

# 温室茄子茎直径微变化与作物水分状况的关系

孟兆江<sup>1,2</sup>, 段爱旺<sup>1,\*</sup>, 刘祖贵<sup>1</sup>, 张寄阳<sup>1</sup>, 卞新民<sup>2</sup>

(1. 中国农业科学院农田灌溉研究所, 新乡 453003; 2. 南京农业大学农学院, 南京 210095)

**摘要:**在温室条件下,采用盆栽土培和小区试验相结合的方法,以茄子(*Solanum melongena*,品种新乡糙青茄)为材料进行了植株茎直径微变化(膨胀或收缩)与作物体内水分状况的关系试验研究,旨在为利用茎直径微变化无损快速诊断作物水分状况提供理论依据。盆栽和小区试验均采用两因素(土壤水分梯度和作物不同生育阶段)随机区组设计,土壤水分控制下限分别取田间持水量的 80% FC(Field water capacity), 70% FC, 60% FC 和 50% FC;生育阶段分别为苗期、花果期和采收期;共有  $4 \times 3 = 12$  个处理组合,重复 3 次。结果表明:无论是在较高土壤含水量或在较低土壤含水量条件下,在晴好的天气里,茄子茎直径都是在白天收缩,傍晚、夜间复原或膨胀,而且这种微变化动态与植株体内的水分状况密切相关,不同土壤含水量条件下植株茎胀缩的幅度存在明显差异。高水分条件下,植株茎收缩幅度小,复原能力强;低水分条件下,植株茎收缩幅度大,恢复能力差。茎直径变化对环境因子水汽压差(VPD)的响应比较敏感,二者呈正相关关系,相关系数  $R^2$  为 0.8938。茎直径变化量( $\Delta S_d$ )与叶水势( $\psi_L$ )、叶片相对含水量(LRWC)呈极显著正相关关系,相关系数  $R^2$  分别为 0.867 和 0.965。这些结果显示,茎直径变化量能灵敏、实时、准确地反映植株体内的水分状况;与其它作物水分诊断方法(叶水势法,叶片相对含水量法,细胞液浓度法等)相比,茎直径微变化法可能具有简便、稳定、无损、连续监测和自动记录的优势。

**关键词:**水分诊断;茎直径微变化;茄子

文章编号:1000-0933(2006)08-2516-07 中图分类号:S162 文献标识码:A

## The relationship between the change of stem diameter and plant water content of eggplants: an experimental study

MENG Zhao-Jiang<sup>1,2</sup>, DUAN Ai-Wang<sup>1,\*</sup>, LIU Zu-Gui<sup>1</sup>, ZHANG Ji-Yang<sup>1</sup>, BIAN Xin-Ming<sup>2</sup> (1. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453003, China; 2. Agricultural College, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2516 ~ 2522.

**Abstract:** A simple nondestructive method to continuously measure plant water content has long been sought in the study of both soil-water-plant relations and the impact of environment on plant growth. A number of methods have been proposed to measure plant water content, and most of these require indirect measurement of other variables, such as leaf water potential and/or leaf water content, to infer plant water content. These methods are destructive, consuming plant tissue and providing only intermittent and localized measurements. In practice, a non-destructive, frequent measure of water content of a whole plant is needed. One way to quantify the water content of a whole plant is to measure the change of stem diameter, which has proven successful for fruit trees. In this paper we experimentally investigate the responsive change of stem diameter of the eggplant to plant water content and soil moisture in a greenhouse.

**基金项目:**国家“863”节水重大专项资助项目(2002AA2Z4071-03);商丘农田生态系统国家野外研究站开放基金资助项目

**收稿日期:**2005-05-23; **修订日期:**2006-02-06

**作者简介:**孟兆江(1958~),男,河南省桐柏县人,博士生,副研究员,主要从事节水农业基础理论和技术研究. E-mail: zjmeng@mail.china.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: duanaw@public.xxptt.ha.cn

**Foundation item:** The project was supported by the Key Special Research Project in Water-saving of the “863” Program of China(2002AA2Z4071-03); The funds of Chinese farmland ecosystem research station in open country in Shang Qiu

**Received date:** 2005-05-23; **Accepted date:** 2006-02-06

**Biography:** MENG Zhao-Jiang, Ph. D. candidate, Associate Professor, mainly engaged in water-saving agriculture. E-mail: zjmeng@mail.china.com

