

红壤水分条件对春季柑橘叶片生长形态 及营养元素累积的影响

汪敏华¹, 周 静², 崔 健²

(1. 安徽省黄山区农业技术推广中心, 安徽 黄山 242700; 2. 中国科学院 红壤生态实验站, 江西 鹰潭 335211)

摘要: 中国红壤地区季节性干旱非常严重, 土壤水分条件是制约该地区作物和果树生长发育的主要环境因子之一。以宫川温州蜜柑 *Citrus unshiu* ‘Miyagawa Wase’ 盆栽幼树为材料, 于 2003-2004 年春季利用土壤水分探头 (FDR) 测定红壤水分, 研究了红壤相对含水量对春季柑橘叶长、叶宽和叶梢长的影响, 并比较了不同红壤相对含水量处理下柑橘叶片与根系对氮磷钾的累积。结果表明, 橘叶面积、叶周长、叶宽值均在 75% 时达最大值, 为 12.25 cm², 13.84 cm, 3.19 cm。适当缺水有利于橘叶中氮的积累。叶与根系对氮的累积差异不大, 但叶磷钾的累积量远低于根系的。橘叶中磷与红壤相对含水量呈显著正相关 ($R^2 = 0.944\ 3^*$, $P < 0.05$), 而各红壤相对含水量处理间橘叶中钾无差异。当红壤相对含水量 $\leq 30\%$ 。钙镁铁的积累受到了显著抑制。综合橘叶生长及对营养元素的吸收情况, 红壤相对含水量在 75% 左右, 最适柑橘叶片的生长。表 3 参 14

关键词: 植物营养; 土壤水分; 柑橘; 叶片; 营养吸收

中图分类号: S152.7; S666 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2009)01-0017-05

Effects of red soil moisture on leaves growth and nutrient accumulation of *Citrus unshiu*

WANG Min-hua¹, ZHOU Jing², CUI Jian²

(1. Agro-Tech Extension Center of Huangshan County, Huangshan 242700, Anhui, China; 2. Red Soil Ecological Experiment Station, Chinese Academy of Sciences, Yingtan 335211, Jiangxi, China)

Abstract: Red soil moisture makes an important role in the production of crop and fruit as one of the most limiting factors in the red soil region of China. Citrus is the main fruit in the region. The objective of this study was to explore the effects of red soil relative water content (RSWC) on leaves growth and nutrient accumulation of citrus in spring, further, to provide the theoretical foundation for economic irrigation of citrus production in red soil region of China. Mature satsuma mandarin trees (*Citrus unshiu* ‘Miyagawa Wase’) were selected as experimental materials and Frequency Domain Reflectometry (FDR) was used to monitor red soil moisture. And there were five red soil moisture treatments, which red soil water content accounted on 30%, 45%, 60%, 75% and 90% of the maximum for water content in red soil field. The results showed that the leaf growth factors including the leaves area, the leaves perimeter and the leaves width all reached the maximum values, which were 12.25 cm², 13.84 cm and 3.19 cm, respectively, When RSWC was 75%. As for nutrition accumulation, soil moisture was advantageous to N accumulation when soil water stress was the right amount. P was positively and significantly ($R^2 = 0.944\ 3$, $P < 0.05$) correlated with RSWC while no differences for K in leaves was found. When RSWC was below 30%,

收稿日期: 2008-01-31; 修回日期: 2008-09-17

基金项目: 中国科学院知识创新领域前沿项目 (ISSASIP0730); 中国科学院知识创新项目 (KZCX2-YW-Y417)

作者简介: 汪敏华, 助理农艺师, 从事农业技术推广工作。E-mail: mhwang6611@163.com。通信作者: 周静, 副研究员, 从事土壤生态等研究。E-mail: zhoujing@issas.ac.cn

accumulations of calcium (Ca), magnesium (Mg), and iron (Fe) were negatively affected. In addition, there were no differences for N in between leaves and roots; however, P and K in leaves were less than in roots. Overall balance of leaves growth and nutrient accumulation, it was more beneficial for leaves growth when RSWC was about 75%. [Ch, 3 tab. 14 ref.]

