

DOI:10.11937/bfyy.201506007

## 水分胁迫对金桔光合特性的影响

钟 娟<sup>1</sup>, 钟俊荣<sup>2</sup>

(1. 贵州师范学院 化学与生命科学学院, 贵州 贵阳 550000; 2. 成都长田园林绿化有限公司, 四川 成都 610000)

**摘 要:**以3年生金桔嫁接苗为试材,通过采取控制土壤含水量设置不同水分梯度对金桔进行处理,探讨水分胁迫对金桔光合特性的影响。结果表明:在不同程度的水分胁迫下,金桔光合特性出现不同变化;轻度水分胁迫对金桔叶片叶绿素含量、含水量无显著影响,但显著降低了其比叶重;而重度水分胁迫则显著降低了其叶片叶绿素含量、含水量以及比叶重;轻度水分胁迫显著降低了金桔净光合速率、气孔导度,对金桔胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和蒸腾速率未造成显著影响;而重度水分胁迫则对上述指标中除胞间 CO<sub>2</sub> 浓度外,均有显著抑制效应。试验表明,轻度水分胁迫是金桔栽培中土壤水分控制的临界值,应在实践中予以重视。

**关键词:**水分胁迫;净光合速率;叶绿素含量;气孔导度;金桔

**中图分类号:**S 666.9 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2015)06-0026-04

水分胁迫对果树光合作用的影响已获得大量的试验证明<sup>[1]</sup>。水分胁迫使果树叶绿素含量下降,对光合色素有显著影响,可造成叶绿素(Chl)分解和类胡萝卜素(Car)含量的减少<sup>[2]</sup>。通常影响植物光合作用的因素可分为气孔因素和非气孔因素,前者指水分胁迫使气孔导

度下降,CO<sub>2</sub> 进入叶片受阻而使光合下降,后者指光合器官光合活性下降,水分胁迫对果树光合作用的影响也是通过这2个因素来实现。Farquhar 等<sup>[3]</sup>用叶内部 CO<sub>2</sub> 浓度区分气孔和非气孔因素对光合限制作用的大小,当叶肉内部的限制成为光合下降的主要原因时,细胞内 CO<sub>2</sub> 浓度增加;而当气孔限制增加成为光合下降的主要原因时,细胞间隙 CO<sub>2</sub> 浓度减少。随着叶片水势下降,光合速率下降,有一个从气孔限制向叶肉细胞光合活性限制的转变过程。在柑橘、苹果、杏等果树上都有报道

**第一作者简介:**钟娟(1981-),女,硕士,实验师,现主要从事植物物种资源等研究工作。E-mail:zhongjuan100@126.com.

**收稿日期:**2014-11-12

## Study on Potassium Distribution of Greenhouse Cucumber in Growth and Development Under Different Nutrient Solution Concentrations

MA Wan-zheng<sup>1,2</sup>, SHENG Dong-dong<sup>1</sup>, MA Wan-min<sup>3</sup>, YAO Fa-zhan<sup>1</sup>, WANG Kai<sup>1</sup>, ZHAO Kuan<sup>1</sup>, BAO Qi<sup>1</sup>

(1. College of Urban Construction and Environment, Anhui Science and Technology University, Fengyang, Anhui 233100; 2. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education and Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013; 3. Farm Machinery Supervision Station of Qingdao Development Zone, Qingdao, Shandong 266555; 4. School of Environmental Resources, Anqing Normal University, Anqing, Anhui 246011)

**Abstract:** Taking first-filial generation cucumber variety of 'Qingwa Wangzi' as material, in venlo greenhouse, with bags of perlite as the carrier, and the Hoagland nutrient solution for fertilization, T1(1:200), T2(1:100), T3(1:50), T4(1:30) four treatments were set, and the destructive experiments was conducted, during the whole growth period of cucumber, and determine potassium (K) content in cucumber organs. In order to study K uptake of cucumber organs grew in greenhouse under different nutrient solution concentrations. The results showed that, with the increase of the concentration of nutrient solution, the potassium uptake of the organs of greenhouse cucumber increased gradually. But when the nutrient solution concentration was higher than T3, greenhouse cucumber production was reduced. When the nutrient solution concentration was T3, greenhouse cucumber yield was the highest, reached 6 984.499 g per plant.