The experiment was conducted at Xinxiang, Henan Province, China (latitude 35.19° N) in a greenhouse of 40 m long and 8.5 m wide. It is a sub-humid area, susceptible to drought. Eggplants (*Solanum melongena*) were cultivated in pots and a small plot respectively, both in the greenhouse. The soil property in the pots and the plot are: organic matter 18.85g/kg, total-N 1.10g/kg, total-P 2.22g/kg, available-N 15.61mg/kg, available-P 72.0mg/kg, available-K<sub>2</sub>O 101mg/kg, soil bulk density 1.38kg/cm<sup>3</sup>, and a field water capacity of 24%. The experiment was designed using a two-factor randomized-block method by taking soil moisture content and growing stages as variables. The soil moisture content was controlled at 80%, 70%, 60% and 50% of the field water capacity, and growing stages that were chosen were seedling, flowering and fruit-forming, and harvesting stages; each treatment having three replicates. The pots were weighed and watered daily to minimize soil moisture change, and the soil water content of the small plot was monitored using Time Domain Reflectometry and drying-weight method respectively at five-day intervals. The change of stem diameter was measured continuously using a stem diameter sensor (DD-type) linked to a data logger. The measurement started when the stem diameter was large enough to hold the stem diameter sensor. The sensor was attached to the stem of each plant approximately 10-15 cm above the soil surface, and the measurements were taken automatically at an interval of either 10 min or 30 min. The data stored in the data logger was downloaded to a microcomputer after three or five days. The leaf water potential was measured at hourly intervals with a pressure chamber (ZLZ-4), each measurement was taken on two leaves. The leaf relative water content was measured with the weighing method. Transpiration rate and stomatal conductance were measured by a Portable Photosynthesis System (CIRAS-1 type). All the measurements were made simultaneously at sunny days from 08:00 to 18:00 to minimize the diurnal variations. Air temperature, relative air humidity, net solar radiation and other atmospheric factors were taken from a standard meteorological station installed in the greenhouse during the growing season from 2002 to 2004.

The results showed that on all sunny days the stem diameters shrank in the daytime and returned to their original size at nights, regardless of plant water content. The degree of shrinking and swelling of the stem diameter was closely related to plant water content and soil moisture content. Results from the small-plot experiment indicated that the change of stem diameter was positively related to vapor pressure deficit in the greenhouse with a correlation coefficient of 0.8938. The diurnal change of stem diameter was closely related to the diurnal change of leaf water potential and relative leaf water content with correlation coefficients 0.867 and 0.965 respectively ( $p = 0.01$ ). These results suggest that the change of stem diameter can be seen as an indicator of plant water content and hence be used as a simple non-destructive method to continuously measure plant water content.

**Key words:** plant water content diagnosis; micro-changes of stem diameter; eggplant (*Solanum melongena*)

据文献资料,国外在 20 世纪 50 年代末就有利用植株茎直径变化监测诊断作物水分状况的相关试验研究<sup>[1]</sup>;20 世纪 60 年代就其可行性的专题研究逐渐增多<sup>[2-7]</sup>,并取得显著成效;20 世纪 70 年代,茎直径变化监测作物水分研究的重心在于机理方面,就水分胁迫导致茎变形的机制展开了许多研究<sup>[8-14]</sup>,试图寻求茎直径监测与植株其它器官水分状况的关系,积累了较丰富的资料;20 世纪 80 年代除继续深化机理研究外,开始注重于应用技术的探索;20 世纪 90 年代,茎直径变化监测作物水分方法在自动控制灌溉系统中已有所运用。1995 年,Sato 等在温室条件下进行了试验,他们设计安装了一个自动控制供水系统,其中包括茎变化监测传感器。结果表明,用这种自动控制系统灌溉的水果产量和质量几乎与人工控制灌溉的相同,显示出良好的应用前景<sup>[15]</sup>。

植株茎直径变化法与其它作物水分监测方法如湿度计法、压力室法、蒸散法和叶片相对含水量法等相比,确已显示出其简单易行、对植株不具破坏性、可连续监测和准确获取作物体内水分信息的特点,对于研究不断变化的环境因子对作物水分状况和生长的影响确实是必需的。因此,其已经成为国际上许多研究的课题和关注的热点<sup>[16,17]</sup>。但国内报道资料甚少<sup>[18,19]</sup>,试验材料仅限于果树,对温室蔬菜作物尚未涉及。本文在此报道的是温室条件下盆栽和小区试验茄子茎直径微变化与作物水分状况的关系,为进一步研究确定不同作物根据茎直径变化监测和诊断水分状况的指标体系和技术操作规程提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料与 设计