Key words: plant nutrition; soil moisture; *Citrus unshiu*; leaves; nutrition accumulation

柑橘 *Citrus* 是我国亚热带红壤地区栽培最为广泛的水果, 但柑橘园多建在水分条件较差的丘陵岗地, 土壤水分是制约柑橘生产的主要环境因子^[1]。土壤水分的变化带来植物体内一系列的生理生化变化, 使植物提高对环境的适应性。果树叶片相对含水率和新梢长等均随土壤水分的减少而减低^[2-3]。同时, 叶片中矿质营养元素也因树种和土壤水分变化而差异显著^[4-5]。目前, 对土壤水分与树木生长的关系多集中在我国西北部干旱半干旱地区^[2-5], 而对红壤季节性干旱区的研究较少, 对柑橘的研究更少。本试验通过对盆栽柑橘实行精确供水, 研究水分控制下柑橘叶的生长变化和对叶片氮、磷、钾的影响, 比较叶片与根系氮、磷、钾变化及特点, 旨在为红壤地区橘园灌溉模式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试柑橘为 2 年生枳 *Poncirus trifoliata* 砧宫川温州蜜柑 *Citrus unshiu* ‘Miyagawa Wase’ 盆栽苗。

供试土壤为第四纪红黏土发育的红壤, 其基本理化性质为有机质 11.05 g·kg⁻¹, 全氮 0.54 g·kg⁻¹, 碱解氮 52.60 mg·kg⁻¹, 有效磷 44.83 mg·kg⁻¹, 速效钾 283.52 mg·kg⁻¹。

1.2 处理方法

试验于 2003 年 4 - 10 月和 2004 年 4 - 10 月连续 2 批次在中国科学院红壤生态实验站 (28°12' N, 116°55'E) 温网室中进行。采用特号签瓦桶盆, 口内径、底内径和内高度分别为 32, 27, 48 cm, 装满土, 每盆 1 株。选主径、分枝、长势、胸径等生长特征相近的供试柑橘幼树 25 盆, 进行水分控制处理实验。采用单因子差异重复试验设计, 设置 5 个土壤水分处理, 每处理 5 个重复。5 个土壤水分处理: 盆内 30 cm 深度土壤水分含量分别是最大田间持水量的 30%, 45%, 60%, 75% 和 90%。各处理得到相应的土壤含水量后, 用塑料薄膜将盆及土面包住, 以防土面和盆体蒸发; 用土壤水分探头 (MP-406 频域反射仪探头, 澳大利亚 ICT 公司) 实时监测盆内土壤水分含量, 按盆内土壤质量适时加水, 控制盆内土壤含水量在试验设计的范围内。

1.3 观测与分析方法

茎叶形态指标测定: 叶面积和叶片形态指标用 CI-203 AREA METER (CID, INC. U.S.A.), 测定新梢倒数第 4 叶或第 5 叶, 每株测定 5 片叶。叶长宽比: 叶片长度与最大宽度比值, 由 CI-203 AREA METER 计算处理得到; 叶片形状因子是叶面积和周长的校正比值, 由 CI-203 AREA METER 计算处理得到, 理论上圆盘的形状因子为 1。叶片和根系部分元素分析: 取功能叶片 (主枝倒数第 3 片和第 4 片叶), 每株取数片, 用去离子水浸泡清洗, 烘干; 每年的 10 月 15 日, 将当年批次的试验橘树苗从盆中取出, 根系用蒸馏水洗净, 用去离子水浸泡清洗, 烘干。分析叶片和根系主要元素质量分数。氮用凯氏法 (GB 7886-1987), 磷用比色法 (GB 7887-1987), 钾用火焰光度计法 (GB 7887-1987); 叶片钙、镁和铁用干灰化-原子吸收分光光度法 (GB 7887-1987)^[6]。

1.4 数据处理

数据用 Excel 2003 和 SAS 9.01 分析统计。所用数据为 2 年各指标观测和分析数据的平均值。

2 结果与分析

2.1 红壤水分条件对柑橘叶形态的影响

从表 1 可知, 柑橘叶面积、叶周长和叶宽均在土壤相对含水量 75% 处理时达最大值, 分别为 12.25 cm², 13.84 cm, 3.19 cm; 柑橘叶长最大值虽然出现在土壤相对含水量 90% 的处理, 但与 75%

