

渗透胁迫对番木瓜若干生理性状的影响

黄建昌, 肖 艳, 周厚高

(仲恺农业技术学院园艺系, 广东广州 510225)

摘 要: 研究了渗透胁迫下番木瓜幼苗的细胞伤害程度、净光合速率的变化及其与气孔导度之间的关系。试验结果表明渗透胁迫导致番木瓜幼苗叶片细胞相对电导率和 MDA 含量分别增加了 11.72 倍和 11.07 倍、可溶性蛋白质及叶绿素含量则分别下降了 57.3% 和 57.6%、POD 及 SOD 活性先升后降, 但 SOD 活性降低时间早于 POD, 渗透胁迫降低了番木瓜的净光合速率和叶片水势, 轻度胁迫时(处理前期)气孔导度的限制是导致净光合速率降低的主要原因, 重度胁迫时(处理后期)叶肉光合能力的下降是引起净光合速率降低的主要原因。

关键词: 番木瓜; 水分胁迫; 相对电导率; 叶绿素; SOD; 净光合速率

中图分类号: S667.97 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2004)01-0073-04

The influence of osmotic stress on some physiological characters of papaya

HUANG Jian-chang, XIAO Yan, ZHOU Hou-gao

(Department of Horticulture, Zhongkai Agrotechnical College, Guangzhou 510225, China)

Abstract: Responses of relative physiological index, photosynthesis rate and stomatal conductance to osmotic stress as well as the relationship between photosynthetic rate and stomatal conductance were investigated with papaya seedlings. The results showed that under osmotic stress relative electrical conductivity and MDA content increased by 11.72 and 11.07 times respectively, soluble protein and chlorophyll content decreased by 57.3% and 57.6%, POD and SOD activity increased first and then decreased but the time when SOD activity decreased was prior to that of POD. Under mild water stress, the decline of photosynthesis was mainly due to the decline of stomatal conductance. However, under severe water stress the principal cause of the reduction in photosynthesis was attributed to the decline of photosynthesis capacity of mesophyll cells.

Key words: *Carica papaya*; osmotic stress; relative electrical conductivity; chlorophyll; SOD; photosynthesis rate

番木瓜(*Carica papaya* L.)是华南地区广泛栽培的热带亚热带草本果树, 叶面积大, 根系分布浅, 易受干旱的影响。因此, 研究干旱胁迫对番木瓜的影响具有重要意义。有关植物的干旱伤害在其它作物中已有较多报道(黄建昌等, 1996; 蒋明义等, 1994; 许长成等, 1993)。关于干旱胁迫抑制植物的光合作用, 在水稻和大豆等作物中已有研究(廖镜思等,

2001; 卢从明等, 1994; 孙广玉等, 1991; 王万里, 1984), 叶片气孔作为控制叶片内外水分蒸汽和 CO₂ 扩散的门户, 影响着蒸腾和光合过程, 这种调节可使植物以有限的水分消耗, 换取尽可能多的 CO₂ 的同化量, 因此, 气孔调节能力的有效程度是植物适应干旱逆境的重要方式之一, 可作为评价植物抗旱性的重要指标(卢从明等, 1994; 孙广玉等, 1991)。但有

* 收稿日期: 2003-03-12 修订日期: 2003-04-24

基金项目: 广东省科委科技攻关果树专题项目(2002A208010201)

作者简介: 黄建昌(1963-), 男, 江西瑞金人, 副教授, 从事园艺植物抗性遗传育种研究。

关番木瓜为材料的研究甚少。本试验以在广东省栽培最多的穗中红番木瓜品种为试材,研究干旱胁迫对番木瓜的光合作用的影响,为评价其抗旱性及制订抗旱栽培技术措施提供依据。

1 材料和方法

1.1 试材及处理

以穗中红番木瓜品种 6 叶期幼苗为试材,在人工气候室内,于 Hoglands 营养液中加不同剂量的 PEG 6000 实施水分渗透胁迫。聚乙二醇(PEG)浓度为 10%,共处理 60 株苗,加营养液 12 L,试验期间每天补充无离子水及营养液至标记液面刻度。培养室温度白天 25 ℃,夜间 20 ℃。光照强度 130 mol·m⁻²·s⁻¹,每天光照 12 h。取样分析时均取供试植株的第 3 片叶片,不同时期取样时轮换在不同植株上进行。