试验于 2002 年至 2004 年在中国农业科学院农田灌溉研究所灌溉试验场 1 号日光温室中进行。温室长 40m, 宽 8.5m, 种植区 40m × 7m (280m<sup>2</sup>)。温室东西走向, 坐北朝南, 与其它温室间隔 15m, 互不遮荫。覆盖无滴聚乙烯薄膜, 外层覆盖复合保温被, 温室内设有补温装置。以茄子 (*Solanum melongena*) 为试验材料, 以盆栽试验为主, 小区试验为辅。盆栽试验采用聚乙烯盆土培法, 每盆装耕层干土 10kg, 容重 1.1kg/cm<sup>3</sup>, 盆底部铺 5cm 厚的砂过滤层, 以调节下层土壤通气状况和水分条件。为防止土壤表面水分过量蒸发和土壤板结, 盆两侧各置放直径为 3cm 的细管用于供水(细管周围有小孔并以密质纱网包裹)。

采用二因素(土壤水分梯度和不同生育阶段)随机区组设计, 于茄子不同生育阶段(苗期、花果期、采收期)设不同土壤湿度梯度系列, 土壤含水量控制下限分别取田间持水量的 80% FC(Field water capacity)、70% FC、60% FC 和 50% FC; 不同生育阶段为苗期、花果期和采收期; 共有 4 × 3 = 12 个处理组合, 重复 3 次; 采用电子天平(最大称量 60kg, 精度 5g)称重和水量平衡法控制水分, 每天或隔天用量杯加一次水。试验共用盆钵 42 个。

为了解茄子茎直径在一个干旱周期中的变化动态及其与土壤水分变化的关系, 另设干旱处理试验 8 盆, 其中 4 盆植株安装茎直径变化传感器, 另外 4 盆用于称重测定土壤含水量变化动态。盆表面包扎聚乙烯塑料薄膜以防止土壤表面蒸发, 保证土壤水分消耗主要由植株蒸腾所致。试验开始时将盆在傍晚最大限度地灌水, 晾干一夜, 以此时土壤相对持水量(Relative soil water content, 缩写为 RWC)作为 100%, 用烘干法获得此时土壤水分重量, 随后让其缓慢变干, 每天早、晚对盆称重获得日失水量; 日土壤相对持水量以早、晚的平均值为准。当叶片日出前水势急剧下降, 叶片气孔调节现象明显或接近萎蔫时, 重新灌水至田间持水量, 作为一个干旱周期。待植株体复原几天后, 再进行下一个干旱周期的处理。

温室小区试验土质为砂壤土, 耕层土壤有机质 18.85g/kg, 全 N 1.10g/kg, 全 P 2.22g/kg, 速效 N 15.61mg/kg, 速效 P 72.00mg/kg, 速效 K 101mg/kg; 土壤容重 1.38kg/cm<sup>3</sup>, 田间持水量 24%(占干土重%)。每小区宽 1m, 长 1.2m, 双行种植, 行距 0.60m, 株距 0.40m, 每小区 6 株。各重复间留 0.60m 间隔, 便于观测记载, 各小区四周以塑料布隔离, 以防水分侧渗。每行作物铺设一条滴灌管, 滴头间距与株距相同。试验处理设计与盆栽相同, 重复 3 次, 共 36 个小区。采用时域反射仪(TDR)监测和取土烘干法控制土壤水分, 土壤计划湿润层深度苗期为 60cm, 花果期以后为 100cm; 每 5d 测定 1 次土壤水分, 低于土壤水分控制下限时灌水, 供水方式为滴灌, 水表计量。