的处理之间无显著差异。土壤相对含水量 30%处理, 叶形态各指标均出现最小值, 且叶面积、叶周长、叶长和叶宽数值与 75%的处理对应的数据之间差异极显著。土壤相对含水量在 30% ~ 75%时, 柑橘叶片生长量与形态指标值(y)与土壤水分相对含量(x)呈正相关性, 分别是: 叶面积(y_1)与土壤相对含水量(x)呈极显著相关($y_1 = 1.006x + 7.188$; $R^2 = 0.942\ 3^{**}$, $P = 0.004$, $n = 125$); 叶周长(y_2)与土壤相对含水量(x)呈显著相关性($y_2 = 0.689x + 10.449$; $R^2 = 0.915\ 9^*$, $P = 0.016$, $n = 125$); 叶长(y_3)与土壤相对含水量(x)呈显著相关性($y_3 = 0.226x + 3.828$; $R^2 = 0.851\ 1^*$, $P = 0.013$, $n = 125$); 叶宽(y_4)与土壤相对含水量(x)呈极显著相关性($y_4 = 0.151x + 2.489$; $R^2 = 0.947\ 4^{**}$, $P = 0.004$, $n = 125$)。综合柑橘叶片生长受土壤水分状况影响的各指标值的变化, 表明在红壤相对含水量 75%处理时, 柑橘叶片的生长参数较为理想。以此为界, 随着土壤水分的增加或减少, 柑橘叶片生长量都受到了一定程度的影响。

表 1 红壤水分条件对柑橘叶形态各指标的影响

Table 1 Effects of red soil moisture on modality of citrus leaves

土壤相对含水量/%	叶面积/cm ²	叶周长/cm	叶长/cm	叶宽/cm	形态因子
30	8.49 ± 1.41 Ce	11.4 ± 1.17 Bb	4.15 ± 0.60 Bb	2.65 ± 0.28 Cb	0.81 ± 0.04 Aa
45	8.93 ± 1.85 Cbc	11.60 ± 1.36 Bb	4.21 ± 0.62 Bb	2.73 ± 0.28 BCb	0.82 ± 0.05 Aab
60	10.19 ± 2.22 BCb	12.13 ± 1.77 Bb	4.32 ± 0.92 ABb	2.98 ± 0.25 ABa	0.86 ± 0.06 Aa
75	12.25 ± 2.61 Aa	13.84 ± 1.43 Aa	4.92 ± 0.33 Aa	3.19 ± 0.39 Aa	0.86 ± 0.04 Aa
90	12.07 ± 1.37 Aba	13.61 ± 0.91 Aa	4.93 ± 0.45 Aa	3.16 ± 0.25 Aa	0.86 ± 0.03 Aa

说明: 表中同一列字母为邓肯差异比较水平, 其中小写表示 5%显著水平, 大写字母表示 1%显著水平。

2.2 红壤水分条件对柑橘叶片营养元素吸收的影响

2.2.1 红壤水分对柑橘叶片氮、磷、钾累积的影响 从表 2 可知, 氮、磷、钾元素在叶片和根系中的累积差异明显, 叶片氮、磷、钾质量分数分别为根系的 76.81%, 14.51%, 4.47%。表明氮、磷、钾被根系吸收后, 在体内分配不同。氮是蛋白质、氨基酸合成的基本元素, 所以其质量分数要远高于其他元素, 这也是在不同作物施肥中氮肥要远远多于磷、钾肥的原因。