**Keywords:** greenhouse; cucumber; potassium; nutrient solution concentration; absorption rule

水分胁迫下非气孔因素导致光合下降的研究结果<sup>[1]</sup>。Hoare 等<sup>[4]</sup>发现随着水分胁迫程度的加剧,甜橙的气孔阻力和叶肉阻力增加,光合作用受抑制。所以,水分胁迫时叶片光合作用被抑制是气孔和非气孔因素共同作用的结果。在一般情况下轻度或中度水分胁迫时气孔因素占主导作用,严重胁迫时非气孔因素起主导作用。但是,水分胁迫对金桔光合作用的影响却鲜见研究报道。

金桔(*Fortunella margarita* (Lour.) Swingle)属芸香科(Rutaceae)柑橘亚科(Aurantioideae)柑橘族(Citreae)金柑属(*Fortunella*)的常绿小乔木。金桔是中国的特产果树,其营养价值高,风味独特,并有重要药用价值,还含有挥发油、金桔甙等活性物质。基于此,金桔产业得到越来越多的关注和重视。目前我国金桔栽培面积达到 1 133 万  $\text{hm}^2$ ,年产量 6 万 t,居世界首位。中国金桔主要分布在南岭山脉以南的东南沿海诸省,如江西遂川县、浙江宁波北仑区、湖南浏阳县、广西融安县、福建尤溪县等为主要金桔产地<sup>[5]</sup>,已成为我国主产区农村经济的支柱产业之一。但是,目前对金桔的研究主要集中于其栽培与管理<sup>[6-10]</sup>、开发利用<sup>[11-13]</sup>、病虫害防治<sup>[14-15]</sup>、优株初选<sup>[16]</sup>等方面。而水分胁迫对其生长发育的影响则鲜见研究报道。因此,该试验以 3 年生的金桔嫁接苗为材料,研究不同水分胁迫处理对金桔光合特性的影响,以期对金桔生产实践和基础理论研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为 3 年生金桔嫁接苗。

### 1.2 试验方法

将普通河沙、棉子壳、普通菜园土按一定比例拌匀,然后放入温度为 70℃ 的烘箱中烘干,将干燥的培养土分别装入培养钵中,并于每盆定植 1 株幼苗后称重(W1)。然后对定植好的幼苗充分浇水,直到培养土吸水饱和和不再有重力水流出为止,再称取苗、培养土、花盆三者的总重(W2)。用充分浇水后的重量 W2 减去浇水前的重量 W1 就能得到其最大持水量(W)。即  $W=W2-W1$ 。

将准备好的盆栽苗置于温室中培养,待完全成活后放入温度设为 30℃ 的人工气候箱中培养 30 d 后,进行水分胁迫处理,水分胁迫处理的前 7 d 每隔 2 d 对处理盆栽苗称重,7 d 后每天对处理盆栽苗称重(W3),并计算出土壤中的真正含水量和失水率,以正常浇水的盆栽苗为对照。即含水量 =  $W3-W1$ 。失水率 =  $\text{含水量}/W \times 100\% = (W3-W1)/W \times 100\%$ 。

当盆栽苗每个处理有 5 盆失水率达到试验设计的 20%(对照,CK)、40%~50%(轻度胁迫,MS)、75%~80%(重度胁迫,SS),即对照盆栽土壤中水分含量为最大田间持水量 80%、MS 则为 50%~60%、SS 则只有

20%~25%。对每个盆进行挂牌编号,每天 9:00 时称取盆重,补充所失水分,使各处理保持设定的相对含水量,连续控水 20 d 后测定光合指标日变化。

### 1.3 项目测定

1.3.1 光合作用主要指标测定 选每株苗的当年生春梢顶端以下第 3、4 片叶为光合作用测量对象。测定日为晴天,每次读数 5 次,取其平均值。光合作用等数据测定后,采第 4 片叶进行叶绿素含量测定。

1.3.2 叶绿素含量测定 丙酮乙醇混合液法测定叶绿素含量<sup>[17]</sup>:用打孔器在叶片主脉两侧打取 0.2 g 叶圆片,用乙醇-丙酮混合液(1:1, v/v)浸提过夜,用分光光度计测 663 nm 和 645 nm 波段的光密度值,测定叶绿素含量。