### 1.2 试验观测项目与方法

用德国产茎直径变化量传感器(DD-型, 测量精度 2μm)与数据自动采集器(DL2e Data Logger)联接定点定株连续监测茎直径变化(Δ*S*<sub>d</sub>)。传感器安装位置: 苗期和下节位测定在植株茎距地表 10~15cm 节位, 上节位测定在植株茎距地表 60~65cm 节位; 数据自动采集器设置为每 10min 或 30min 记录一次数据, 每日或隔日用笔记本电脑下载一次数据; 每一处理测 3~5 株, 了解不同生育阶段、不同时间、植株茎不同节位的监测效果。采用 ZLZ-4 型植物水分状况测定仪与茎直径变化监测同步测定叶水势( $\psi_l$ ), 测植株上部东、西侧各 1 片叶, 取平均值; 采用称重法测定叶片含水率(RWC); 采用称重法(盆栽)、TDR(时域反射仪)和取土烘干法(小区试验)测定土壤含水量(SWC); 采用英国 PP System 公司生产的 CIRAS-1 便携式光合作用测定系统测定光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )和气孔导度( $G_s$ ); 环境 CO<sub>2</sub> 浓度由 CO<sub>2</sub> 小钢瓶控制在 360mg/kg, 光强由系统自带的人工光源 LED 提供, 设置为 1500mmol/(m<sup>2</sup>·s); 温室小气候因子(空气温度、湿度、作物冠层温度、太阳辐射)从安装在温室内的自动气象站获取。

## 2 结果与分析

### 2.1 一个干旱周期中茎直径变化动态

图 1 所示, 在一个干旱周期中茄子茎直径微变化呈 24h 左右锯齿状周期变化, 白天开始收缩, 直径变小, 傍晚和夜间复原或膨胀。在干旱周期的早期茎直径能复原或有增长效应, 随着土壤水分可利用性的降低, 茎

直径不能完全复原或净增长减小甚至停止,当土壤水分降低至 50% FC ~ 60% FC 时,茎直径出现负增长。表明茎直径变化能比较灵敏的反映植株体内的水分状况。

2.2 不同天气条件下茎直径日变化规律

从观测资料发现,不同天气条件下的茎直径变化存在着明显的差异(图 2)。在晴天(图 2a),茎直径在一天中主要随太阳辐射、空气饱和差等环境因子的变化而变化,无论是在较高土壤含水量或在较低土壤含水量条件下,茄子茎直径都是在白天收缩,傍晚、夜间复原或膨胀,而且这种微变化动态与植株体内的水分状况密切相关,不同土壤含水量条件下植株茎胀缩的幅度存在明显差异。高水分条件下,植株茎收缩幅度小,复原能力强;低水分条件下,植株茎收缩幅度大,恢复能力差。植株茎直径的最大值出现在早晨 6:00 ~ 8:00,随后,随着太阳辐射的增强,净辐射增大,蒸腾作用加强,叶水势下降,细胞膨压降低,植株茎杆迅速收缩,14:00 ~ 15:00 左右达到最小。之后,随着辐射强度和空气饱和差的减弱,蒸腾速率逐渐减小,叶水势恢复,植株组织充水膨胀,至第 2 天清晨茎直径恢复到最大。阴天茎直径变化很小(图 2b),或基本没有什么变化。

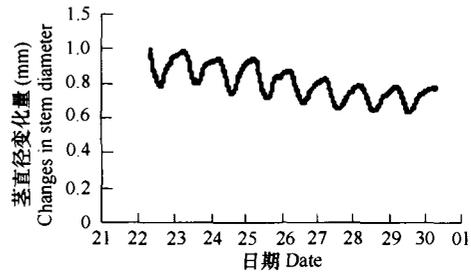


图 1 茄子随土壤水分变化的茎直径变化

Fig. 1 Stem diameter changes in eggplant following changes in soil moisture content

株茎直径的最大值出现在早晨 6:00 ~ 8:00,随后,随着太阳辐射的增强,净辐射增大,蒸腾作用加强,叶水势下降,细胞膨压降低,植株茎杆迅速收缩,14:00 ~ 15:00 左右达到最小。之后,随着辐射强度和空气饱和差的减弱,蒸腾速率逐渐减小,叶水势恢复,植株组织充水膨胀,至第 2 天清晨茎直径恢复到最大。阴天茎直径变化很小(图 2b),或基本没有什么变化。

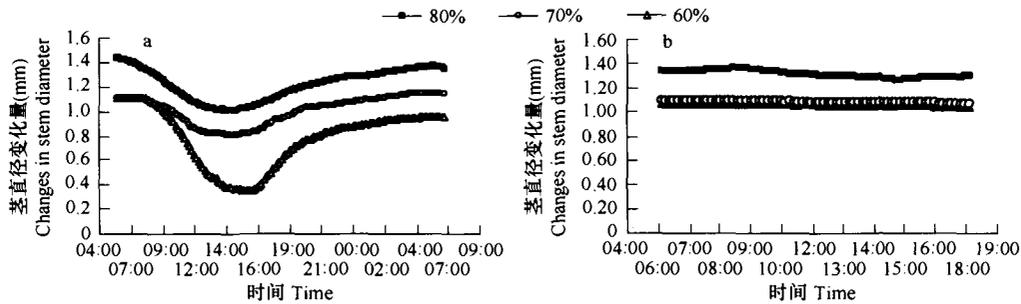


图 2 不同天气条件下茄子茎直径变化

Fig. 2 Stem diameter changes in eggplant day and night under different weather condition

