [5] 刘东焕,赵世伟,高荣孚. 植物光合作用对高温的响应[J]. 植物研究, 2002, 22(2): 205-212.
- [6] Chen K C, 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.
- [7] 辛学明,钦佩,吴国荣. 高温胁迫对花生幼苗光合速率、叶绿素含量、叶绿体 Ca^{2+} -ATPase, Mg^{2+} -ATPase 及 Ca^{2+} 分布的影响[J]. 植物研究, 2007, 27(4): 416-420.

猫儿山鹅掌楸种群不同龄级立木的点格局分析

李 博^{1,2}, 刘 合 霞³

(1. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 桂林师范高等专科学校 化学系, 广西 桂林 537400;
3. 广西植物研究所 园林园艺室, 广西 桂林 537400)

摘 要:以广西猫儿山大竹坪鹅掌楸天然林样地(360 m×180 m)为研究群体,应用 O-ring 函数对鹅掌楸天然种群不同龄级的空间分布格局及龄级间的关系进行分析。结果表明:该鹅掌楸种群龄级结构表现为金字塔型,属于稳定发展种群。小尺度空间范围内,该群体的空间分布格局表现为聚集分布;在 24~48 m 的中尺度空间范围内,该群体则表现为随机分布;而在 49~88 m 的空间范围时,该群体的空间分布格局趋于均匀分布;当空间尺度大于 88 m 后,又表现为随机分布。鹅掌楸不同龄级立木的空间分布格局存在差别。鹅掌楸成年群体及幼树群体在小尺度空间范围内表现为聚集分布,在中尺度及大尺度空间范围内表现为随机分布;鹅掌楸龄级老年群体在不同的空间尺度下均表现为随机分布;鹅掌楸不同龄级立木之间主要表现为小尺度上的正关联及在较大尺度上的不关联。

关键词:鹅掌楸;点格局分析;龄级;空间关联

中图分类号:S 792.21 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)21-0081-05

种群空间格局分布是指种群内个体在空间上的分布状态,其反映了在某个特定时间段内种群不同个体在

空间上的相互关系,种群的空间分布格局不仅在不同的物种中有所差别,即使是相同的物种,如果所处的发育阶段不同、环境条件不同,其分布格局也会存在明显差异^[1-3]。种群分布格局是种群和群落与它们所处的环境长期相互影响的结果,体现了所呈现出来的种群结构和群落结构的合理性,表明了现有种群结构和群落结构的稳定性与动态^[4]。对空间分布格局的研究有助于确定

第一作者简介:李博(1981-),男,广西北流人,博士研究生,讲师,研究方向为林木遗传育种。E-mail:shaonianbo@yahoo.com.cn.

基金项目:江苏省高校自然科学重大资助项目(10KJA220017);江苏省研究生培养创新工程资助项目(CXZZ12_0543)。

收稿日期:2013-06-17

[8] 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.

[9] Ray I M, Townsend M S, Muncy C M. Heritabilities and interrelation-

ships of water-use efficiency and agronomic traits in irrigated alfalfa[J]. Crop Science, 1999, 39(4): 1088-1092.

Effects of Super Absorbent Polymer on Photosynthesis of *Lolium perenne* L. Under High Temperature Stress

MA Xing, LIU Kan, QUAN Jun-jiao, LU Xiao-ping, WANG Bo

(Department of Horticulture, Soochow University, Soochow, Jiangsu 215123)

Abstract: Taking *Lolium perenne* L. 'Aishente 2' as material, the effects of super absorbent polymer (SAP) on photosynthetic characteristics of it was investigated under high temperature stress. The results showed that under high temperature, net photosynthetic rate, stomata conductance, water use efficiency and light use efficiency of *Lolium perenne* L. decreased with high temperatures stress intensity and time increased. When adding SAP, net photosynthetic rate, stomata conductance, water use efficiency and light use efficiency went up remarkably. The adding of SAP brought the decreasing of transpiration rate and intercellular CO₂ concentration as well. It was clearly shown that SAP would reduce the inhibitory effect of high temperature stress on the photosynthesis of plant.

Key words: *Lolium perenne* L.; high temperature; super absorbent polymer; photosynthesis