在不同的土壤水分处理下, 氮、磷、钾元素在叶片与根系中的变化趋势也有所不同。叶片氮质量分数在土壤相对含水量 60%处理时达最大值 $18.59\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 且与土壤相对含水量 75%处理间差异显著。这可能是在适当土壤缺水条件下, 柑橘叶片的生理调节反应, 通过加大蛋白质、氨基酸和氮代谢次生产物的积累, 调节细胞水势和稳定、修复细胞质膜, 以适应一定的水分胁迫, 这也是适当亏缺灌溉能提高水果和农作物品质的生理基础。叶片磷的累积量与土壤相对含水量呈显著相关($R^2 = 0.944\ 3^*$, $P = 0.013$), 各土壤相对含水量处理间差异显著, 但最低值出现在土壤相对含水量 45%处理上, 这也可能是磷参与生理代谢的结果。叶片与根系对钾的累积量基本一致, 呈极显著线性相关($R^2 = 0.952\ 9^{**}$, $P = 0.009$), 而且各土壤相对含水量处理间无显著差异。说明在土壤相对含水量处理下, 钾不是柑橘叶片中细胞渗透调节物质, 对构成细胞组织结构成分的影响不大。

2.2.2 红壤水分条件对柑橘叶片钙、镁、铁累积的影响 不同红壤水分条件下, 钙在供试柑橘叶片中累积量为 $26.044 \sim 33.659\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 土壤相对含水量 45%处理最高, 土壤相对含水量 30%处理最低 (表 3)。差异分析表明, 土壤相对含水量从 90%降到 45%时, 钙的累积量相对显著增加, 但降至 30%时, 其累积量又显著降低。且土壤相对含水量 30%处理时, 钙的累积量与其他各处理间的差异均显著。说明供试柑橘在土壤水分从盈余(土壤相对含水量 90%)到适度亏缺(土壤相对含水量 45%)时, 叶片吸收累积钙质量分数增加; 但是当土壤水分严重亏缺时, 又显著地抑制了柑橘叶片中钙素的积累。这可能与果树干旱胁迫时, 钙倒流水体有关^[7-8]。

由表 3 知, 不同红壤水分条件下, 叶片镁的累积量为 $2.272 \sim 2.439\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 其随红壤水分的变化与钙的相似。差异分析表明, 土壤相对含水量 30%处理时, 镁的累积量与其他 4 个处理(土壤相对含

表 2 不同红壤水分条件下柑橘叶片和根系对氮、磷、钾累积的影响
Table 2 Effects of soil moisture on the content of N, P and K in leaves and roots of *Citrus*

土壤相对含水量/%	全氮/(g·kg ⁻¹)		全磷/(g·kg ⁻¹)		全钾/(g·kg ⁻¹)	
	根系	叶片	根系	叶片	根系	叶片
30	17.92 ± 0.69 b	13.74 ± 0.13 c	1.56 ± 0.18 a	0.17 ± 0.12 d	20.47 ± 1.33 a	0.98 ± 1.10 a
45	20.45 ± 1.44 ab	14.48 ± 0.55 c	1.43 ± 0.05 ab	0.16 ± 0.08 e	21.38 ± 1.71 a	0.99 ± 1.68 a
60	20.34 ± 1.49 ab	18.59 ± 0.61 a	1.35 ± 0.11 ab	0.20 ± 0.10 c	22.13 ± 1.65 a	1.00 ± 1.71 a
75	22.25 ± 1.81 a	17.14 ± 0.23 b	1.26 ± 0.23 b	0.23 ± 0.21 b	24.63 ± 2.10 a	1.03 ± 2.01 a
90	21.18 ± 1.60 ab	13.76 ± 0.31 c	1.34 ± 0.11 ab	0.26 ± 0.12 a	23.77 ± 1.57 a	1.03 ± 1.63 a

说明：表中同一列字母为邓肯差异比较水平，其中小写表示 5%显著水平。

水量 45%，60%，75%和 90%)间差异显著，而其他 4 个处理间无差异性。这表明土壤水分严重亏缺时，柑橘叶片对镁的累积受到显著抑制。

在 5 个红壤水分处理下，叶片对铁的累积量为 0.144 ~ 0.169 g·kg⁻¹，其中土壤相对含水量 60%处理最高，土壤相对含水量 30%处理最低。当土壤相对含水量由 60%上升到 90%，叶片对铁的累积降低；当土壤相对含水量由 60%下降到 30%，叶片对铁的累积显著降低。说明红壤水分为 60%时，最适于柑橘叶片积累铁素，红壤水分含量较高或水分相对亏缺状况下，均使柑橘对铁素的积累量下降。差异分析表明，土壤相对含水量 30%，45%和 60%这 3 个土壤水分处理分别与 75%和 90%这 2 个处理间，柑橘叶片对铁的累积差异显著；土壤相对含水量 75%和土壤相对含水量 90%处理间差异不明显。