1.2 测定项目及方法

(1)叶片水势采用王万里(1984)的压力室法在 ZIZ-4 型植物水分状况测定仪上测定。(2)相对电导率参照黄建昌等(1996)所述方法进行,叶片叶绿素和丙二醛(MDA)含量分别按照 Arnon 法和曾韶西等(1987)方法测定,SOD 活性用王爱国等(1983)的方法,过氧化物酶(POD)活性用愈创木酚法(张志良,1980)。可溶性蛋白质含量用 Bradford(1976)的方法测定。(3)净光合速率、气孔导度及细胞间隙 CO₂ 浓度的测定用 LI-6200 便携式光合分析系统进

行。以上各项指标的测定均重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 渗透胁迫下番木瓜叶片细胞相对电导率、MDA 含量和叶绿素含量的变化

细胞质膜透性的变化是反映植物遭受干旱伤害的一个敏感指标。如表 1 所示,在水分渗透胁迫处理下,番木瓜幼苗叶片的细胞相对电导率开始缓慢上升,处理的第三天后,则显著地随处理时间的延长而增大,到处理结束时,相对电导率比处理前提高了 11.72 倍。膜脂过氧化产物 MDA 含量也表现出与相对电导率相同的上升趋势,上升幅度达 11.07 倍,说明初期渗透胁迫对番木瓜伤害程度较小,渗透胁迫 3 d 后伤害明显加剧,这与我们观察到的番木瓜形态特征上初期(1~3 d)只是轻微变化、3 d 后明显萎蔫的表现相一致,因此可以用细胞相对电导率和 MDA 含量的变化作为衡量干旱对番木瓜伤害程度的生理指标。相关分析表明,相对电导率与 MDA 含量的变化呈极显著正相关(R=0.945**),说明两者关系相当密切。

随着渗透胁迫的进程,番木瓜叶片的叶绿素含量逐渐降低,而且初期下降较少,后期下降幅度变大(表 1),胁迫至第七天,叶绿素含量由对照的 1.77 mg·g⁻¹D·W 下降到 0.75 mg·g⁻¹D·W,降低了 57.6%。这表明渗透胁迫会导致叶绿素的降解,从而加速叶片的衰老。

表 1 渗透胁迫处理对番木瓜幼苗细胞质膜透性和 MDA 及叶绿素含量的影响
Table 1 The effect of osmotic stress on permeability,MDA content and chlorophyll content of leaves in papaya

处理时间 Treatment time(d)	细胞相对电导率 Relative electrical conductivity(%)	MDA 含量 MDA content(nmolmg ⁻¹ protein)	叶绿素含量 Chlorophyll content (mg·g ⁻¹ D·W)
0	3.25Aa	1.02Aa	1.77Aa
1	4.17Aa(28.3%)	1.33Aa(30.4%)	1.65Aa(-6.7%)
2	5.78Aa(77.8%)	1.68Aa(64.7%)	1.41Aa(-20.3%)
3	9.14Bb(181.2%)	3.42Bb(235.3%)	1.38ABb(-22.0%)
4	14.56Cc(348%)	5.37Cc(426.5%)	1.24ABb(-29.9%)
5	19.23Dd(491.7%)	6.22Cc(509.8%)	1.04BCb(-41.2%)
6	27.92Ee(759.1%)	8.79Dd(761.8%)	0.96BCb(-45.8%)
7	41.34Ff(1172%)	12.31Ee(1106.9%)	0.75BCc(-57.6%)

大写字母代表 0.01 差异水平,小写字母代表 0.05 差异水平。表中括号内的数字表示与处理第 0 d 比较的增减相对值。以下各表同。
A,B and a,b represent significance at 0.01 and 0.05 levels respectively. The data in brackets means the increased or decreased rate compared to that before osmotic stress, Table 2 and 3 are the same as table 1.