1.3.3 光合指标日变化的测定 主要测定指标:净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )、蒸腾速率( $T_r$ )等。测定环境设为:CIRAS-2 便携式光合作用测定系统,开放式气路,光通量密度为  $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,温度 25℃,测定时间为 6:00—18:00,每隔 2 h 测定 1 次。选择 3 片功能叶测量,并分别测定 5 次取平均值。

### 1.4 数据分析

试验数据采用 SPSS 18.0 进行差异显著性分析,主要分析对照与轻度胁迫(MS)和重度胁迫(SS)之间的差异性。采用 Origin Pro 8.0 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 水分胁迫对金桔叶片光合色素的影响

由表 1 可以看出,处理后金桔的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量 3 个指标均以 CK 为最大,MS 值其次,SS 最小。轻度胁迫(MS)导致金桔叶片的总叶绿素含量下降了 19.4%,但与对照差异不显著;而重度胁迫(SS)则导致其含量显著下降,下降比例达到 38.7%。

表 1 不同水分胁迫处理对叶片叶绿素含量与比叶重的影响

Table 1 Effect of different treatments on content of chlorophyll and specific leaf mass

处理	叶绿素 a /( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	叶绿素 b /( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	叶绿素 a/b	叶绿素总量	叶片含水量/%	比叶重 /( $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ )
CK	6.70a	2.51a	2.67a	9.21a	63.4a	64.6a
MS	5.40a	2.20a	2.45a	7.60a	59.5a	40.2b
SS	4.11b	1.90b	2.16a	6.01b	54.7b	30.1c

### 2.2 水分胁迫对金桔比叶重的影响

表 1 数据还表明,水分胁迫也导致金桔叶片含水量下降。其中,轻度胁迫(MS)使其叶片含水量下降不显著,但是重度胁迫(SS)则显著降低了叶片含水量。MS 和 SS 均显著降低了金桔的比叶重,其降低比例分别达到 37.8%和 53.4%。

### 2.3 水分胁迫对金桔光合作用参数的影响

#### 2.3.1 水分胁迫对金桔净光合速率日变化的影响 从

图1可以看出,轻度胁迫(MS)对金桔净光合速率没有产生显著影响,而重度胁迫(SS)严重抑制了金桔光合作用的进行。MS条件下,金桔日平均净光合速率约为  $13.50 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,是对照净光合速率日平均值 ( $17.33 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 的 77.9%,而SS下,金桔净光合速率只有  $5.88 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,仅为对照的 33.9%。

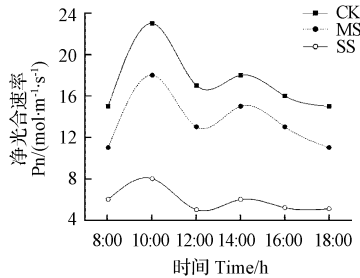


图1 水分胁迫对金桔净光合速率日变化的影响

Fig.1 Effect of water stress on Pn of kumquat

2.3.2 水分胁迫对金桔气孔导度日变化的影响 由图2可以看出,在不同含水量的土壤中生长的金桔,其气孔导度日变化曲线具有一定的相似性,即基本呈双峰曲线。从8:00开始逐渐增大,在10:00左右出现第1峰值,然后逐渐下降,在12:00左右出现“午睡”现象;之后又开始逐渐升高,到14:00时出现第2峰值,但比第1峰值略低,接着又下降至基本稳定。在全天中,金桔的气孔导度在早、晚基本接近,但是下午的气孔导度略低于上午的。而就日平均值而言,轻度胁迫(MS)处理下,其气孔导度为 3.85,仅为对照(6.97)的 55.2%;而重度胁迫(SS)下,气孔导度只有 1.97,仅为对照的 28.3%。

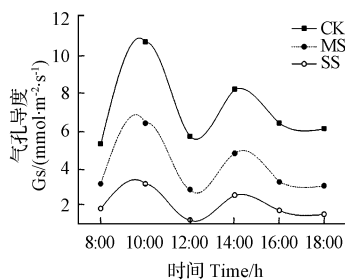


图2 水分胁迫对金桔气孔导度日变化的影响

Fig.2 Effect of water stress on Gs of kumquat

2.3.3 不同水分胁迫条件下金桔胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $\text{Ci}$ )日变化 从图3可以看出,各处理组金桔胞间  $\text{CO}_2$  浓度从8:00开始均逐渐下降。MS和SS植株胞间  $\text{CO}_2$  浓度最低值出现在12:00,而CK植株在14:00出现胞间  $\text{CO}_2$  浓度最低值。随后各植株胞间  $\text{CO}_2$  浓度稍有上升,但变化较小。总体而言,水分胁迫对金桔叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度未产生显著影响。