表 3 不同土壤水分处理对柑橘叶片中微量元素的影响

Table 3 Effects of soil water content on main nutrition elements of citrus leaves

土壤相对含水量/%	全钙/(g·kg ⁻¹)	全镁/(g·kg ⁻¹)	全铁/(g·kg ⁻¹)
30	26.044 ± 0.648 d	2.272 ± 0.088 b	0.144 ± 0.006 d
45	33.659 ± 0.388 a	2.439 ± 0.088 a	0.159 ± 0.005 b
60	32.389 ± 1.540 b	2.411 ± 0.042 a	0.169 ± 0.005 a
75	32.768 ± 1.036 ab	2.406 ± 0.076 a	0.153 ± 0.002 c
90	31.172 ± 1.077 c	2.413 ± 0.130 a	0.152 ± 0.001 c

说明：表中同一列字母为邓肯差异比较水平，其中小写表示 5%显著水平。

3 讨论与结论

土壤水分是组成树体的重要物质基础，又是新陈代谢的必备条件，如土壤中有机质的分解、营养物质的吸收、运输及光合作用等都是有水条件下进行的^[9]。叶片是植物的重要组成部分，叶片数量变化及其生长极易受环境因子的影响^[10]，很多植物受干旱胁迫时，最敏感的过程就是叶片的生长^[11-12]。本试验表明，当红壤相对含水量为 75%左右时，最适柑橘叶片的生长，而随着土壤相对含水量的增加或减少，柑橘叶片生长均受到一定程度的影响。

土壤水分对矿质营养元素质量分数的影响在不同树种间存在较大差异^[13]。程瑞平等^[14]研究苹果 *Malus pumila* 叶片时发现，土壤干旱增加了叶片钾、铁、钙、镁的质量分数，而对磷元素影响不大。刘国琴等^[5]研究土壤干旱胁迫对刺梨 *Ribes burejense* 叶片矿质元素影响的结果表明，土壤干旱减少了刺梨叶片中氮、磷、钾等的质量分数，但镁、铁元素质量分数则增加。李金玲等^[4]研究表明，土壤干旱减少了杨梅 *Myrica rubra* 叶片中氮、钾、镁元素质量分数，但增加钙、铁元素质量分数。本研究表明，在一定土壤含水量范围内，土壤水分增加促进了柑橘根系对氮、钾的累积，而抑制对磷的累积。叶片对氮的累积量在土壤相对含水量 60%处理时达最大值，对磷的累积量与土壤相对含水量呈显著相关($R^2 = 0.944\ 3^*$, $P = 0.013$)。不同红壤水分下，柑橘叶片铁的累积变化较大。红壤水分含量较高或水分相对亏缺状况下，均使柑橘对铁素的积累量下降；在红壤水分严重亏缺下，柑橘叶片铁积累量会受到显著抑制。

参考文献:

- [1] 刘昆玉, 张秋明, 郑玉生, 等. 温州蜜柑节水栽培研究[J]. 湖南农学院学报, 1995, **21** (3): 245 – 248.
LIU Kunyu, ZHANG Qiuning, ZHENG Yusheng, *et al.* A study of water conservative management for *Satsuma mandarin*[J]. *J Hunan Agric Univ*, 1995, **21** (3): 245 – 248
- [2] 单长卷, 刘遵春. 土壤水分对嘎拉苹果幼苗水分生理特性和生长特征的影响[J]. 西北林学院学报, 2006, **21** (2): 42 – 44.
SHAN Changjuan, LIU Zunchun. Effect of soil water on water physiology and growth characteristics of Gala apple seedlings[J]. *J Northwest For Univ*, 2006, **21** (2): 42 – 44.
- [3] 李文华, 吴万兴, 张忠良, 等. 土壤水分对仁用杏水分和生长特征的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2003, **31** (4): 139 – 144.
LI Wenhua, WU Wanxing, ZHANG Zhongliang, *et al.* Effect of soil moisture on hydraulic and growth characteristics of *Prunus armeniaca* × *sibirica*[J]. *J Northwest Sci-Tech Univ Agric For Nat Sci Ed*, 2003, **31** (4): 139 – 144 .
- [4] 李金玲, 樊卫国. 土壤干旱胁迫对杨梅生长及部分生理特性的影响[J]. 山地农业生物学报, 2006, **25** (5): 424 – 428.
LI Jinlin, FAN Weiguo. Response of growth and some physiological characters to soil drought stress in *Myrica rubra* Bieb. [J]. *J Mount Agric Biol*, 2006, **25** (5): 424 – 428.
- [5] 刘国琴, 何嵩涛, 樊卫国, 等. 土壤干旱胁迫对刺梨叶片矿质营养元素含量的影响[J]. 果树学报, 2003, **20** (2): 96 – 98.
LIU Guoqin, HE Songtao, FAN Weiguo, *et al.* Effect of soil drought stress on mineral contents of leaves in *Rosa roxburghii* Tratt.[J]. *J Fruit Sci*, 2003, **20** (2): 96 – 98.
- [6] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 308 – 315.
- [7] HIMELRICLE D G, MCDUFFIE R F. The calcium cycle: uptake and distribution in apple trees[J]. *Hortscience*, 1983, **18** (2): 145 – 151.
- [8] 龚云池, 徐季娥, 张淑珍, 等. 鸭梨叶片和果实中钙素含量年周期变化的研究[J]. 园艺学报, 1987, **14** (1): 1 – 6.
GONG Yunchi, XU Ji'e, ZHANG Shuzhen, *et al.* Seasonal variation of the calcium content in the leaves and fruits of the Yali pear[J]. *Acta Horti Sin*, 1987, **14** (1): 1 – 6.
- [9] 田景瑜, 刘桂兰, 毕巧玲, 等. 泡桐生长与土壤水分关系研究[J]. 河南林业科技, 2001, **21** (4): 33 – 34.
TIAN Jingyu, LIU Guilin, BI Qiaolin, *et al.* Relation of soil water to the growth of *Paulownia* trees [J]. *J Henan For Sci Technol*, 2001, **21** (4): 33 – 34.
- [10] JONES M. Modular demography and form in silver birch[M] //WHITE J. *Studied on Plant Demography: A festschrift for John L. Harper*. London: Academic Press, 1985: 223 – 237.
- [11] 王淼, 李秋荣, 郝占庆, 等. 土壤水分变化对长白山主要树种蒙古栎幼树生长的影响[J]. 应用生态学报, 2004, **15** (10): 1765 – 1770.
WANG Miao, LI Qiurong, HAO Zhanqing, *et al.* Effects of soil water regimes on the growth of *Quercus mongolica* seedlings in Changbai Mountain[J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, **15** (10): 1765 – 1770.
- [12] 王淼, 代力民, 姬兰柱. 土壤水分状况对长白山阔叶红松林主要树种叶片生理生态特性的影响[J]. 生态学杂志, 2002, **21** (1): 1 – 5.
WANG Miao, DAI Limin, JI Lanzhu, *et al.* Effect of soil moisture status on some eco-physiological indexes of dominant tree species in the pine broadleaf forest of Changbai Mountain[J]. *Chin J Ecol*, 2002, **21** (1): 1 – 5.
- [13] 吴祖映, 储家淼, 唐明荣, 等. 土壤水分状况对池杉形态结构及生长状况的影响[J]. 浙江林学院学报, 1996, **13** (3): 364 – 366.
WU Zuying, CHU Jiamiao, TANG Mingrong, *et al.* Effects of soil drainage on morphological structure and growth of *Taxodium ascendens*[J]. *J Zhejiang For Coll*, 1996, **13** (3): 364 – 366.
- [14] 程瑞平, 束怀瑞, 顾曼如. 水分胁迫对苹果树生长和叶中矿质元素含量的影响[J]. 植物生理学通讯, 1992, **28** (1): 32 – 34.
CHENG Ruiping, SHU Huairui, GU Manru. Effect of water stress on plant growth and mineral contents on leaves of apple tree [J]. *Plant Physiol Commun*, 1992, **28** (1): 32 – 34.