2.2 渗透胁迫对番木瓜幼苗可溶性蛋白质和 POD 及 SOD 活性的影响

从表 2 中可以看出,经渗透胁迫处理后番木瓜

叶片可溶性蛋白质含量随胁迫时间延长而逐渐减少,从处理前的 7.26 mg·g⁻¹D·W 减少到 3.10 mg·g⁻¹D·W,至处理第七天减少了 57.3%,说明

缺水会导致植物体内可溶性蛋白质的分解及抑制蛋白质的合成。

POD 和 SOD 是植物体内防护氧自由基伤害的重要酶系统。试验结果(表 2)表明,渗透胁迫处理初期引起 POD 活性和 SOD 活性明显提高,以后又逐渐下降。其中 SOD 活性在处理第二天达到最大值,较处理前上升 18.1%,在处理第三天后则下降,第五天后 SOD 活性甚至低于处理前的水平,处理第七天,SOD 活性比处理前降低了 36.2%。POD 活性峰值出现比 SOD 迟,在处理第四天达到最大值,较处理前上升 38.0%,在第五天后才开始下降,且

下降幅度小于 SOD,处理第七天,POD 活性仍然比处理前高 22.5%。反映出两种酶在渗透胁迫时的活性表现有所不同,说明两种酶系统受渗透胁迫的影响有差异。

2.3 渗透胁迫对番木瓜叶片水势、净光合速率和气孔导度的影响

从表 3 中可以看出,随着渗透胁迫的进行,番木瓜叶片水势逐渐下降。胁迫初期(处理前 3d)水势的下降较为缓慢,但随胁迫时间延长,叶片水势下降幅度增大,这说明渗透胁迫使番木瓜植株体内水分含量减少速度不断加大。

表 2 渗透胁迫对番木瓜幼苗可溶性蛋白质和 POD 及 SOD 活性的影响
Table 2 The effect of osmotic stress on soluble protein content,POD and SOD activity of leaves in papaya

处理时间 Treatment time(d)	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content(mg · g ⁻¹ D · W)	POD 活性 POD activity(ΔD ₁₇₀ g ⁻¹ · min ⁻¹)	SOD 活性 SOD activity(U · mg ⁻¹ protein)
0	7.26Aa	12.56Ef	1.16Ab
1	7.14Aa(-1.65%)	13.35De(6.3%)	1.34Aa(15.5%)
2	7.01Aa(-3.4%)	14.42BCc(14.8%)	1.37Aa(18.1%)
3	5.57Bb(-23.8%)	16.27Ab(29.5%)	1.33Aa(14.7%)
4	5.12Bb(-29.5%)	17.33Aa(38.0%)	1.21Aa(4.3%)
5	4.33Bc(-40.4%)	17.18Aa(36.8%)	1.05ABc(-9.5%)
6	3.27BCc(-55.0%)	17.12Aa(36.3%)	0.93Bd(-19.8%)
7	3.10Ccd(-57.3%)	15.39BCb(22.5%)	0.74Be(-36.2%)

表 3 渗透胁迫对番木瓜幼苗光合特性的影响
Table 3 The effect of osmotic stress on photosynthetic characters of leaves in papaya