2.3 茎变化与土壤水分状况的关系

植物在生长过程中水分状况的变化从土壤含水率、叶水势、叶片含水量、蒸腾速率及茎直径变化等都会得到反映。目前农业和水利科技工作者主要以土壤含水率反映植物的水分状况,由于土壤质地的不同(粘质土、粘壤质土、砂质土等)反映植物水分状态的土壤含水率数值差异很大,为统一标准而采用相对含水量(占田间持水量的百分数)。成熟的经验是,一般情况下作物土壤相对含水量为 60% FC 时为轻旱,需要灌水;当降到 50% 时为重旱,将严重影响作物正常生长和产量形成;当达到 70% ~ 80% FC 时为适宜水分范围,超过 90% FC 时水分过多。对茎直径日最大收缩量(Maximum daily shrinkage, 缩写 MDS,当日清晨 6:00 茎直径相对值与日最小茎直径相对值之差)与土壤相对含水量(Relative soil water content, 缩写 RSWC)进行相关分析,得到二者相互关系方程式(图 3),结果显示二者具有极显著线性相关关系,通过了 0.01 水平的显著性检验。说明用茎变化能够反映土壤含水量的变化,进而反映作物的水分状况。将已有研究确定的不同水分胁迫程度对应的土壤

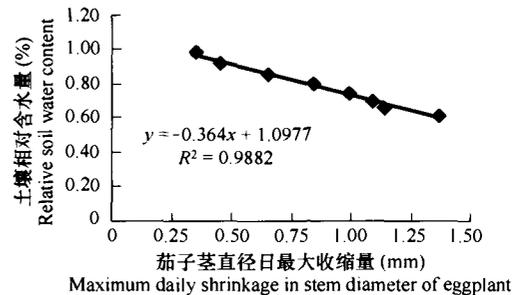


图 3 茎直径日最大收缩量与土壤含水量的关系

Fig. 3 Relationship between MDS and RSWC

将已有研究确定的不同水分胁迫程度对应的土壤

相对含水量阈值代入关系式,求解出对应的茎直径变化诊断作物水分状况量化指标阈值(表 1)。这些指标在典型晴天条件下,可作为启动灌溉自动控制系统的参考指标。

2.4 环境因子对茎直径变化的影响

同许多其它生理指标一样,作物茎直径变化受气象因子、土壤水分等环境因素的综合影响,特别是茎直径日最大收缩量 *MDS* 在很大程度上取决于环境因素的影响。根据能量平衡理论的 Penman 蒸腾速率计算公式:在充分供水条件下,辐射和饱和水汽压差是影响蒸腾的两大要素。但对充分供水条件下的茄子茎直径收缩量 *MDS* 与温室内净辐射进行相关分析,发现二者并无显著相关。这与大田自然条件下的情况不同。

对温室茄子茎直径收缩量 (*MDS*) 与饱和水汽压差 (*VPD*) 进行相关分析,结果表明二者间呈极显著相关关系(图 4)。说明在温室条件下作物茎直径变化对 *VPD* 的变化响应比对辐射变化的响应更敏感。

2.5 茎直径变化与其它水分生理指标的关系

2.5.1 茎直径变化 ( $\Delta Sd$ ) 与叶水势 ( $\psi_L$ ) 的关系 图 5 显示,  $\Delta Sd$  (茎变化传感器所测“相对值”,表示茎直径相对变化量,不表示茎直径实际值) 与叶水势 ( $\psi_L$ ) 之间具有良好的正相关关系,相关系数  $R = 0.867$ , 显著水平  $p = 0.01$ 。因为叶水势能理想地表达作物水分状况,所以这一良好关系说明茎直径变化也能反映作物水分状况。