2.3.4 不同水分胁迫条件下金桔蒸腾速率( $\text{Tr}$ )日变化

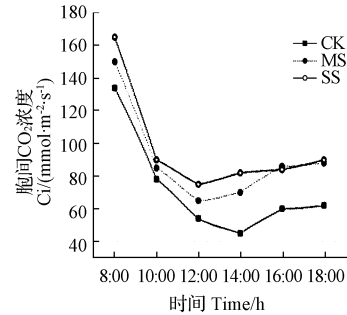


图3 水分胁迫对金桔胞间  $\text{CO}_2$  浓度日变化的影响

Fig.3 Effect of water stress on  $\text{Ci}$  of kumquat

从图4可以看出,金桔叶片蒸腾速率随土壤含水量的增加而升高。轻度胁迫(MS)下,蒸腾速率未出现显著下降,且其日变化峰值与对照(CK)无显著差异。重度胁迫(SS)显著降低了金桔的蒸腾速率,且其蒸腾速率在午间的峰值也很低。表明长时间严重干旱将导致金桔气孔调节能力显著下降。

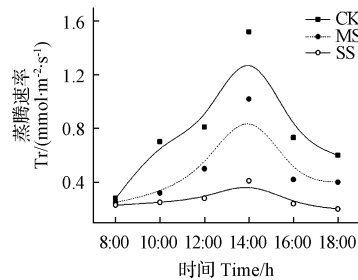


图4 水分胁迫对金桔蒸腾速率日变化的影响

Fig.4 Effect of water stress on Tr of kumquat

### 3 讨论

叶绿素作为重要的色素分子,参与光合作用中光能的吸收、传递和转换等过程,在光合作用中占有重要地位<sup>[18]</sup>。其中仅少量的叶绿素a可以吸收和转化光能,而大多数叶绿素a和全部的叶绿素b可以吸收和传递光能。该试验中,水分胁迫导致金桔叶片中叶绿素含量降低。轻度胁迫下,金桔叶片含水量能保持在较高的范围且叶绿素含量高。而受到重度胁迫(土壤有效含水量低于30%)时,金桔叶片含水量、叶绿素含量以及比叶重均显著下降。其原因主要可能是水分胁迫之后,金桔叶片叶绿素的生物合成受到抑制而分解更快<sup>[19]</sup>。

水分胁迫是引起光合作用下降的最主要因子之一,可抑制光合作用的正常进行。研究表明,水分胁迫导致的植物叶片光合作用被抑制是由气孔和非气孔因素共同作用的结果<sup>[20]</sup>。轻度或中度水分胁迫时,气孔因素占主导作用;重度胁迫时非气孔因素起主导作用<sup>[21]</sup>。在该试验中,土壤水分状况不同导致金桔光合速率和蒸腾速率日变化均有显著差异。随着胁迫程度的加深,Pn和Gs显著降低,而Ci在重度胁迫下也有所上升,这表明重

度胁迫下,非气孔因素是导致光合作用受到抑制的主要因素。而该研究中,重度胁迫导致了金桔叶片叶绿素含量、含水量以及比叶重的下降,也进一步表明了上述结果。

金桔为阳生耐阴植物,基本适宜金桔生长的土壤水分条件(50%左右)可能是影响金桔各项光合生理指标的“临界范围”。在土壤含水量高于该值时,各项光合指标受影响不显著,说明此时的水分条件较好,不需要灌溉补水;在土壤含水量低于该值时,各项光合生理指标受影响较显著,说明此时的水分条件较差,需要灌溉补水。因此,在对金桔栽培中,需要重视其生长的土壤水分管理,使其土壤保持合理的有效含水量,以促进其生长,提高生产效益。