处理时间 Stress time (d)	叶片水势 Water potential (-MPa)	净光合速率 Net photosynthetic rate (μmolCO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	气孔导度 Stomatal conductance (molH ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	细胞间隙 CO ₂ 浓度 Intercellar CO ₂ concentration (μL L ⁻¹)
0	5.7Ff	27.3Aa	0.36Aa	257.2Aa
1	6.8EFf(19.3%)	26.5Aa(-2.9%)	0.32Aa(-11.1%)	248.8Bb(-33.3%)
2	8.4Ee(47.4%)	25.1Aa(-8.1%)	0.30ABa(-16.7%)	240.1Cc(52.8%)
3	10.0Dd(75.3%)	21.0Bb(-23.1%)	0.24Bb(-33.3%)	226.3Dd(-12.0%)
4	12.6Cc(121.1%)	15.6Cc(-42.9%)	0.18Bb(-50.0%)	220.5Dd(-14.3%)
5	15.3Bb(168.4%)	12.2Dd(-55.3%)	0.16 Bb(-55.6%)	237.6Cc(-7.6%)
6	17.8Aa(212.3%)	10.0Ee(-63.4%)	0.17Bb(-52.8%)	241.9Cc(-6.0%)
7	18.5Aa(224.6%)	7.3Ff(-73.3%)	0.10Bc(-72.2%)	259.1Aa(0.7%)

表 3 的结果表明,随着渗透胁迫的进行,净光合速率逐渐下降,且下降幅度亦逐渐增大,当渗透胁迫至第七天,净光合速率由处理前的 27.3 μmolCO₂ m⁻² s⁻¹ 降到 7.5 μmolCO₂ m⁻² s⁻¹,下降了 72.5%。气孔导度也随渗透胁迫的进行而不断下降,由处理前的 0.36 molH₂O m⁻² s⁻¹ 减少到 0.06 molH₂O m⁻² s⁻¹,下降了 83.3%。气孔导度的下降与净光合速率的降低趋势相一致,但降低幅度变化不一。胁迫第 1~5 d,净光合速率的下降幅度小于气孔导度,渗透胁迫到第 6~7 d,光合速率的下降幅度

则大于气孔导度,这说明随渗透胁迫程度的不同,气孔导度的降低在净光合速率下降中所起的作用有所不同。

从表 3 的结果中可以看出,在渗透胁迫的第 1~4 d,番木瓜叶片细胞间隙 CO₂ 浓度逐渐下降,至第四天时降到最低,当胁迫至第 5~7 d 时,叶片细胞间隙 CO₂ 浓度反而有所上升,第七天的细胞间隙 CO₂ 浓度甚至比处理前增加了 0.7%。表明在严重渗透胁迫下,叶肉细胞的光合能力的下降是引起净光合作用速率下降的主要原因,气孔

导度则不是。

3 讨 论

水分胁迫引起植物质膜的伤害,已有较多报道(黄建昌等,1996;许长成等,1993),普遍认为水分胁迫下细胞内自由基产生和清除的平衡关系受到破坏,旱境引起的自由基积累攻击膜系统,导致膜脂过氧化,使细胞相对电导率增大,MDA 含量上升。POD 和 SOD 是植物体内防护氧自由基伤害的重要酶系统,能够清除体内逆境所产生的氧自由基而使植物体免受伤害,这是植物自我保护能力的体现。相关的研究结果(蒋明义等,1994;许长成等,1993)表明,植物处于干旱条件下,SOD 活性降低,POD 活性上升。我们的试验结果表明,POD 和 SOD 活性在渗透胁迫初期上升,重度胁迫时(处理后期)则降低。这可能是由于渗透胁迫初期受到的损伤较小,逆境所产生的氧自由基诱导 POD 和 SOD 活性提高以清除氧自由基,使植物体免受伤害。随渗透胁迫时间的延长,伤害加剧,POD 和 SOD 酶系统也受到伤害,而导致活性下降。