2.5.2 茎直径变化 ( $\Delta Sd$ ) 与叶片相对含水量 (*LRWC*) 的关系 图 6 显示的是  $\Delta Sd$  与叶片相对含水量 (*LRWC*) 的关系。实验表明,  $\Delta Sd$  与叶片相对含水量 (*LRWC*) 之间呈良好的正相关关系,相关系数  $R = 0.965$ , 显著水平  $p = 0.01$ 。

2.5.3 茎直径变化 ( $\Delta Sd$ ) 与蒸腾速率 (*Tr*) 的关系 茎直径变化 ( $\Delta Sd$ ) 与蒸腾速率 (*Tr*) 的关系比较复杂。在适宜水分条件下(土壤相对含水量 70% ~ 80% FC), 两者关系不大。在轻度干旱条件下(土壤相对含水量 60% FC), 两者呈显著负相关(图 7a), 相关系数  $R = -0.816$ , 显著水平  $p = 0.01$ , 即当蒸腾速率 *Tr* 增大时, 茎直径收缩, 当 *Tr* 降低时, 茎直径膨胀。在重度干旱条件下(土壤相对含水量 50% FC), 两者呈显著正相关(图 7b), 相关系数  $R = 0.887$ , 显著水平  $p = 0.01$ , 即当 *Tr* 增大时, 茎直径膨胀或复原, *Tr* 降低时,

表 1 从茄子茎直径变化诊断作物水分状况量化指标

Table 1 Indices for diagnosing crop water status from changes in stem diameter for eggplant

作物水分状况 Crop water status	土壤相对含水量 RSWC (% FC)	茎直径日最大收缩量 <i>MDS</i> (mm)
重度胁迫 Severe stress	40 ~ 50	1.92 ~ 1.64
中度胁迫 Middle stress	50 ~ 60	1.64 ~ 1.37
轻度胁迫 Light stress	60 ~ 70	1.37 ~ 1.09
适宜水分 Moderate water	70 ~ 80	1.09 ~ 0.82

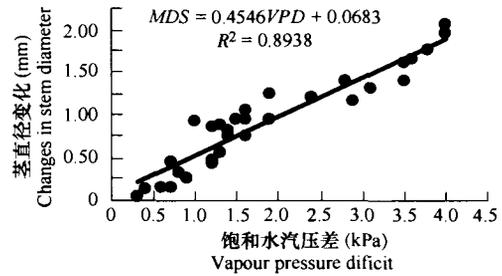


图 4 温室茄子茎直径收缩量 *MDS* 与 *VPD* 间关系

Fig. 4 Relationship between Maximum daily shrinkage in stem diameter for eggplant and *VPD* in greenhouse

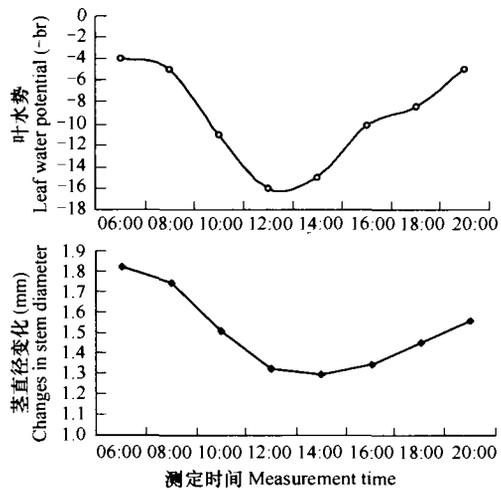


图 5 茎直径变化 ( $\Delta Sd$ ) 与叶水势 ( $\psi_L$ ) 的关系

Fig. 5 The relationship between changes in stem diameter and leaf water potential

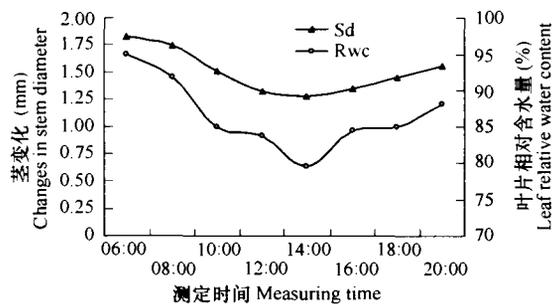


图 6 茎直径变化 ( $\Delta Sd$ ) 与叶片相对含水量 (*LRWC*) 的关系

Fig. 6 The relationship between changes in stem diameter and leaf relative water content