### 参考文献

- [1] 李嘉瑞,任小林,王民柱,等. 干旱对果树光合作用的影响及水分胁迫信息传递[J]. 干旱地区农业研究,1996,14(3):69-72.
- [2] 卢从明,张其德,匡廷云. 水分胁迫对光合作用影响的研究进展[J]. 植物学通报,1994,11(增刊):9-14.
- [3] 关义新,戴俊英,林艳. 水分胁迫下植物叶片光合气孔和非气孔限制[J]. 植物生理学通讯,1995,31(4):293-297.
- [4] 夏阳. 水分逆境对果树脯氨酸和叶绿素含量变化的影响[J]. 甘肃农业大学学报,1993(1):26-31.
- [5] 周超华,章康华. 江西金橘产业发展的对策研究[J]. 江西园艺,2002(5):1-3.
- [6] 陈建起. 北方地区盆栽金橘的栽培与管理[J]. 内蒙古林业调查设计,2006,29(5):30-31.
- [7] 李萍. 脆皮金橘的品种特性及其栽培技术[J]. 中国南方果树,2004,33(5):11-12.
- [8] 李萍. 脆皮金橘的品种特性及其早结丰产栽培技术[J]. 柑橘与亚热带果树信息,2005,21(4):44-45.
- [9] 何品红,李柳洪,苏连生. 金橘覆膜避雨防裂果栽培技术[J]. 中国南方果树,2006,35(5):7-8.
- [10] 郑腾桂. 金柑园土壤管理方法试验[J]. 现代农业科技,2006(9):12-13.
- [11] 吴耀溪,潘文忠,陈鸿,等. 金橘栽培与开发利用研究进展[J]. 林业科技开发,2004,18(6):6-9.
- [12] 张宏梓. 无核金橘研究初报[J]. 西南园艺,2004(5):18-19.
- [13] 张宏梓,吴耀溪,吴大忠,等. 尤溪金橘产业发展的对策研究[J]. 林业勘察计,2006(2):216-218.
- [14] 李月娥,黄光环. 金橘果实黑点病的防治[J]. 植物医院,2004(9):22.
- [15] 邓光宙,邱柱石,李柳洪,等. 阳朔金橘黄龙病初探[J]. 广西园艺,2007,18(2):19-22.
- [16] 张宏梓. 金橘优株初选研究[J]. 林业科技开发,2005,19(6):45-47.
- [17] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社,2006:134-137.
- [18] Kelliher F M. Stomatal resistance,transpiration and growth of drought-stressed eastern cottonwood [J]. Canadian Journal of Forest,1980,10:447-451.
- [19] Alberte R S,Thonber J P,Fiscus E L. Water stress effects on the content and organization of chlorophyll in mesophyll bundle sheath chloroplasts of maize[J]. Plant Physiology,1977,59(3):351-353.
- [20] Winter K,Schramm M J. Analysis of stomatal and nonstomatal components in the environmental control of CO<sub>2</sub> exchange in leaves of *Welwitschia mirabilis* [J]. Plant Physical,1986,82(1):173-178.
- [21] 李宁毅,时彦平,王吉振. 水分胁迫下烯效唑对百花草幼苗光合特性及叶解剖结构的影响[J]. 西北植物学报,2012,32(8):1626-1631.

## Effect of Water Stress on Photosynthetic Characteristics of *Fortunella margarita*

ZHONG Juan<sup>1</sup>, ZHONG Jun-rong<sup>2</sup>

(1. Chemical and Life Science College, Guizhou Teachers College, Guiyang, Guizhou 550000; 2. Chengdu Changtian Landscaping Company, Chengdou, Sichuan 610000)

**Abstract:** In order to study water stress on photosynthetic characteristics of kumquat, three-year-old of kumquat grafted seedlings were taken as test materials by controlling soil moisture in different percentage. The results showed that, photosynthetic characteristics of kumquat had different results with the different soil water stress. There were no significant influence on chlorophyll content and leaf water content in the treatment of mild water stress, but significantly decreased the specific leaf weight. However, severe water stress significantly reduced chlorophyll content, leaf water content and specific leaf weight. Mild water stress significantly decreased net photosynthetic rate and stomatal conductance, but no significant influence was found in intercellular CO<sub>2</sub> concentration and transpiration rate. Furthermore, severe water stress had significant influence on the index above except intercellular CO<sub>2</sub> concentration. Research showed that mild water stress was the critical value of soil moisture, which should be paid much attention in practice.

**Keywords:** water stress; net photosynthetic rate; content of chlorophyll; stomatal conductance; *Fortunella margarita* (Lour.) Swingle