在正常条件下,植物叶片中可溶性蛋白质和叶绿素含量相对稳定,其含量的降低是叶片衰老的重要标志之一。干旱能引起叶片中可溶性蛋白质和叶绿素含量的降低而加速衰老过程(黄建昌等,1996;蒋明义等,1994),本试验也得到类似的结果。本试验结果表明,轻度渗透胁迫时,番木瓜叶片细胞间隙 CO_2 浓度下降,说明此时气孔的部分关闭引起的气孔导度降低是净光合速率下降的主要原因,渗透胁迫严重时,细胞间隙 CO_2 浓度上升,说明此时叶肉细胞利用 CO_2 的能力下降,这是净光合作用速率下降的主要原因,这与有关研究结果相似(廖镜思等,2001;卢从明等,1994;孙广玉等,1991)。一般认为,植物净光合速率的下降有 2 个方面的因素,一是气孔导度下降,阻止 CO_2 的供应,二是叶肉细胞利用 CO_2 能力降低(孙广玉等,1991)。本试验也说明了这一点,但起作用的时间不同。植物在水分胁迫下的这种反应,可使水分蒸腾量随光合的下降而相应的减少以避免水分的无效损耗,来换取尽可能大的 CO_2 同化量,从而对水分的利用达到最优化。这是植物气孔调节机能对干旱逆境的巧妙适应。因此,气孔调节能力的有效程度可作为评价植物抗旱性的一个重要指标。

参考文献:

- 张志良. 1980. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 143—144, 151—157.
- Bradford MM. 1976. A rapid and sensitive method for the determination of microgram qualities of protein utilizing the principle of protein dye binding [J]. *Anal Biochem*, **72**: 248.
- Huang JC (黄建昌), Xiao Y (肖 艳). 1996. Study on PP₃₃₃ increased the drought resistance in strawberry (提高草莓抗旱性研究) [J]. *Journal of Zhongkai Agrotechnical College* (仲恺农业技术学院学报), **9** (1): 67—71.
- Jiang MY (蒋明义), Yang WY (杨文英), Xiu J (徐江), et al. 1994. Osmotic stress-induced oxidative of rice seedlings (渗透胁迫诱导水稻幼苗的氧化伤害) [J]. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), **20** (6): 373—375.
- Liao JS (廖镜思), Liu S (刘 殊), Chen QX (陈清西), et al. 2001. Study on the photosynthetic characters and its effect factors in longan (龙眼光合特性及其影响因子的研究) [J]. *Acta Horticulture Sinica* (园艺学报), **28** (2): 164—166.
- Lu CM (卢从明), Zhang QD (张其德), Kuang TY (匡廷云), et al. 1994. The mechanism for the inhibition of photosynthesis in rice by water stress (水分胁迫抑制水稻光合作用的机理) [J]. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), **20** (5): 601—607.
- Sun GY (孙广玉), Zou Q (邹 琪), Cheng BS (程炳嵩), et al. 1991. Responses of photosynthesis rate and stomatal conductance to water stress in soybean leaves (大豆光合速率和气孔导度对水分胁迫的响应) [J]. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **33** (1): 43—49.
- Wang AG (王爱国), Lou GH (罗广华), Shao CB (邵从本), et al. 1983. A study on the superoxide dismutase of soybean seeds (大豆种子超氧歧化酶的研究) [J]. *Acta Phytophysiology Sinica* (植物生理学报), **9**: 77—84.
- Wang WL (王万里). 1984. The application of pressure chamber in studying plant-water relations (压力室技术在植物水分状况研究中的应用) [J]. *Plant Physiology Communications* (植物生理学通讯), **3**: 52—57.
- Xu CC (许长成), Zou Q (邹 琪). 1993. The acceleration of senescence of soybean leaves induced by drought and its relation to membrane lipid peroxidation (大豆叶片早促衰老与膜脂过氧化的关系) [J]. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), **19** (4): 359—364.
- Zeng SX (曾韶西), Wang YR (王以柔). 1987. Low temperature injury and peroxidation of membrane lipids in rice seedlings (水稻幼苗低温伤害和膜脂过氧化) [J]. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **29** (5): 506—512.