茎直径收缩。这种复杂的关系有待进一步试验验证。

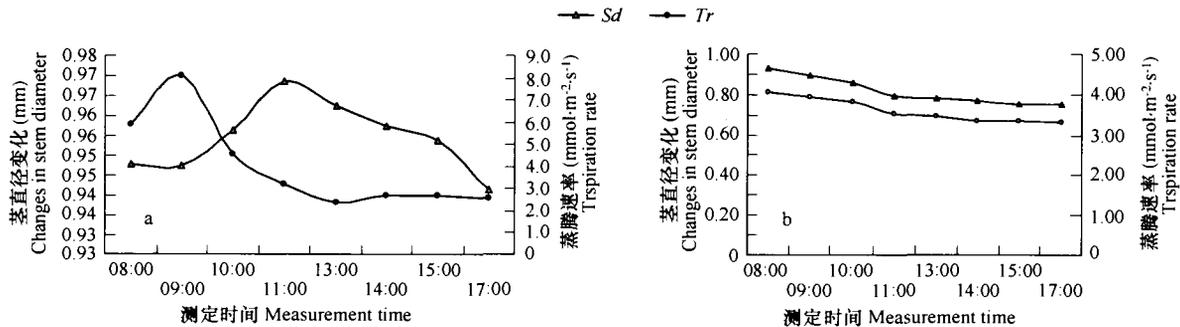


图7 茄子茎变化( $Sd$ )与蒸腾速率( $Tr$ )的关系

Fig.7 Relationship between stem diameter changes and transpiration rate

**2.5.4 茎直径变化( $\Delta Sd$ )与气孔导度( $G_s$ )的关系** 茎直径变化( $\Delta Sd$ )与气孔导度( $G_s$ )的关系和茎直径变化( $\Delta Sd$ )与蒸腾速率( $Tr$ )的关系相似。在适宜水分条件下(土壤相对含水量 70% FC ~ 80% FC),两者关系不大。在轻度干旱条件下(土壤相对含水量 60% FC),两者呈显著负相关,相关系数  $R = -0.884$ ,显著水平  $p = 0.01$ ,即当气孔导度  $G_s$  增大时,茎直径收缩,当  $G_s$  降低时,茎直径膨胀。在重度干旱条件下(土壤相对含水量 50% FC),两者呈显著正相关,相关系数  $R = 0.803$ ,显著水平  $p = 0.01$ ,即当  $G_s$  增大时,茎直径膨胀或复原, $G_s$  降低时,茎直径收缩。这种复杂的关系也有待进一步试验验证。

### 3 讨论

在作物节水高效栽培过程中,作物体内的水分状况是一项重要的控制指标。本试验研究结果表明,无论是在较高土壤含水量或在较低土壤含水量条件下,在晴好的天气里,茄子茎都是在白天收缩,傍晚、夜间复原或膨胀,而且这种微变化动态与植株体内的水分状况密切相关。因而可以根据茎直径变化(膨胀或收缩)诊断植株体内的水分状况。本方法简单、方便、快捷、可靠、低成本、对作物无破坏性,有望成为精准高效并可实现连续监测自动记录的作物水分监测方法。

本试验条件下得出茄子植株茎直径变化诊断作物水分状况量化指标阈值,但  $MDS$  阈值还必须在田间试验中深入研究确定,而且影响茎直径变化的因素很多,诸如土壤、气候(太阳净辐射  $R_n$ 、水汽压差  $VPD$ )等环境因子,作物种类、栽培种、生育阶段、株势、株龄、茎粗和茎节位等作物生态生理因子。因此, $MDS$  不宜单独作为诊断指标,应同时寻求茎变化中的其它关键性指标如日生长量(Daily growth,  $DG$ )、当日完全复原所需时间(Recovering time,  $RT$ )等,尤其要建立茎直径变化与环境因子关系的定量诊断模型。

试验监测中发现在同一水分条件下作物不同植株间的茎变化反映有基本相同的规律,但由于植株个体生长发育和构造的不一致性,致使茎变化量监测值会出现离散,影响对作物水分状况诊断的精度。对这种株间变异性及其标准化处理方法需要进一步试验研究。

关于根据植株茎直径变化诊断作物体内水分状况的试验研究,国内报道资料甚少,其基础理论研究和可操作方案的研究尚属起步和探索阶段,许多问题有待深入研究,如茎直径随水分状况变化的内在调控机制,不同环境条件下茎直径变化与作物水分的关系及其监测效果,茎直径变化法在不同作物上的应用效果,作物不同生育阶段、不同水分条件下的茎直径变化监测方法,茎直径变化法监测作物水分的适宜时期或时间,茎直径变化株间变异性及其标准化处理方法,在较长历时内测定时茎生长效应对水分诊断精度的影响及其校正测定方法,茎直径变化法与其它水分诊断方法的相互关系等。若能完成这些研究,将可确定不同作物根据茎直径变化诊断需水状况的指标体系和技术操作规程。

### References:

- [1] Kuriowa K R Yoshino, Takahashi G. Daily growth curve of "Paulownia" II. Variation in the Growing Season. J. Japan Forest. Soc., 1958.

- [ 2 ] Namken L N, Bartholic J F, Runkles J R. Monitoring cotton plant stem radius as indication of water stress. *Agronomy Journal*, 1969, 61: 891 ~ 893.
- [ 3 ] Splinter W E. Electronic micrometer continuously monitors plant stem diameter. *Agricultural Engineering*, 1969, 50: 220 ~ 221.
- [ 4 ] Holmes J W, Shim S Y. Diurnal changes in stem diameter of Canary Island pine trees caused by soil water stress and varying microclimate. *Journal of Experimental Botany*, 1968, 19: 219 ~ 232.
- [ 5 ] Kozlowski T T. Diurnal variations in stem diameters of small trees. *Botanical Gazette*, 1967, 128: 60 ~ 68.
- [ 6 ] Winget C H. Diurnal and seasonal variation in radii of tree stems. *Ecology*, 1964, 45: 149 ~ 155.
- [ 7 ] Worrall J. A method of correcting dendrometer measures of tree diameter for variations induced by moisture stress change. *Forest Science*, 1966, 12: 427 ~ 429.
- [ 8 ] Molz F J, Klepper B. Radial propagation of water potential in stems. *Agronomy Journal*, 1972, 64: 469 ~ 473.
- [ 9 ] Huck M G, Klepper B. Water relation of Cotton II. Continuous estimates of plant water potential from stem diameter measurements. *Agronomy Journal*, 1977, 69: 593 ~ 597.
- [ 10 ] Klepper B, Browning V D, Taylor H M. Stem diameter in relation to plant water status. *Plant Physiology*, 1971, 48: 683 ~ 685.
- [ 11 ] Parlange J Y, Turner N C, Waggoner P E. Water uptake, diameter change and non-linear diffusion in tree stems. *Plant Physiology*, 1975, 55: 247 ~ 250.
- [ 12 ] Klepper. On the mechanism of water-stress-induced stem deformation. *Agronomy Journal*, 1973, 65: 304 ~ 306.
- [ 13 ] Stansell J R, Betty Klepper, Browning V D, Taylor H M. Plant water status in relation to clouds. *Agronomy Journal*, 1973, 65: 677 ~ 678.
- [ 14 ] Kramer P J. *Water relations of plants*. New York: Academic press, 1983. 489.
- [ 15 ] Lee Byun-woo, Shin J H. Optimal irrigation management system of greenhouse tomato based on stem diameter and transpiration monitoring. *Agric Info Tech in Asia and Oceania*, 1998, 87 ~ 90.
- [ 16 ] Kamal G Yatapanage, Hwat Bing So. The relationship between leaf water potential and stem diameter in sorghum. *Agronomy Journal*, 2001, 93, 1341 ~ 1343.
- [ 17 ] Fereres E, Goldhamer D A. Suitability of stem diameter variations and water potential as indicators for irrigation scheduling of almond trees. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 2003, 78: 139 ~ 144.
- [ 18 ] Yu K S, Li S H, Meng Z Q. Stem diameter microvariations of four different fruit trees under water stress. *Journal of Fruit Science*, 1999, 16(2): 86 ~ 91.
- [ 19 ] Li S H, Huguer J G. Microvariations in the plant organs and irrigation scheduling automation used in fruit trees. *Journal of Fruit Science*, 1993, 10: 15 ~ 19.

#### 参考文献:

- [ 18 ] 余克顺, 李绍华, 孟昭清, 等. 水分胁迫条件下几种果树茎干直径微变化规律的研究. *果树科学*, 1999, 16(2): 86 ~ 91.
- [ 19 ] 李绍华, Huguer J G. 植物器官体积微变化与果树自动灌溉. *果树科学*, 1993, 10(增刊): 15 ~ 19.